

キンカン属 (*Fortunella*) 植物の形態的特徴と果実特性

安田喜一¹・八幡昌紀²・國武久登³

The morphological characterization and fruit characters
of *Fortunella* species

Kiichi YASUDA, Masaki YAHATA and Hisato KUNITAKE

(Received 30 November 2021; accepted 27 December 2021)

Abstract

To evaluate all *Fortunella* 6 species introduced into Japan as a genetic resource for breeding, we investigated their morphological characteristics and fruit qualities. A high diversity of the morphological characteristics of leaves, flower and fruits was observed among all species. Novel characteristics such as extremely small fruits and deep red-orange colored fruit skin of the Hongkong kumquat (*F. hindsii* (Champ. ex Benth.) Swingle) were observed. The juice sac and peel in the kumquats showed a relatively higher sugar content than those in the satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marcow.); however, only Hongkong kumquat had a very low sugar content. The Changshou kumquat (*F. obovata* hort. ex Tanaka) had a particularly high sugar content in peel. Although the major organic acid of kumquat was citric acid in juice sac, the ratios of quinic acid and malic acid were heightened in the peel. On the other hand, the β -cryptoxanthin content in the whole fruit was higher in the Hongkong kumquat, oval kumquat (*F. margarita* (Lour.) Swingle) and round kumquat (*F. japonica* (Thunb.) Swingle). Moreover, the Meiwa kumquat (*F. crassifolia* Swingle), which had the best taste quality, had lower DPPH radical scavenging activity, and the Hongkong kumquat and Malayan kumquat (*F. polyandra* (Ridl.) Tanaka) had higher DPPH radical scavenging activity than the others. Thus, these results suggest that five wild species except the cultivated species Meiwa kumquat of kumquats have important traits that may be useful in the future breeding of kumquats.

緒言

キンカン (*Fortunella* spp.) は、ミカン科 (Rutaceae) ミカン亜科 (Aurantioideae) に属する中国南部原産の常緑性低木果樹であり、産業的に重要であるカンキツ属 (*Citrus*) とカラタチ属 (*Poncirus*) を加えてカンキツ類と総称される (1, 2)。欧米諸国でマイナーな果樹である一方、アジア圏では東南アジアや中国南部を中心にいくつかの在来品種が栽培されており、特徴的な香り成分や精油成分の貴重な供給源とされる他 (3, 4)、ベトナムの旧正月の縁起物としての伝統的な家庭料理への利用されている (5)。我が国においても、キンカン属植物は、カンキツ属より比較的耐寒性や耐病害虫性が強く、樹冠が小さいため、古くから庭木として利用されてきた。また、

果実はカンキツ類の中で最も小型であるものの、果皮 (アルベドとフラベド) を生食できることがキンカン属植物の特長である。我が国では、宮崎県 (2,608 t)、鹿児島県 (909 t) および熊本県 (87 t) などの比較的温暖な気候である九州南部で盛んに経済栽培されており (農林水産省, <http://www.tdb.maff.go.jp>, 2018年産特産果樹生産動態等調査), その用途は生食をはじめ、甘露煮、マーマレード、果実酒、観賞樹など様々である。

キンカン属は、田中 (6, 7) と Swingle (8) によって分類されており、前者によればナガハキンカン [*F. polyandra* (Ridl.) Tanaka], マルキンカン [*F. japonica* (Thunb.) Swingle], マメキンカン [*F. hindsii* (Champ. ex Benth.) Swingle], ニンポウキンカン (*F. crassifolia* Swingle), ナガキンカン [*F. margarita* (Lour.) Swingle]

¹ 東海大学農学部応用植物科学科

² 静岡大学大学院総合科学技術研究農学専攻

³ 宮崎大学農学部応用生物科学科

連絡先: 安田喜一 e-mail: yk964422@tsc.u-tokai.ac.jp

およびチョウジュキンカン (*F. obovata* hort. ex Tanaka) の計6種が存在する。しかし、我が国で生食用として経済栽培されているのはニンボウキンカンのみである。また、2000年以降、キンカンの品種として‘こん太’ (9), ‘ぶちまる’ (10), ‘ゆみちゃんのほっぺ’ (11) および‘勇紅’ (12, 13), ‘宮崎夢丸’ (14), ‘宮崎王丸’ (15) および‘紅央’ (16) などが登録されているものの、それらはニンボウキンカンの枝変わりやその交雑から育成されたものである。このように、キンカンの栽培および育種は、ニンボウキンカン1種に依存しているのが現状である。

最近のカンキツ育種は、豊産性、耐病虫害性、耐寒性および耐乾性などの栽培特性や糖度、剥皮性、晩性および貯蔵性などの果実特性だけではなく、健康志向の高まりにより、健康機能性に着目した成分育種が盛んに行われるようになってきた (17, 18)。β-クリプトキサンチンは、カンキツに豊富に含まれるカロテノイドの一種であり、骨代謝調節作用をはじめ、健康のための生理機能が解明されており (18, 19)、2015年にウンシュウミカンにおいて健康機能性表示が生鮮食品で初めて登録されたことで (20)、健康機能性成分としての機運が高まっている。また、ポリフェノールやカロテノイド類、フラボノイド類、精油成分、ビタミンCおよびビタミンEなどの抗酸化活性を有する物質は、疾病の原因となる活性酸素・フリーラジカルから生体を防御すると考えられており、いくつかのカンキツ類において抗酸化活性の評価が行われている (21-23)。

今後、特徴のあるキンカン品種を育成するためには、キンカン属野生種 (本報では我が国で経済栽培されるニンボウキンカン以外の5種を示す) の遺伝資源としての評価が必要不可欠であるものの、これらに対する基礎的情報は極めて乏しい。そこで本研究では、キンカン属植物6種について、葉、花および果実の形態調査を行うとともに、果実の詳細な調査として高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いた糖と有機酸の含量と組成および健康機能性の評価として果実中のβ-クリプトキサンチン含量を測定した。また、抗酸化能の予備的な調査として、1,1-ジフェニル-2-ピクリルヒドラジル (DPPH) ラジカル消去能の測定を行った。さらに、これらの結果からキンカン野生種の育種素材としての可能性をそれぞれ考察した。

材料および方法

植物材料

日本マンダリンセンター (鹿児島県出水郡長島町) 植栽の我が国に導入されているナガハキンカン (英名: Malayan kumquat), マルキンカン (Round kumquat), マメキンカン (Hongkong kumquat), ニンボウキンカン (Meiwa kumquat), ナガキンカン (Oval kumquat) およびチョウジュキンカン (Changshou kumquat) のキンカン属6種を供試した。β-クリプトキサンチン含量とDPPH ラジカル消去能の測定以外では、対照植物としてウンシュウミカン‘青島温州’ (Satsuma mandarin) (*C. unshiu* Marcow.) およびカラタチ (Trifoliate orange) [*P. trifoliata* (L.) Raf.] を供試した。なお、マメキンカンに関しては二倍体の変種 (*F. hindsii* var. *chintou*) を用いた。

形態調査

葉、花および果実の形態調査を行った。完全に展開した葉を10枚供試し、葉身長、葉幅、翼葉長の3項目を調査するとともに、トゲの有無を確認した。開花期間を観察すると同時に、7月中旬に開花した二番花を10花用い、花色、全幅 (完全開花時の最大直径)、花弁数、雌ずい数、雄ずい数、乾燥花粉の縦径と横径および花粉発芽率の8項目を測定・観察した。1月中旬に完全着色した果実 (二番花) を15果収穫し、果皮色 (色彩色差計 CR-300, コニカミノルタホールディングス株式会社)、果実重、直径、高さ、一果実あたりの種子数および種子重の6項目を調査した。なお、花粉発芽率は、10% スクロースと1% 寒天を添加した寒天培地上に花粉を置床し、25℃・暗黒10時間培養後、光学顕微鏡 (BX-51, オリジナル株式会社) 下で1反復あたり300個の花粉を供し、5反復行った。

糖および有機酸含量の測定

形態調査と同時期に収穫した果実を果肉と果皮に分け、ホモジナイズした。その後、80% 熱エタノールで抽出し、0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過し、分析試料を調整後、向井ら (2000) の方法に従い、HPLC を用いて糖 (検出器: Shodex RI-71 (昭和電工株式会社), カラム: Shodex SP-0810・SP-G (昭和電工株式会社)) および有機酸含量 (検出器: GULLIVER UV-970 (日本分光株式会社), カラム: Shodex Ion Pak KC-811・RS Pak KC-G (昭和電工株式会社)) を測定した。なお、試験は5反復で行った。

β-クリプトキサンチン含量の測定

形態調査と同時期に収穫したキンカン属植物6種の果実から種子を除き、果皮と果肉を分けずに可食部として供試した。凍結乾燥させた試料1.0gを0.24Mピロガロール、13.6M水酸化カリウムでけん化(56℃, 20分間)した。常温まで冷ました後、0.17M塩化ナトリウム、2-プロパノール2mLおよび酢酸エチル:n-ヘキサン(1:9)液15mLを加え、遠心分離(3,000rpm, 1分間)して上層をろ過した。さらに、水層を酢酸エチル:n-ヘキサン(1:9)液15mLで2回抽出し、ろ液をロータリーエバポレーター(35℃)で濃縮乾固した。これをエタノール25mLで定容し、0.2μmのフィルターでろ過したものを分析試料とした。移動相はアセトニトリル:メタノール:テトラヒドロフラン(55:40:5)とし、試料注入20μL、カラム温度30℃、流速1.5mL/minの測定条件下でHPLC分析(検出器:SPD-6AV(株式会社島津製作所)、カラム:Shim-pack GLC G-ODS(株式会社島津製作所))を行い、絶対検量線法によりβ-クリプトキサンチン含量を定量した。なお、試験は3反復行った。

DPPH ラジカル消去能の測定

キンカン属植物6種の果実(種子を除く)における抗酸化活性の評価として、一部修正した須田(24)のマイクロプレート法を適用し、DPPHラジカル消去能測定を行った。凍結乾燥粉末を80%エタノールで10分間抽出し、0.45μmのフィルターでろ過した。適量の200mM 2-N-モルフォリノエタン sulfon酸(MES)と20%エタノールを加えた抽出液に1.2mM DPPH(和光純薬工業株式会社)を添加し、室温で20分間静置後、分光光度計IMMUNO-MINI NJ-2300(ナルジェヌンクインターナショナル株式会社)で520nmの吸光度を測定し、Trolox(シグマアルドリッチジャパン株式会社)相当量として評価した。なお、反復試験は行っていない。

結果

キンカン属植物の葉の形態調査を行った結果(表1)、葉身長と葉幅は、ウンシュウミカンより小さかった。葉形指数より、ナガハキンカンが314.5と最も細長く、チョウジュキンカンが164.9と最も丸かった。ウンシュウミカンとカラタチにおいて観察された翼葉は、キンカン属植物では全く観察されなかった。トゲは、マメキンカン、ナガハキンカンおよびマルキンカンにおいて観察され、特にマメキンカンが鋭く長いトゲを有していた。

キンカン属植物の開花時期は、ウンシュウミカン(5月)とカラタチ(4月)と比較して、6月以降と遅かった。さらに、3カ月という長い期間に数回に渡り花を着けた(表2)。キンカン属植物6種では、チョウジュキンカンが比較的开花が早かったものの、開花期間に大きな差異は見られなかった。キンカン属植物の花の大きさは、ウンシュウミカンより有意に小さかった。キンカン属植物内では、ナガハキンカン(24.6mm)からマメキンカン(7.5mm)まで花の大きさに多様性がみられた。乾燥花粉粒径は、キンカン属植物内で顕著な差異は見られなかった。一方、花粉発芽率は、マメキンカンの5.8%からチョウジュキンカンの34.9%まで種間差異が大きかった。

キンカン属植物の果実の形態調査を行った結果(図1, 図2, 表3)、6種すべてがそれぞれの種に特有な形態的特徴を示した。まず、果皮色は、マメキンカンのa値が39.5であり、他の種より赤味が強かった。果実の大きさは、ウンシュウミカンとカラタチより有意に小さかった。キンカンの中では、チョウジュキンカンが26.7gと最も重く、マメキンカンが1.3gと最小であった。果形は、名前のようにマルキンカンが100.8と最も丸く、ナガキンカンが71.1と細長かった。果肉の砂じょうについては、チョウジュキンカンが最も発達していた。それに対し、マメキンカンと栽培種のニンボウキンカンの果肉では砂

Table 1. The morphological characteristics of leaves in 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliate orange.

Genus	Species	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Shape index of leaf blade ^a	Leaf wing	Strength of spines		
<i>Fortunella</i>	Malayan kumquat	99.8 ± 11.0 ^a	b ^b	32.7 ± 4.5	c	314.5 ± 75.3	none	+
	Round kumquat	43.9 ± 4.6	f	17.6 ± 2.0	e	245.1 ± 40.8	none	+
	Hongkong kumquat	60.6 ± 6.8	de	21.0 ± 4.2	de	292.8 ± 42.1	none	++
	Meiwa kumquat	63.9 ± 8.4	cd	27.0 ± 3.1	cd	253.4 ± 57.3	none	-
	Oval kumquat	74.8 ± 8.4	c	27.1 ± 2.8	cd	278.9 ± 40.8	none	-
	Changshou kumquat	68.9 ± 6.0	cd	42.1 ± 5.0	b	164.9 ± 14.9	none	-
<i>Citrus</i>	Satsuma mandarin	128.2 ± 12.2	a	51.7 ± 5.1	a	248.8 ± 20.2	exist	-
<i>Poncirus</i>	Trifoliate orange	49.6 ± 5.5	ef	26.6 ± 3.6	cd	187.2 ± 13.3	exist	+++

^a Avarage ± standard deviation.

^b Different letters represent significant difference in Tukey's multiple range test, 1% level (n = 10).

^c (Leaf length / Leaf width) × 100

Table 2. The morphological characteristics of flowers in 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliate orange.

Genus	Species	Flowering season	Flower color	Flower width (mm)	Number of petal	Number of pistil	Number of stamen	Pollen grain (μm)		Shape index of pollen grain*	Pollen germination percentages (%)
								Length	Width		
<i>Fortunella</i>	Malayan kumquat	Jun.-Aug.	White	24.6 ± 2.0 ^b	5.0 a	1.0 a	22.3 ± 1.4 a	33.4 ± 1.0 bc	17.7 ± 0.5 b	188.9 ± 5.9	20.7 ± 4.6 b
	Round kumquat	Jun.-Aug.	White	16.2 ± 0.8 d	5.0 a	1.0 a	18.4 ± 1.4 b	30.6 ± 1.5 de	16.8 ± 0.7 b	183.0 ± 8.7	5.8 ± 1.4 cd
	Hongkong kumquat	Jun.-Aug.	White	7.5 ± 0.3 e	5.0 a	1.0 a	15.0 ± 1.8 d	34.2 ± 0.6 b	19.4 ± 1.1 ab	177.0 ± 10.9	19.3 ± 4.0 b
	Meiwa kumquat	Jun.-Aug.	White	19.6 ± 0.8 c	5.0 a	1.0 a	17.8 ± 1.6 bc	32.1 ± 1.2 b-d	17.6 ± 1.1 b	183.0 ± 8.7	33.8 ± 4.8 a
	Oval kumquat	Jun.-Aug.	White	18.0 ± 0.7 cd	5.0 a	1.0 a	15.7 ± 1.3 cd	31.1 ± 1.1 cd	19.2 ± 1.1 ab	162.4 ± 7.3	32.3 ± 1.9 a
	Changshou kumquat	Jun.-Aug.	White	20.0 ± 1.0 c	5.0 a	1.0 a	20.0 ± 1.1 b	33.3 ± 0.9 bc	18.0 ± 0.9 ab	186.4 ± 6.3	34.9 ± 10.1 a
<i>Citrus</i>	Satsuma mandarin	May	White	32.2 ± 2.6 a	5.0 a	1.0 a	18.7 ± 2.5 b	28.6 ± 2.8 e	20.6 ± 3.9 a	143.8 ± 32.1	1.1 ± 0.1 d
<i>Poncirus</i>	Trifoliate orange	Apr.	White	26.1 ± 1.8 b	5.0 a	1.0 a	23.8 ± 1.1 a	36.6 ± 1.2 a	20.8 ± 1.4 a	177.2 ± 12.3	15.0 ± 0.8 bc

* Average ± standard deviation.

^b Different letters represent significant difference in Tukey's multiple range test, 1% level (Pollen germination percentages n = 5, Others n = 10).

^c (Length / Width) × 100.

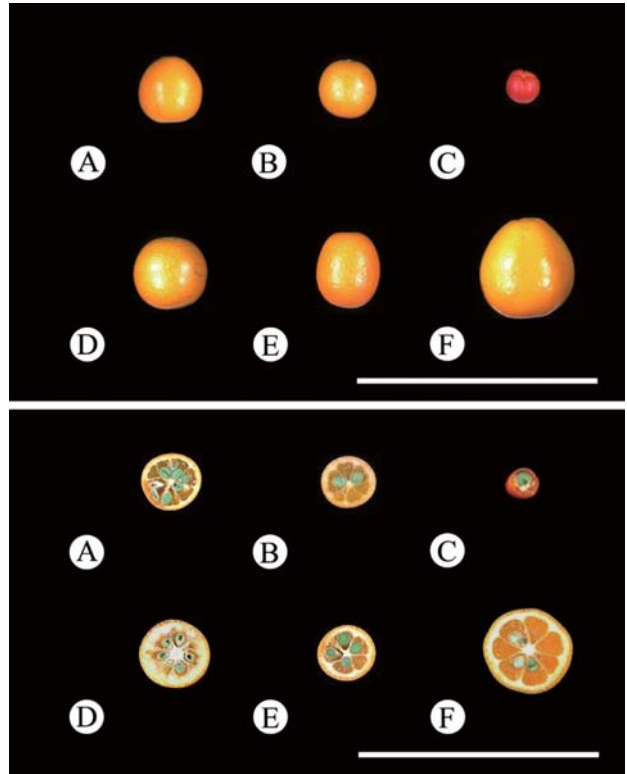


Fig. 1. Photographs of the fruits in 6 *Fortunella* species. Top: the side, Bottom: the transverse plane. Bar = 10 cm. A: Malayan kumquat, B: Round kumquat, C: Hongkong kumquat, D: Meiwa kumquat, E: Oval kumquat, F: Changshou kumquat.

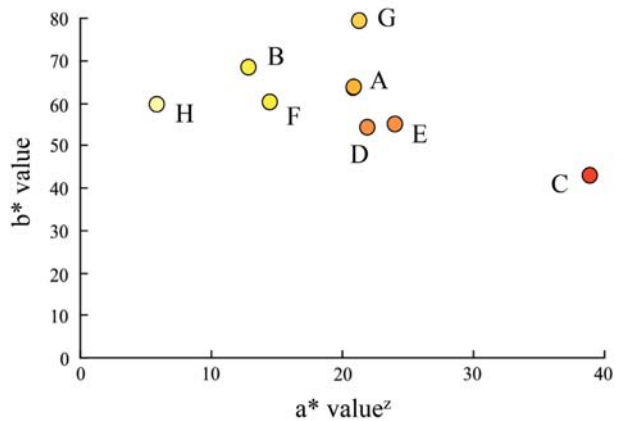


Fig. 2. Comparison of the pericarp color in 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliate orange. A: Malayan kumquat, B: Round kumquat, C: Hongkong kumquat, D: Meiwa kumquat, E: Oval kumquat, F: Changshou kumquat, G: Satsuma mandarin, H: Trifoliate orange. ^aThe color difference measured by colorimeter CR-300 (Konica Minolta, Inc).

Table 3. The morphological characteristics of fruits in 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliolate orange.

Genus	Species	Fruits weight (g)	Fruit size (mm)		Shape index of fruit ^a	Number of seeds per fruit	Seed weight (g)
			Diameter	Height			
<i>Fortunella</i>	Malayan kumquat	14.9 ± 1.0 ^e d ^y	26.2 ± 0.9 e	27.0 ± 1.7 e	97.3 ± 6.2	5.7 ± 0.6 b	0.11 ± 0.02 b
	Round kumquat	7.8 ± 0.9 ef	24.2 ± 1.4 e	24.1 ± 1.6 f	100.8 ± 4.6	3.1 ± 0.6 bc	0.11 ± 0.02 b
	Hongkong kumquat	1.3 ± 0.2 f	12.8 ± 1.2 f	12.2 ± 1.0 g	105.2 ± 7.1	2.5 ± 0.5 bc	0.10 ± 0.02 b
	Meiwa kumquat	16.1 ± 1.4 d	29.2 ± 3.2 d	31.6 ± 1.6 d	92.2 ± 7.7	5.3 ± 1.2 b	0.11 ± 0.02 b
	Oval kumquat	14.0 ± 0.8 de	25.3 ± 1.1 e	35.6 ± 1.8 c	71.1 ± 4.8	3.7 ± 0.6 b	0.09 ± 0.03 b
	Changshou kumquat	26.7 ± 2.6 c	35.2 ± 3.5 c	36.6 ± 3.7 c	96.4 ± 4.7	3.8 ± 0.7 b	0.22 ± 0.05 a
<i>Citrus</i>	Satsuma mandarin	135.4 ± 13.6 a	90.4 ± 1.6 a	63.0 ± 2.2 a	143.4 ± 4.1	0 c	—
<i>Poncirus</i>	Trifoliolate orange	46.7 ± 3.7 b	44.3 ± 0.9 b	43.3 ± 1.2 b	102.5 ± 1.4	29.0 ± 7.4 a	0.22 ± 0.03 a

^a Average ± standard deviation. The fruits of kumquats were completely colored in mid-January, and those of Satsuma mandarin and trifoliolate orange were harvested in early November.

^y Different letters represent significant difference in Tukey's multiple range test, 1% level (Seed weight n = 50, Others n = 15).

^x (Diameter / Height) × 100.

Table 4. Total sugar and organic acid contents of fruits in 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliolate orange.

Genus	Species	Total sugar content (g / 100 g F.W.) ^x		Total organic acid content (g / 100 g F.W.) ^w		
		Pulp ^v	Pericarp	Pulp	Pericarp	
<i>Fortunella</i>	Malayan kumquat	4.30 ± 0.60 ^e e ^y	10.60 ± 0.63 c	2.29 ± 0.16 c	0.20 ± 0.11 b-d	
	Round kumquat	11.34 ± 0.89 b	14.47 ± 1.56 b	1.38 ± 0.53 d	0.15 ± 0.13 d	
	Hongkong kumquat	1.07 ± 0.07 f	4.59 ± 0.09 e	1.76 ± 0.20 cd	0.38 ± 0.07 a-c	
	Meiwa kumquat	13.71 ± 0.63 a	15.07 ± 0.30 ab	3.66 ± 0.37 ab	0.39 ± 0.06 ab	
	Oval kumquat	9.00 ± 0.78 c	12.15 ± 0.84 c	2.22 ± 0.18 c	0.17 ± 0.03 cd	
	Changshou kumquat	9.51 ± 0.23 c	16.63 ± 0.89 a	3.09 ± 0.29 b	0.21 ± 0.01 b-d	
<i>Citrus</i>	Satsuma mandarin	5.84 ± 0.33 d	6.88 ± 0.18 d	0.49 ± 0.01 e	0.24 ± 0.07 b-d	
<i>Poncirus</i>	Trifoliolate orange	4.82 ± 0.47 de	2.42 ± 0.13 f	4.19 ± 0.29 a	0.58 ± 0.13 a	

^a Average ± standard deviation.

^y Different letters represent significant difference in Tukey's multiple range test, 1% level (n = 5).

^x Total amount of fructose, glucose and sucrose.

^w Total amount of quinic acid, malic acid and citric acid.

^v Pulp: juice sac, Pericarp: flavedo and albedo.

じょうが少なかった。種子はキンカン属6種すべてで認められた。果実が最も小さかったマメキンカンが2.5個で最も少なく、ナガハキンカンが5.7個と最も多かった。栽培種のニンポウキンカンは5.3個とナガハキンカンに次いで種子が多く含まれていた。種子重は、チョウジュキンカンが0.22 gと他の種(0.09~0.11 g)より有意に重かった。なお、ナガキンカンの種子のみが単胚性を示した(データ省略)。

次に、各試料を果肉と果皮に分け、HPLCによる糖含量と有機酸含量の測定を行った(表4)。キンカン属植物の果実における糖含量は、マメキンカンを除き他のキンカン5種の果皮の糖含量は10 g / 100 g F.W.以上であった。さらに、マルキンカンとニンポウキンカンは果肉の糖含量も10 g / 100 g F.W.以上であった。キンカン属植物の中で、最も果肉の糖含量が多かったのはニンポウキンカン(13.71 g / 100 g F.W.)で、果皮の糖含量はチョウジュキンカン(16.63 g / 100 g F.W.)であった。なお、マメキンカンが果肉(1.07 g / 100 g F.W.)と果皮(4.59 g / 100 g F.W.)ともにキンカン属植物内で糖含量が最も低かった。キンカン属植物の果肉における糖組成は、ウ

ンシュウミカンとカラタチよりもスクロースの占める割合が低い傾向が見られた(図3)。一方、果皮における糖組成は、ウンシュウミカンにおいてグルコースが大きな割合を占めたのに対して、キンカン属植物とカラタチは果肉と同様の糖組成を示した。有機酸含量は、ニンポウキンカンが果皮(3.66 g / 100 g F.W.)および果肉(0.39 g / 100 g F.W.)ともにキンカン属植物内では最も多かった(表4)。それに対し、マルキンカンは果肉が1.38 g / 100 g F.W.で、果皮が0.15 g / 100 g F.W.と最も少なかった。果肉における主要な有機酸はクエン酸で全体の80%以上を占めており、次いで、リンゴ酸とキナ酸が少量含まれていた(図4)。また、種間で組成比に大きな差はなかった。果皮の有機酸の組成比は、マルキンカンとニンポウキンカンはクエン酸が多かったが、その他の4種はキナ酸が多く、2つのグループに大別された(図4)。

最後に、健康機能性成分の評価として、キンカン属植物6種におけるβ-クリプトキサンチン含量とDPPHラジカル消去能を測定、比較した。その結果、可食部におけるβ-クリプトキサンチン含量は、マメキンカンで1.82 mg / 100 g D.W.と最も多く、ナガハキンカン、ニンポウ

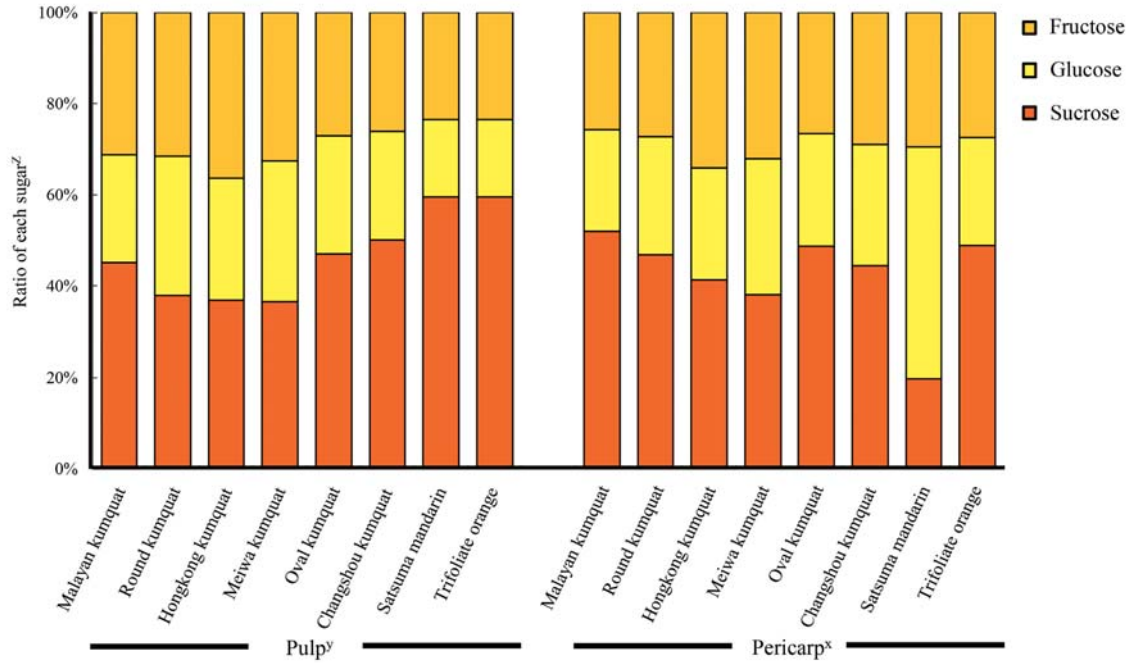


Fig. 3. Comparison of the sugar composition in the pulp and pericarp of 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliolate orange.
^z Each sugar content / total of three sugars \times 100 (n = 5).
^y Juice sac.
^x flavedo and albedo.

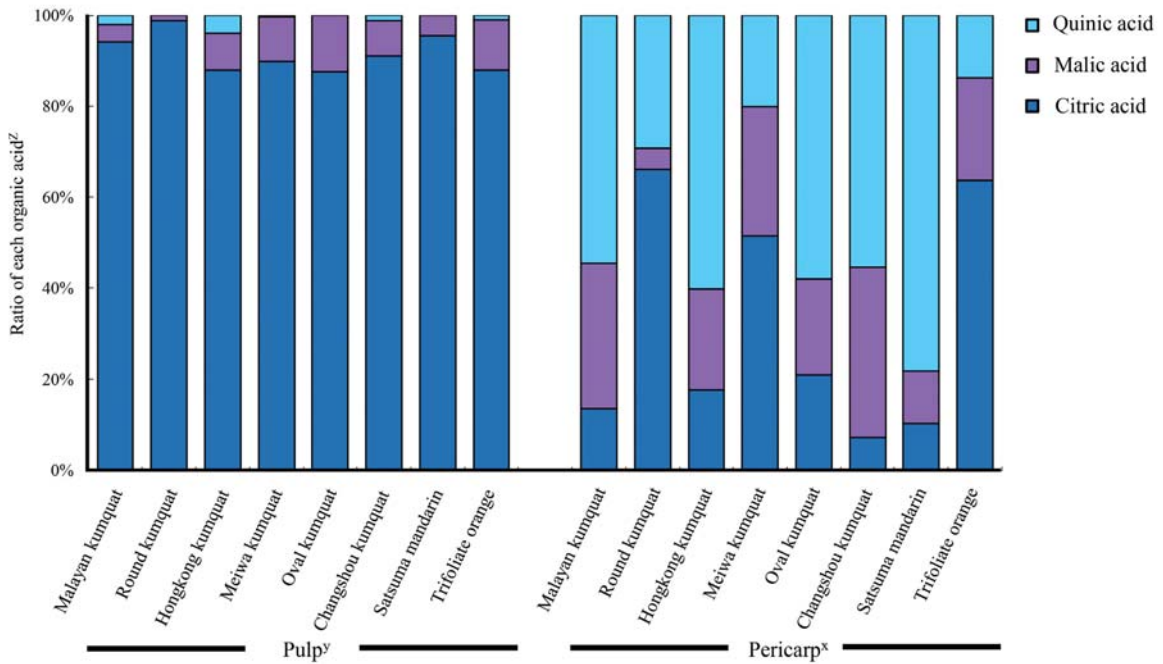


Fig. 4. Comparison of the organic acid composition in the pulp and pericarp of 6 *Fortunella* species, Satsuma mandarin and trifoliolate orange.
^z Each organic acid content / total of three organic acids \times 100 (n = 5).
^y Juice sac.
^x flavedo and albedo.

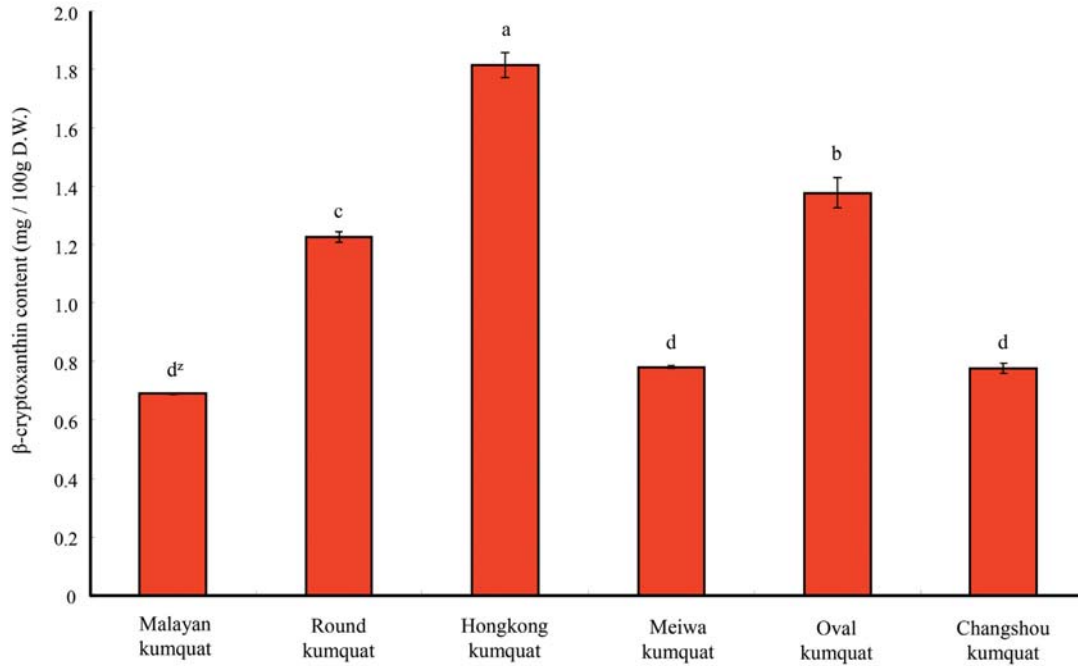


Fig.5. Comparison of the β -cryptoxanthin content in the edible part of 6 *Fortunella* species.

^z Different letters represent significant difference in Tukey's multiple range test, 1% level (n = 3).

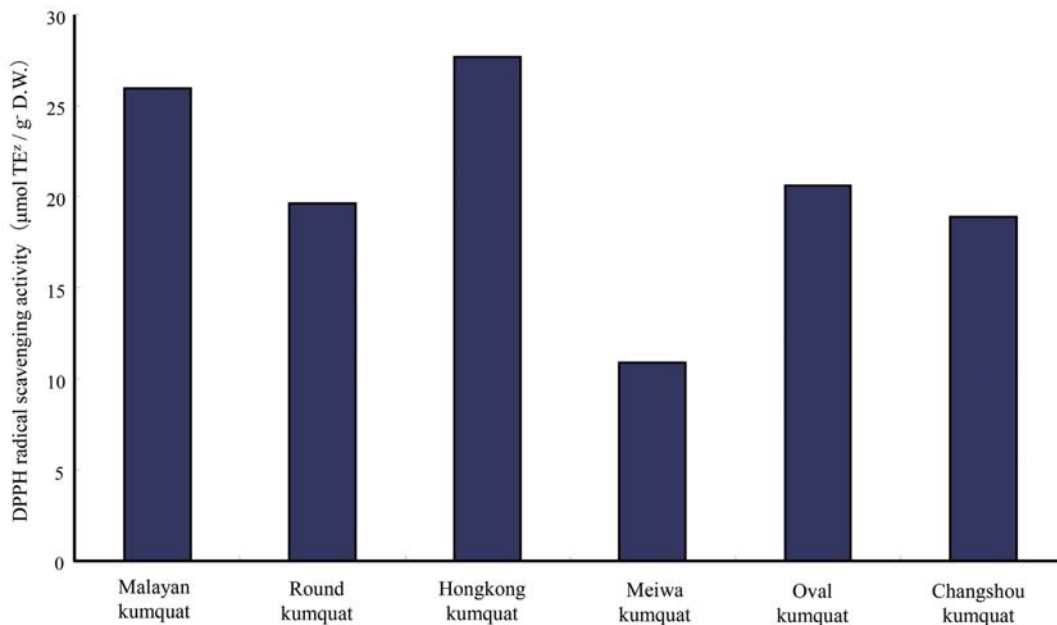


Fig.6. Comparison of the antioxidant capacity (DPPH radical scavenging activity) in the edible part of 6 *Fortunella* species.

^z TE indicate Trolox equivalent.

キンカンおよびチョウジュの3種はそれぞれ0.70, 0.78 および0.78 mg / 100 g D.W. と比較的低い値であった (図5)。また、可食部における DPPH ラジカル消去能もマメキンカンが27.65 μ mol Trolox TE / 100 g D.W. で最も高い値を示したのに対し (図6), ニンボウキンカンが最も低い値であった (10.87 μ mol Trolox TE / 100 g D.W.)。

考 察

本研究では、特徴のあるキンカン品種を育成するために、キンカン属植物6種について、葉、花および果実の形態調査を行うとともに、健康機能性成分の評価として果実中の β -クリプトキサンチン含量の測定と DPPH ラジカル消去能の予備的な調査を行った。その結果、キンカ

ン属植物6種の間において、葉、花および果実の形態的特徴について高い多様性がみられた。また、 β -クリプトキサンチン含量やDPPHラジカル消去能は、キンカン属野生種の方がニンポウキンカンより高い傾向を示した。これらのことから、キンカン属野生種がキンカン属植物における品種改良のための材料と成り得ることが示唆された。そこで本研究で得られた知見をもとに、キンカン6種それぞれの特徴と今後の利用法について考察した。

まず、栽培種であるニンポウキンカンは、果実の大きさと果皮の糖含量の値はキンカン属植物の中でフクシウキンカンに次いで2番目に高く、果肉の糖と酸含量は最も多かった。ニンポウキンカンの優れた食味は、果肉がほとんどないため、果皮に対して果肉の割合が少なく、果実全体の糖と酸のバランスが良いことによるものと考えられる。一方、一果実あたりの種子数は、5.3個とナガハキンカンに次いで多く、健康機能性である β -クリプトキサンチン含量とDPPHラジカル消去能の健康機能性はキンカン属植物内で最も低い傾向を示した。これらのことからニンポウキンカンの今後の改良点として、種子を減らし、健康機能性を向上させることが挙げられる。これらの改良点を考慮した研究が、近年様々な手法を用いて進められている。例えば、八幡ら(25)は、無核性キンカンの育種素材として、ニンポウキンカン珠心胚へのコルヒチンとオリザリンの浸漬処理により、多くの四倍体および二倍体と四倍体の倍数性キメラを作出した。さらに、糠谷ら(26)とNukayaら(27)は、それぞれニンポウキンカンの四倍体と倍数性キメラを母本とした二倍体との倍数体間交雑から、複数の三倍体雑種の獲得した。宮崎県は、ニンポウキンカンの珠心胚由来の同質四倍体(28)と二倍体の交雑より、極めて無核性の高い三倍体品種‘宮崎夢丸’を育成している。また、キンカン育種への新たなアプローチとして、Yasudaら(29)は、カンキツ優良品種である‘清見’タンゴールとニンポウキンカンとの二倍体間の属間交雑より、三倍体と三倍体様の異数体を示す雑種の獲得に成功した。Chengら(30)は、細胞融合法を用いて、ニンポウキンカンと‘バレンシア’オレンジと四倍体の体細胞雑種を作出している。ニンポウキンカンの優れた果実特性と栽培種としてのイメージの定着を考慮すると、キンカンの育種は今後当種を中心として展開されていくと考えられる。

野生種の中でも分類学的に他種と区別されており、原始キンカン亜属(*Protocitrus*)に属するマメキンカンであるが(1, 7)、最近ではDNA・染色体レベルの研究においても他のキンカンと異なることが示されている(31,

32)。本研究で調査したマメキンカンの形態的な特徴は、他の5種のキンカンとは大きく異なっていた。特徴的なものとしては、極めて小さい果実は濃橙色の果皮色を示し、キンカン属6種の中で β -クリプトキサンチン含量が最も高く、DPPHラジカル消去能も同様に最も高い傾向であり、高い健康機能性を有することが示唆された。近年、カンキツ品種において、‘不知火’や‘麗紅’のようなユニークな果形や果皮色は、品種間の差別化を図る重要な形質の一つである。食味に劣るため、これらの形質の栽培種への導入は容易ではないが、品種の多様性が低いキンカン育種にとって有用な資源であると考えられる。

マルキンカンは、栽培種であるニンポウキンカンに次いで果肉と果皮の糖含量が多かったのに対し、それらの酸含量は最も少なく、低酸を示した。さらに、 β -クリプトキサンチン含量とDPPHラジカル消去能の値はニンポウキンカンより高い傾向にあった。これらの結果から品質面では非常に有用であることが言える。しかし、マルキンカンは多胚性に加え、花粉稔性5.8%と他のキンカンと比べ著しく低いことが交配親として用いるときに障害となる。Takamiら(33)は、この問題点を克服するために、マルキンカンと‘森田ネーブル’オレンジとの細胞融合を行い、四倍体の体細胞雑種を作出した。また、Nukayaら(34)は、マルキンカンの珠心胚にコルヒチン処理を行い、二倍体より花粉稔性の高い四倍体の誘導に成功し、ニンポウキンカンとの交雑で三倍体が獲得されている。これらのようにマルキンカンを使った新たな育種素材の開発が試みられている。

ナガキンカンは、供試したキンカン属6種において唯一単胚性を示す種であり、これは交雑育種を行う上で極めて重要な形質である。実際に、ナガキンカン種子親に四倍体のニンポウキンカンを交雑し、三倍体の種子数の少ない‘ぶちまる’の育成に成功している(10)。本研究の形態調査の結果では、種名の通り果実が他のキンカンより細長く、丸みを帯びた他のキンカンとは異なる形質であった。また、ナガキンカンの β -クリプトキサンチン含量、DPPHラジカル消去能は、ともに栽培種であるニンポウキンカンと比較して高い傾向を示した。これらのことから育種素材としての価値も高く、種子親として活用することで新たなキンカン品種や中間母本の育成に寄与するものと考えられる。

ナガハキンカンは、種名の通り大きく細長い葉が、他のキンカンに類を見ない特徴である。また、果実の形態がニンポウキンカンと類似したものの、その糖含量はマメキンカンに次いで低かった。一方で、DPPHラジカル

消去能がニンポウキンカンの2倍以上を示したことから、機能性キンカン育種の素材として利用できる可能性が示唆された。さらに、「大実金柑」として一般流通するチョウジュキンカンは、他のキンカンと比べ、葉が丸く、大果で果皮の糖度が最も高かった。しかし、発達した果肉の果汁には酸が多く含まれていたため、生食用としては不向きである。したがって、従来通りマーマレードをはじめとする加工品や観賞樹としての利用に限定されると思われる。ナガハキンカンとチョウジュキンカンは、それぞれキンカンとライムの属間およびキンカンの種間雑種と考えられており(1)、近年の分子学的手法(31)や染色体核型分析(32)の結果からこれら2種はカンキツとキンカン間の属間雑種であることが示唆されている。そのため、これらとキンカンやカンキツとの戻し交雑を行うことで、両属の特長を有する新奇カンキツ類の育成に繋がるかもしれない。

以上より、我が国に導入されたキンカン属植物は6種しかないものの、果実や葉の形態的特徴に多様性が存在することが確認された。果実品質は、栽培種であるニンポウキンカンが他の5種より優れていたが、健康機能性表示で期待される β -クリプトキサンチン含量は、カンキツとの属間雑種とされている2種以外の野生種で、DPPHラジカル消去能は、すべての野生種においてニンポウキンカンより高い傾向を示した。そのため、現在は主にニンポウキンカン1種に依存しているキンカン育種において、野生種を母本として用いることで、健康機能性成分やバラエティに富んだ新奇性の高いキンカン品種の育成が可能になると思われる。今後、これらのキンカン属植物について、開花・収穫期ごとの各種成分の変化、果皮・果肉における部位別の β -クリプトキサンチン含量、ポリフェノール含量などのより詳細な調査を行う予定である。また、予備的に実施した抗酸化能に関する調査では、水溶性・脂溶性の分画に加え、ABTSやH-ORACなどの測定法を検討すべきと思われる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、貴重な植物材料を提供頂いた日本マンダリンセンターの職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

要 約

我が国に導入されているキンカン属(*Fortunella*)植物6種すべてを育種のための遺伝資源として評価するた

めに、それらの形態学的特徴と果実特性について調査した。キンカン属植物6種の間において、葉、花および果実の形態的特徴の高い多様性がみられた。特に、マメキンカン [*F. hindsii* (Champ. ex Benth.) Swingle] は、果実が小さく濃橙色であるように、他の種と顕著に異なる形態的特徴を有していた。キンカン属植物の果実の糖含量は、果肉と果皮の両方でウンシュウミカン (*Citrus unshiu* Marcow.) より高い傾向が見られたが、マメキンカンのみ低い値を示した。チョウジュキンカン (*F. obovata* hort. ex Tanaka) は、果皮において特に高い糖含量を示した。キンカン属植物の果肉における主要有機酸はクエン酸であったが、果皮ではキナ酸とリンゴ酸の割合が増加した。 β -クリプトキサンチン含量は、マメキンカン、ナガキンカン [*F. margarita* (Lour.) Swingle] およびマルキンカン [*F. japonica* (Thunb.) Swingle] で高い値を示した。さらに、DPPHラジカル消去能は、栽培種であるニンポウキンカン (*F. crassifolia* Swingle) は最も低く、マメキンカンとナガハキンカン [*F. polyandra* (Ridl.) Tanaka] で高い傾向を示した。これらの結果は、キンカン属野生種が将来有望なキンカンを育種する上で重要な形質を有することを示唆した。

引用文献

- 1) Swingle, W. T. and Reece, P. C., 1967, The botany of *Citrus* and its wild relatives in the orange subfamily, p. 190-430, In: W. Reuther, H. J. Webber and L. D. Bachelor (eds.), The citrus industry, Vol. 1, University of California, Berkeley.
- 2) Yin-Min, Y., 1985, The status of *Fortunella* genetic resources in China, *Fruit Var. J.*, **39**, 17-20.
- 3) Goh, R. M. V., Pua, A., Liu, S. Q., Lassabliere, B., Leong, K. C., Sun, J., Tan, L. P. and Yu, B., 2020, Characterisation of volatile compounds in kumquat and calamansi peel oil extracts, *J. Essent. Oil Bear. Plants*, **23**, 953-969.
- 4) Wang, Y. W., Zeng, W. C., Xu, P. Y., Lan, Y. J., Zhu, R. X., Zhong, K., Huang, Y. N. and Gao, H., 2012, Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) peel, *Int. J. Mol. Sci.*, **13**, 3382-3393.
- 5) Avieli, N., 2005, Vietnamese new year rice cakes: iconic festive dishes and contested national identity, *Ethnology*, **44**, 167-178.
- 6) 田中長三郎, 1932, 金柑属総説(一), 柑橘研究,

- 5, 141-154.
- 7) 田中長三郎, 1933, 金柑属総説(二), 柑橘研究, 6, 19-40.
- 8) Swingle, W. T., 1915, A new genus, *Fortunella*, comprising four species of kumquat oranges, J. Wash. Acad. Sci., 5, 165-176.
- 9) 近藤恭史, 2002, こん太, 品種登録10249.
- 10) 吉田俊雄, 根角博久, 吉岡照高, 家城洋之, 伊藤祐司, 野々村睦子, 上野 勇, 山田彬雄, 村瀬昭治, 瀧下文孝, 2002, おちまる, 品種登録10379.
- 11) 古屋良子, 2007, ゆみちゃんのほっぺ, 品種登録14785.
- 12) 金丸 勇, 2006, 勇紅, 品種登録14416.
- 13) 安田喜一, 國武久登, 中川匠子, 黒木宏憲, 八幡昌紀, 平田力也, 吉倉幸博, 川上郁夫, 杉本安寛, 2008, ニンボウキンカン'勇紅'の倍数性周縁キメラの証明とその形態的特性, 園学研, 7, 165-171.
- 14) 竹島久善, 児玉良一, 黒木重文, 山口和典, 徳満憲治, 荒武貴浩, 黒木恒和, 木下哲次, 平田力也, 佐野真実, 2010, 宮崎夢丸, 品種登録19999.
- 15) 竹島久善, 児玉良一, 長田龍太郎, 黒木重文, 山口和典, 徳満憲治, 荒武貴浩, 黒木恒和, 木下哲次, 平田力也, 佐野真実, 串間新一, 2011, 宮崎王丸, 品種登録20868.
- 16) 江藤義敦, 2016, 紅央, 品種登録25294.
- 17) 松本亮司, 池松大亮, 吉岡照高, 山本雅史, 2008, 抗リモニン抗血清を用いた酵素免疫測定法によるカンキツの機能性成分, リモニン配糖体の定量, 園学研, 7, 481-489.
- 18) 矢野昌充, 生駒吉織, 杉浦 実, 2005, β -クリプトキサンチン研究最近の進歩, 果樹研報, 4, 13-28.
- 19) Yamaguchi, M. and Uchiyama, S., 2004, Beta-cryptoxanthin stimulates bone formation and inhibits bone resorption in tissue culture in vitro, Mol. Cell Biochem., 258, 137-144.
- 20) 杉浦 実, 2017, 国産カンキツ類に多い β -クリプトキサンチンと機能性食品の開発, 化学と生物, 55, 566-572.
- 21) 近藤 悟, 津田和彦, 武藤徳男, 中谷宗一, 2002, カンキツ果実の発育中における抗酸化機能の推移, 園学研, 1, 63-66.
- 22) Miyake, Y., 2006, Characteristics of flavonoids in Niihime Fruit – a new sour citrus fruit, Food Sci. Technol. Res., 12, 186-193.
- 23) Yu, J., Wang, L., Walzem, R. L., Miller, E. G., Pike, L. M. and Patil, B. S., 2005, Antioxidant activity of citrus limonoids, flavonoids, and coumarins, J. Agric. Food Chem., 53, 2009-2014.
- 24) 須田郁夫, 2000, 食品機能研究法, 光琳出版社, 京都, 218-220, 抗酸化機能, 分光光度計によるDPPHラジカル消去能の測定, 篠原和毅, 鈴木建夫, 上野川修一 編.
- 25) 八幡昌紀, 柏原夕希子, 黒木宏憲, 國武久登, 小松春喜, 2004, ニンボウキンカン種子へのコルヒチンおよびオリザリン処理が四倍体植物誘導に及ぼす影響, 園学研, 3, 11-16.
- 26) 糠谷綱希, 太田知宏, 安田喜一, 八幡昌紀, 國武久登, 小松春喜, 新居直祐, 向井啓雄, 原田久, 高木敏彦, 2011, ニンボウキンカン珠心胚へのコルヒチン処理によって得た倍数体の特性とそれらの三倍体育種への利用, 園学研, 10, 1-8.
- 27) Nukaya, T., Sudo, M., Yahata, M., Ohta, T., Tominaga, A., Mukai, H., Yasuda, K. and Kunitake, H., 2019, The confirmation of a ploidy periclinal chimera of the Meiwa kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) induced by colchicine treatment to nucellar embryos and its morphological characteristics, Agronomy, 9, 562.
- 28) 河瀬憲次, 八幡昌紀, 中川匠子, 原口加奈, 國武久登, 2005, ニンボウキンカンにおける同質四倍体の選抜とその特性, 園学研, 4, 141-146.
- 29) Yasuda, K., Yahata, M., Komatsu, H., Kuroki, Y. and Kunitake, H., 2010, Triploid and aneuploid hybrids from diploid-diploid intergeneric crosses between Citrus cultivar 'Kiyomi' tangor and Meiwa kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) for seedless breeding of kumquats, J. Japan. Soc. Hort. Sci., 79, 16-22.
- 30) Cheng, Y. J., Guo, W. W. and Deng, X. X., 2003, Molecular characterization of cytoplasmic and nuclear genomes in phenotypically abnormal Valencia orange (*Citrus sinensis*) + Meiwa kumquat (*Fortunella crassifolia*) intergeneric somatic hybrids, Plant Cell Rep., 21, 445-451.
- 31) Yasuda, K., Yahata, M., Komatsu, H. and Kunitake, H., 2010, Phylogeny and classification of *Fortunella* (Aurantioideae) inferred from DNA polymorphisms, Bull. Fac. Agr., Univ. Miyazaki, 56, 103-110.
- 32) Yasuda, K., Yahata, M. and Kunitake, H., 2016, Phylogeny and classification of kumquats (*Fortunella* spp.) inferred from CMA karyotype composition, Hort. J., 85, 115-121.

- 33) Takami, K., Matsumaru, A., Yahata, M., Imayama, T., Kunitake, H. and Komatsu, H., 2004, Production of intergeneric somatic hybrids between round kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) and 'Morita navel' orange (*Citrus sinensis* Osbeck), *Plant Cell Rep.*, **23**, 39-45.
- 34) Nukaya, T., Sudo, M., Yahata, M., Nakajo, Y., Ohta, T., Yasuda, K., Tominaga, A., Mukai, H. and Kunitake, H., 2019, Characteristics in autotetraploid kumquats (*Fortunella* spp.) induced by colchicine treatment to nucellar embryos and their utilization for triploid breeding, *Sci. Hortic.*, **245**, 210-217.