

ジョオウヤシ (*Syagrus romanzoffiana* var. *australe*) の果実の香気成分

達家 清明

Volatile Constituents of Queen Palm (*Syagrus romanzoffiana* var. *australe*) Fruit

Kiyoaki Tatsuka

Volatile constituents of queen palm fruit were isolated both by direct solvent extraction and by trapping on Tenax adsorbent. The compounds were analyzed by capillary gas chromatography-mass spectrometry. A total of 80 components were identified in the extract. Esters and acids were the major constituents. The odor unit values, calculated from the concentration and odor threshold values, indicated that the following compounds are major contributors to the fruit aroma; ethyl hexanoate, ethyl acetate, ethyl butanoate, methyl hexanoate, hexyl acetate, 3-methylbutyl acetate, ethyl octanoate, butyl acetate, nonanal, (*E*)-2-decenal, hexanal, heptanal, hexanoic acid, butanoic acid, γ -decalactone, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene. Headspace analysis led to the identification of 64 components. Esters comprised 96.2% of headspace volatiles.

Key words : queen palm, *Syagrus romanzoffiana*, volatile, solvent extraction, headspace

緒 言

Syagrus romanzoffiana var. *australe* はパラグアイ原産のやし科植物で、明治末年に渡来し、観賞用の庭園樹として栽培されている。学内には樹齢約40年ぐらいのものが数本ある。初夏に花が咲き、秋には一房に数100個の果実が実る。完熟果実はオレンジ色で、直径約3 cm、高さ約2.5 cmのやや扁平な形をしている。中に卵形の種子(1.4×1.7 cm)がある。緑色の未熟果は渋いが、完熟果は甘酸っぱく、やや重い感じのエステル系の強い香りを放つ。繊維質を含む果肉は食べられる。このやしの学名は古い文献⁽¹⁾では *Cocos australe* となっており、食用にできるという記載がある。その後 *Cocos* 属から分離して、*Arecastrum romanzoffianum* var. *australe* として記載されている⁽²⁾。近年やし科植物全体の分類の統一が図られ、現在は表題の学名に統一されている^(3, 4)。和名は英名“Queen Palm”にちなんでジョオウヤシという名が付けられているのでその名称に従った⁽⁵⁾。上記の学名および一般名によって本種の果実の組成および香気成分について文献調査した結果、果実についてはパルプの一般成分組成⁽⁶⁾および核油の組成⁽⁶⁻⁸⁾の報告はあったが、香気成分については見当たらなかったため、その同定、定量、およびこの果実の香気の特徴づける成分の特定を目的として抽出法およびヘッドスペース法で香気成分を分離濃縮し、GC-MSを用いて約90成分を同定したので報告する。

注 本論文は日本農芸化学会誌, Vol. 72, No.4掲載論文を転載したものである。

実験方法

1. 実験材料および試薬

1996年9月に学内で実った果実が完熟、自然に落下しはじめた頃に、樹上に残っている完熟果実約2kgを採取し、直ちに-20℃の冷凍庫に保存した。測定直前に室温で解凍し試料とした。

和光純薬工業(株)製特級ジクロロメタンを抽出溶媒として用いた。住友精化(株)製高純度ヘリウムガス(Zero-U)をヘッドスペース成分の捕集およびGC-MS測定に用いた。

2. 揮発性成分の抽出と濃縮

果実5個(56.6g)から種子(15.0g)を除いた果肉(41.6g)を細かく砕き、500ml容の共栓付きなす型フラスコに入れる。ついで細粒状無水硫酸ナトリウム400gとジクロロメタン300mlおよび内部標準としてシクロヘキサノール500 μ g(1mg/1mlジクロロメタン溶液0.5ml)を添加後、振とう器で1時間振とう(ストローク4cm, 250spm)する。上澄みのジクロロメタンをガラスろ紙を用いて500ml容のなす型フラスコにろ過する。下層の無水硫酸ナトリウムにジクロロメタン50mlを加え振とう後同様に上澄みをろ過する。この操作を2度繰り返す。ろ液の入ったなす型フラスコに無水硫酸ナトリウム約20gを加え、1時間振とう、脱水する。グデルナダニッシュ濃縮装置を用いて約500 μ lまで濃縮し、さらに寒剤(氷+食塩)中で、ヘリウムをシリンジ針から吹き込んで約200 μ lまで濃縮し、3 μ lをGC-MSに注入した。

3. ヘッドスペース成分の捕集とGC-MSへの導入

冷凍果実14個(154g)を、内容積約300mlのヘッドスペース採取容器に入れ、30℃の恒温水浴中に2時間放置解凍後、高純度ヘリウムを50ml/minで1.5時間流し、揮発性成分をTenax TA管(内径5mm, 長さ90mm, Tenax TA 0.3g充填)に捕集した。Tenax TA管に前もって内部標準としてシクロヘキサノール5 μ g(1mg/1mlメタノール溶液5 μ l)を添加しておく。捕集後水分除去のためTenax TA管に同じ流速でヘリウムを15分間流す。Tenax TA管をGC-MSの注入口に装着した加熱導入装置にいい、GC-MS流路に接続し、流路中の空気のため約30分間ヘリウムを流した後、GC-MSのスタートと同時に加熱炉の温度を1分間で200℃まで昇温し捕集成分をGC-MSに導入した。

4. 分析装置および測定条件

GC-MS: Hewlett Packard 6890 GC システムおよび6890 Mass Selective Detector。カラム: DB-WAX (J & W Scientific), 長さ60m, 内径0.25mm, 膜厚0.25 μ m, 溶融シリカキャピラリーカラム, キャリアーガス: ヘリウム, 線速度25cm/s, スプリット比20:1, 注入口温度260℃, カラム温度40℃5分保持, 3℃/minで200℃まで昇温保持, イオン源温度250℃。イオン化EI, 70eV。走査はm/z10~300, 1秒間1.58回。

加熱導入装置: (株)島津製作所製FLS-3型。

5. ピークの同定

マススペクトルとKovatsの保持指標が標準物質と一致するものを同定とした。標準物質が得られず、マススペクトルがNIST (National Institute of Standards and Technology, U.S.A.) のデータベース(約75,000スペクトル)と一致するものを推定とした。

6. 2成分同時溶出ピークのピーク面積計算

A, B, 2成分が同時もしくはほぼ同時に溶出してくるピーク中のそれぞれの成分の全イオンピーク面積は次のようにして計算した。

同時溶出ピークでのA成分の全イオンピーク面積=A成分標準試薬の全イオンピーク面積×サンプルの特定イオンのマスキロマトグラムの面積/A成分標準試薬の特定イオンのマスキロマトグラムの面積

7. ヘッドスペース成分ピークの検出

抽出物の全イオンクロマトグラムでは検出されているが、ヘッドスペースの全イオンクロマトグラムではピークが極めて小さいか、もしくは検出されなかった成分については、抽出物で得られたマススペクトルの基準ピークを含む強度の大きい三つのフラグメントイオンで検索し、その有無を調べた。

8. 定量方法

抽出物ではシクロヘキサノールを内部標準とし、感度補正なしで（補正係数=1）含有量を求めた。ヘッドスペース法では、内部標準のシクロヘキサノールを前もって Tenax TA 管に添加しておき、ヘリウムを流速50ml/minで1.5時間通気し、Tenax TA に吸着された量を感度補正なしで求め、サンプル重量で除して含有量とした。

結果と考察

連続蒸留抽出法（SDE法）は揮発成分の捕集という点では優れた方法であるが、周知のように、このような果実の常圧SDEでは加熱によりさまざまな artifact が生成し、本来存在した成分を正確にとらえることが困難である。さらに蒸気圧の低い高沸点揮発性成分の収率が低くなることも問題である。これらの点を考慮して、ジクロロメタン抽出法とヘッドスペース法で果実の揮発性成分を捕集した。

今回試みた無水硫酸ナトリウムで脱水と同時にジクロロメタンで抽出する方法は、水の影響がほとんどなく回収率もよいが、脂質の多い試料には適用できない。今回の試料はこの点で問題がなかったのによい結果が得られた。

抽出後のグデルナダニッシュ蒸留装置による濃縮とその後の寒剤冷却下での窒素ガスフローによる濃縮過程での ethyl acetate の回収率を求めた。Ethyl acetate を500 μ g を含有するジクロロメタン溶液100mlを用いて試料処理の場合と同様の方法で濃縮後 GC-MS 測定して求めた回収率は81.8%であった。同様に ethyl propanoate, ethyl butanoate, ethyl pentanoate および ethyl hexanoate について求めた回収率はそれぞれ94.6%, 98.0%, 100.4%, および101.0%で、低沸点成分では回収率が若干低くなる。

GC-MS への注入量は含有量の少ない成分の同定を考慮して3 μ l としたが、この注入量では ethyl acetate のピークと溶媒のジクロロメタンのピークは分離しない、注入量を0.5 μ l にすると溶媒ピークの直前に ethyl acetate ピークが分離してくるので、ethyl acetate の含有量は0.5 μ l 注入時のデータから求めた。

抽出法およびヘッドスペース法で捕集した揮発性成分のガスクロマトグラムを Fig. (A) および (B) に、その同定結果を Table 1 に示した。また、官能基別の揮発成分パーセントを Table 2 に示した。

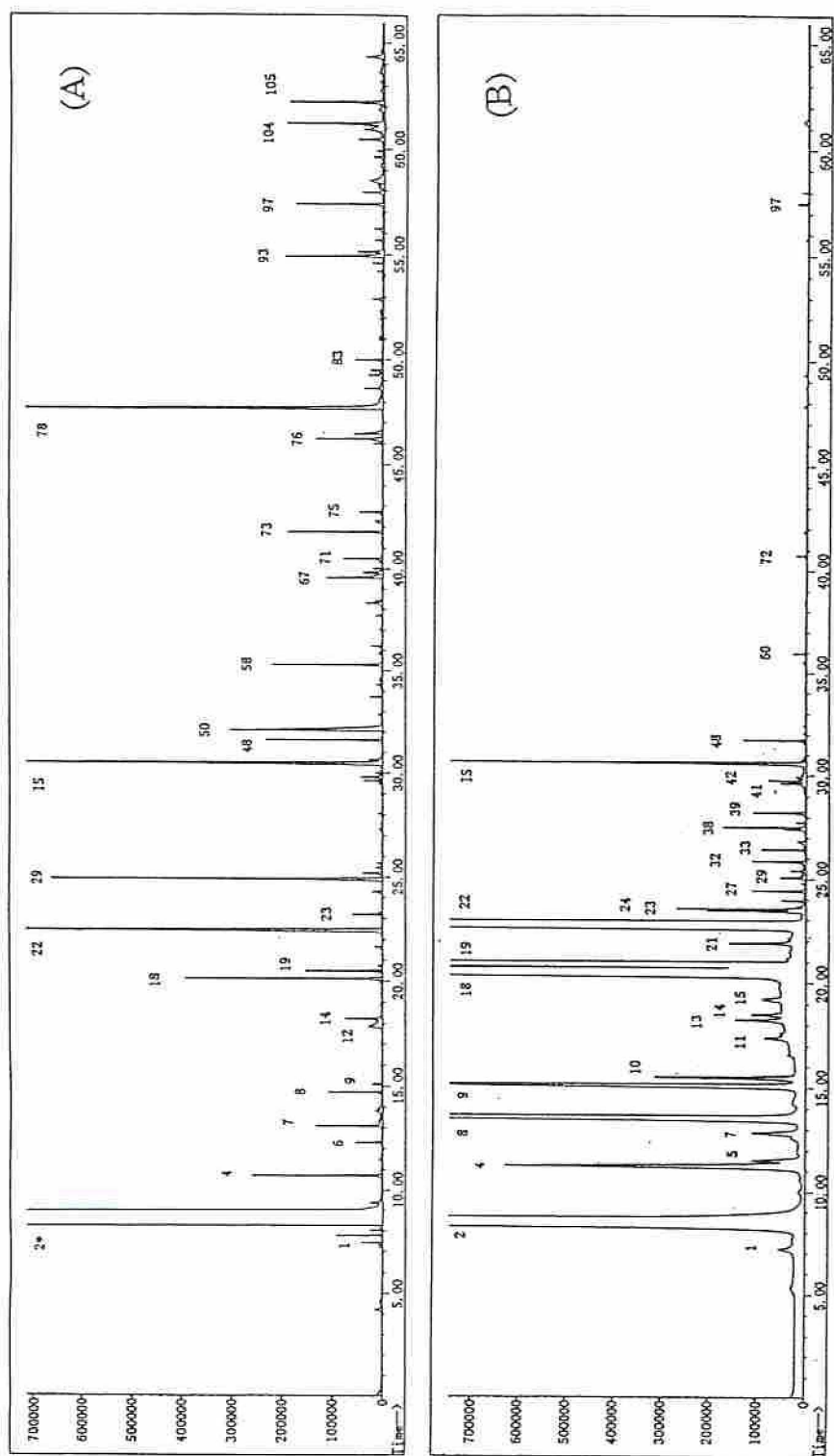


Fig. Total Ion Gas Chromatograms of Volatiles from Queen Palm (*Syagrus romanzoffiana* var. *australis*) Fruit.

(A) Extract volatiles. (B) Headspace volatiles. Temperature programmed from 40°C (5 min isothermal) to 200°C at 3°C/min on a 0.25mm i.d. DB-Wax column. The peak numbers correspond to the numbers in Table 1. IS: Internal standard (cyclohexanol). 2*: Ethyl acetate peak merges with solvent peak on injection of 2 µl sample.

39	1358	1358	Hexanol	111-27-3	86	500 ⁱ	-0.8	3.32
41	1389	1389	(<i>Z</i>)-3-Hexen-1-ol	928-96-1	95	70 ⁱ	0.1	1.55
55	1495	1495	2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	ND			0.16
62	1547	1547	2,3-Butanediol	513-85-9	238			ND
63	1563	1563	Octanol	111-87-5	25	110 ⁿ	-0.6	0.12
65	1583	1584	<i>meso</i> -2,3-Butanediol	5341-95-7	139			ND
66	1598	1598	1,2-Propanediol	57-55-6	341			ND
67 ^a	1631	1633	1,2-Ethanediol	107-21-1	162			ND
					2595			18.92
Aldehydes								
9	1083	1082	Hexanal	66-25-1	166	4.5 ^h	1.5	16.10
11	1126	1129	(<i>E</i>)-2-Pentenal	1576-87-0	ND			0.85
13	1143		Hexenal(MS) ^f		ND			5.95
17	1185	1185	Heptanal	111-71-7	42	3 ^j	1.1	ND
21 ^g	1220	1219	(<i>E</i>)-2-Hexenal	6728-26-3	32	17 ^h	0.3	3.50
30	1291	1291	Octanal	124-13-0	ND	0.7 ^h		0.35
36	1328	1328	(<i>E</i>)-2-Heptenal	18829-55-5	ND	13 ⁱ		0.86
43	1396	1399	Nonanal	124-19-6	456	1 ^j	2.7	0.55
47	1434	1436	(<i>E</i>)-2-Octenal	2548-87-0	ND	3 ⁱ		0.22
52	1465	1466	Furfural	98-01-1	20	3000 ^h	-2.2	0.02
59	1527	1529	Benzaldehyde	100-52-7	29	35 ^h	-0.8	0.30
70	1651	1651	(<i>E</i>)-2-Decenal	3913-81-3	59	0.3 ^j	2.3	ND
					804			28.69
Acids								
50 ^a	1449	1452	Acetic acid	64-19-7	4926	26000 ^a	0.2	0.03
57	1505	1505	Formic acid	64-18-6	158			ND
67 ^a	1631	1632	Butanoic acid	107-92-6	1086	240 ⁱ	0.7	ND
78	1851	1851	Hexanoic acid	142-62-1	21553	3000 ^o	0.9	0.36
85	1949	1949	(<i>E</i>)-3-Hexenoic acid	1577-18-0	117		ND	
93	2065	2067	Octanoic acid	124-07-2	1872	3000 ^o	-0.2	ND
99	2172	2173	Nonanoic acid	112-05-0	144	3000 ^o	-1.3	ND
					29857			0.39
Ketones								
4	975	974	2-Pentanone	107-87-9	1975			56.55
16	1181	1183	2-Heptanone	110-43-0	34	140 ^h	-0.6	ND
37	1340	1341	6-Methyl-5-hepten-2-one	110-93-0	46	50 ⁱ	-0.04	1.46
72	1661	1659	Acetophenone	98-86-2	ND			0.73
79	1863	1862	(<i>E</i>)-Geranylacetone	3796-70-1	36	60 ⁱ	-0.2	0.03
103	2237	223	2-Heptadecanone	2922-51-2	496			ND
					2587			58.77
Lactones								
68	1638	1638	γ -Butyrolactone	96-48-0	427			ND
75	1714	1714	γ -Hexalactone	695-06-7	441	1600 ⁱ	-0.6	0.11
98	2160	2161	γ -Decalactone	706-14-9	216	11 ^m	1.6	0.47
101	2214	2213	δ -Decalactone	705-86-2	1484	100 ^m	0.3	ND
					1484			0.58
Hydrocarbons								
12	1141	1139	<i>m</i> -Xylene	108-38-3	856			ND
25	1259	1258	Styrene	100-42-5	ND			0.56
28	1283	1282	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	ND			0.29

44	1400	1400	Tetradecane	629-59-4	ND			0.13
74	1698		1,2,3,4-Tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene	475-03-6	133	2 ^b	1.8	ND
87	1974		Dimethyl naphthalene ^f		84			ND
106	2300	2300	Tricosane	638-67-5	129			ND
					1203			0.99
Miscellaneous								
6	1018	1018	Trichloromethane	67-66-3	457			9.07
29	1288	1288	3-Hydroxy-2-butanone	513-86-0	7042			1.85
49	1447	1446	<i>p</i> -Dichlorobenzene	106-46-7	ND			0.22
82	1911	1911	Dimethyl sulfone	67-71-0	55			ND
83	1917	1916	Butylated hydroxy toluene	128-37-0	463			ND
90	2010	2011	Phenol	108-95-2	ND			0.11
91	2043	2043	Pantolactone	599-04-2	164			ND
107	2313	2313	2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	97			ND
108	2322	2323	4-Methyl-5-thiazoleethanol	137-00-8	130			ND
					8407			11.25
Unknown								
27 ^g	1274	UK			161			0.20
38	1342	UK			60			4.95
50 ^h	1449	UK			ND			0.25
53	1467	UK			84			ND
60	1538	UK			84			0.76
61	1541	UK			49			0.08
64	1567	UK			65			ND
76	1808	UK			1369			ND
77	1816	UK			667			ND
80	1877	UK			358			0.14
84	1945	UK			102			ND
86	1963	UK			70			ND
88	1951	UK			84			ND
89	1985	UK			100			ND
94	2072	UK			476			ND
96	2105	UK			166			ND
100	2179	UK			782			ND
109	2340	UK			551			ND
					5229			6.38
					97909			3339.93
1412	1410		Cyclohexanol(IS) ^v	108-93-0	120193			32.47

^a The peak numbers to the numbers in Fig. ^b Experimental and reference Kovats indices.

^c Concentrations were calculated from total ion intensity by internal standard method (IS=cyclohexanol) without response correction. ^d Logarithm of odor unit value. ^e Concentrations were calculated from adsorbed weight of each compound on Tenax TA (He 50ml/min, 1.5h) and sample weight (154g). ^f Tentative identification based on mass spectrum. ^g Co-eluting peak of two compounds. Ethyl acetate (peak 2) merged with solvent peak on injection of 2 μ l sample.

^h Buttery *et al.* (1969). ⁽⁹⁾ ⁱ Buttery *et al.* (1971). ⁽¹⁰⁾ ^j Buttery *et al.* (1972). ⁽¹¹⁾ ^k Buttery *et al.* (1976). ⁽¹²⁾ ^l Teranishi and Buttery (1987). ⁽¹³⁾ ^m Engel *et al.* (1988). ⁽¹⁴⁾ ⁿ Buttery *et al.* (1988). ⁽¹⁵⁾ ^o van Gemert and Netterbreijer (ed.) (1977). ⁽¹⁶⁾ ^p Buttery *et al.* (1990). ⁽¹⁷⁾ ^q Takeoka *et al.* (1990). ⁽¹⁸⁾ ^r Takeoka *et al.* (1992). ⁽¹⁹⁾ ^s Ahmed *et al.* (1978). ⁽²⁰⁾ ^t Takeoka *et al.* (1988). ⁽²¹⁾ ^u Salo *et al.* (1972) in artificial whisky model. ⁽²²⁾ ^v Internal standard.

Table 2. Percent Volatiles of Queen Palm Fruit.

Volatile groups	Extract (%)	Headspace (%)
Esters	46.72	96.23
Alcohols	2.65	0.57
Aldehydes	0.82	0.86
Acids	30.49	0.01
Ketones	2.64	1.76
Lactones	1.52	0.02
Hydrocarbons	1.23	0.03
Miscellaneous	8.59	0.34
Unknown	5.34	0.19
	100.00	100.00

トの対数を示した。オーダーユニットの対数が0.5以上のものはエステルでは ethyl hexanoate (4.2), ethyl acetate (3.3), ethyl butanoate (3.1), methyl hexanoate (1.6), hexyl acetate (1.6), 3-methylbutyl acetate (1.4), ethyl octanoate (1.3), butyl acetate (1.1) の8成分, アルデヒドでは nonanal (2.7), (*E*)-2-decenal (2.3), hexanal (1.5), heptanal (1.1) の4成分, 酸では hexanoic acid (0.9), butanoic acid (0.7) の2成分, γ -decalactone (1.6) および 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene (1.8) の16成分である。これらがこの果実の香りへの寄与率が高い揮発性成分と考えられる。最もオーダーユニットの対数の大きい ethyl hexanoate はパイナップル・バナナノートをもつ強い果実臭⁽²⁾といわれている。

γ -Decalactone は桃の香りの特徴づける成分である⁽¹⁴⁾。1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene はトマトペーストで検出された成分である⁽¹⁷⁾。なお、この化合物は標準品が得られなかったためマススペクトルのみからの推定であるが、測定したマススペクトルは Buttery らのマスデータ⁽¹⁷⁾および NIST のマススペクトルと極めてよい一致を示している。

ヘッドスペース法ではエステルが全体の96.23%を占めている。エステル類中では ethyl acetate, ethyl butanoate, butyl acetate, methyl hexanoate, 3-methyl-3-buten-1-yl acetate および ethyl hexanoate の6成分で98.51%を占める。これらのエステルはいずれもオーダーユニットの対数が1以上で、この果実の香りに対する貢献度の高い成分である。

抽出成分量に対してヘッドスペース成分量が3%を超えるものは、エステルが14、アルコールが3、アルデヒドが2、ケトン1の合計20成分であるが、この内オーダーユニットの対数が0.5以上のものは hexanal を除いてすべてエステルである。

オーダーユニットの対数が0.5以上でヘッドスペース中で検出されていないものは (*E*)-2-decenal, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene, heptanal および butanoic acid の4成分である。

Table 1において、RI=1143, M^+ =98 で hexenal と推定した成分は、RI=1220 の (*E*)-2-hexenal とほぼ同じマススペクトルを示すが、構造は未確認である。

本学のジョウウヤシの由来と植栽の時期などについてご教示頂いた本学の前農産原料研究室長 黛 乙郎先生、および分類についてご助言いただいた南浦 清氏に感謝の意を表す。

抽出法で濃縮、同定された成分の内で、この果実の香気に寄与している成分を推定する方法として、オーダーユニットの対数 (log odor unit) を用いた。オーダーユニットの概念は Guadagni ら⁽²⁴⁾によって提案されたもので、その香気成分の含有量 (ppb) をその香気成分のいき値 (ppb) で除した値で、香気成分の貢献度を推定する方法として利用されている⁽²⁵⁾。いき値は測定者によって若干差はあるがほぼ一致している⁽²⁶⁾ので、Table 1 に従来報告されている香気成分のいき値と、そのいき値を用いて求めたオーダーユニット

要 約

ジョウウヤシ (*Syagrus romanzoffiana* var. *australe*) の果実の香気成分を大量の無水硫酸ナトリウム共存下の脱水状態でジクロロメタン抽出し、濃縮後キャピラリー GC-MS 測定に供し、80成分を同定した。また、果実からダイナミックヘッドスペース法で香気成分を Tenax TA に捕集し、熱脱着によってキャピラリー GC-MS に導入し、64成分を同定した。抽出物では46.7%がエステル、30.5%が有機酸であった。各成分定量値といき値から計算したオーダーユニットの対数から（以下の括弧内の数字はオーダーユニットの対数を示す）、この果実の香気成分に貢献すると推測される化合物はエステルでは ethyl hexanoate (4.2), ethyl acetate (3.3), ethyl butanoate (3.1), methyl hexanoate (1.6), hexyl acetate (1.6) 3-methyl butyl acetate (1.4), ethyl octanoate (1.3), butyl acetate (1.1) の8成分、アルデヒドでは nonanal (2.7), (*E*)-2-decenal (2.3), hexanal (1.5), heptanal (1.1) の4成分、酸では hexanoic acid (0.9), butanoic acid (0.7) の2成分、 γ -decalactone (1.6) および 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene (1.8) の16成分である。最もオーダーユニットの対数の大きい ethyl hexanoate はパイナップル・バナナノートを持つ強い果実臭といわれている。ヘッドスペース成分ではその96.2%がエステルで、その中でも ethyl acetate, ethyl butanoate, butyl acetate, methyl hexanoate, 3-methyl-3-buten-1-yl acetate および ethyl hexanoate の6成分で、エステル全体の98.5%を占める。(*E*)-2-decenal, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethylnaphthalene, heptanal および butanoic acid の4成分は、ヘッドスペース法では検出されていない。

文 献

- 1) H. Bailey: "The Standard Cyclopaedia of Horticulture," Vol. 3, The Macmillan Co., London, 1925, pp. 2437-2446.
- 2) S. M. Walters (ed.): "European Garden Flora; Manual for the Identification of Plants Cultivated in Europe, Both Out-of-door and Under Glass, Cambridge Univ. Press, England, 1984, pp. 74-75.
- 3) J. Dransfield and N. W. Uhl: *Principes*, 30, 3-11 (1986).
- 4) N. W. Uhl and J. Dransfield: "Genera Palmarum/A Classification of Palms Based on the Work of Harold E. Moore, Jr.," "The L. H. Bailey Hortorium and The International Palm Society, Lawrence, KS, U.S.A., 1987, pp. 493-497.
- 5) 牧野富太郎, 菊池秋雄, 浅見興七, 並河 功監修, 石井勇義編: 園藝大辞典, 誠文堂新光社, 東京, 1956, pp. 116.
- 6) R. A. Oderinde and F. O. J. Oboh: *Food Chemistry*, 28, 177-186 (1988).
- 7) F. I. Opute: *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56, 528-530 (1979).
- 8) 遠藤節子, 瀬角幸代, 三橋達雄: 東京学芸大学紀要4部門, 36, 63-66 (1984).
- 9) R. G. Buttery, R. M. Seifert, D. G. Guadagni, and L. C. Ling: *J. Agric. Food Chem.*, 17, 1322-1327 (1969).
- 10) R. G. Buttery, R. M. Seifert, D. G. Guadagni, and L. C. Ling: *J. Agric. Food Chem.*, 19, 524-529 (1971).
- 11) D. G. Guadagni, R. G. Buttery, and J. G. Turnbaugh: *J. Sci. Food Agric.*, 23, 1435-1444 (1972).
- 12) R. G. Buttery, D. G. Guadagni, L. C. Ling, R. M. Seifert, and W. Lipton: *J.*

- Agric. Food Chem.*, 24, 829-832 (1976).
- 13) R. Teranishi and R. G. Buttery: in "Flavour Science and Technology," ed. by M. Martens, G. A. Dalen, and H. Russwurm, Jr., John Wiley & Sons, 1987, pp. 5155-527.
 - 14) K-H. Engel, R. A. Flath, R. G. Buttery, T. R. Mon, D. W. Ramming, and R. Teranishi: *J. Agric. Food Chem.*, 36, 549-553 (1988).
 - 15) R. G. Buttery, J. G. Turnbaugh, and L. C. Ling: *J. Agric. Food Chem.*, 36, 1006-1009 (1988).
 - 16) L. J. van Gemmert and A. H. Nettenbreijer (ed.): "Compilation of Odor Threshold Values in Air and Water," Zeist, The Netherlands, 1977.
 - 17) R. G. Buttery, Teranishi, R. A. Flath, and L. C. Ling: *J. Agric. Food Chem.*, 38, 792-795 (1990).
 - 18) G. R. Takaoka, R. A. Flath, T. R. Mon, R. Teranishi, and M. Guentert: *J. Agric. Food Chem.*, 38, 471-477 (1990).
 - 19) G. R. Takaoka, R. G. Buttery, and R. A. Flath: *J. Agric. Food Chem.*, 40, 1925-1929 (1992).
 - 20) E. M. Ahmed, R. Ahmed, R. A. Dennison, R. H. Dougherty, and P. E. Shaw: *J. Agric. Food Chem.*, 26, 187-191 (1978).
 - 21) G. R. Takaoka, R. G. Buttery, R. A. Flath, R. Teranishi, E. L. Wheeler, R. L. Wieczorek, and M. Guentert: in "Flavor Chemistry Trends and Developments," ed. by R. Teranishi, R. G. Buttery, and F. Shahidi, American Chemical Society, Washington, D. C., 1989, pp. 223-237.
 - 22) P. Salo, L. Nykane, and H. Suomalainen: *J. Food Sci.*, 37, 394-398 (1972).
 - 23) D. G. Guadagni, R. G. Buttery, and J. Harris: *J. Sci. Food Agric.*, 17, 142-144 (1966).
 - 24) R. G. Buttery: in "Flavor Science Sensible Principles and Techniques," ed. by T. E. Acree and R. Teranishi, American Chemical Society, Washington, D. C., 1993, pp. 259-286.