

原著論文

核の形態特徴の定量的評価に基づくウメ品種の類型化と品種の識別^{†1}

八重垣英明・岩田洋佳^{†2}・土師 岳^{†3}・末貞佑子・山口正己

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構

果樹研究所遺伝育種部

305-8605 茨城県つくば市

Classification and Identification of Cultivars in Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) Based on Quantitative Evaluation of Morphological Features of Stone

Hideaki YAEGAKI, Hiroyoshi IWATA, Takashi HAJI, Yuko SUESADA, Masami YAMAGUCHI

Department of Breeding, National Institute of Fruit Tree Science

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan

Summary

We quantitatively evaluated the shape and size variations of stones of Japanese and Chinese cultivars of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.). We also examined ways of identifying cultivars based on quantitative evaluations of the stone shape and size. Stones were photographed from two directions, i.e., lateral side and front side, and the contours of the stones were extracted by image analysis and delineated by elliptic Fourier descriptors. Principal component analysis of the descriptors was conducted, and the scores of the components were used as shape characteristics. Regarding size, we measured height, width and thickness of the stones by digital caliper, and the products and ratios of these measurements were used as size characteristics. Using the Ward's cluster analysis based on these characteristics, 64 samples, which consisted of Japanese and Chinese cultivars/selections, were classified into seven groups. Four samples from the two Chinese cultivars were all classified into one group (A), and the 60 Japanese cultivars/selections were classified into the remaining groups (B-G). Using support vector machines, a model was constructed to classify a stone into one of the seven groups based on the shape and size characteristics. The model was applied to stones extracted from 50 ume-boshi (pickled mume) products sold on the Japanese market. As a result, 31 products labeled as made from Chinese cultivars were all classified into group A. Over 60% of the 19 products labeled as made from fruit of cultivars of Japanese origin were assigned to one of the remaining groups (B-G). The results suggested that the method presented here may allow us to distinguish stones of Chinese cultivars from Japanese ones and to detect mislabeling of the country of origin.

Key words: Japanese apricot, cultivar discrimination, stone shape, image analysis, elliptic Fourier descriptors, principal component analysis, support vector machine

†1 果樹研究所業績番号：1394

(2005年10月14日受付・2006年1月17日受理)

†2 中央農業総合研究センター農業情報研究部 305-8666 茨城県つくば市

†3 現 東北農業研究センター総合研究部 020-0198 岩手県盛岡市

緒 言

近年、消費者は加工食品の原材料についての情報や購入する商品の品質に関する情報を望む傾向があるが、これまで国際的にも加工食品の原材料に関する原産地表示の一般的なルールは定められていなかった。2000年以降、加工食品の原料原産地表示について検討が行われ、2001年10月よりまず梅干しとらっきょう漬けにおいて、改正JAS法の農産物漬物品質表示基準で原料の原産地表示が義務付けられた。しかし、表示が正しいかどうかを確認する方法が確立されておらず、判別技術が求められている。

ウメ (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) の果実には硬い核が存在する。核は内果皮が肥厚し、リグニン化したものである。この核の形状や大きさおよび表面の紋様は同一品種内では年次や栽培条件の相違による変異が少なく、品種による差異が大きいたことが知られており (田中, 1936; 吉田ら, 1971), 核の外観から品種を判別できる可能性がある。

現在輸入されている梅干しの多くは、中国で収穫された中国の在来品種のウメ果実を一次加工した漬け梅の状態輸入され、国内で二次加工されているものが多い。よって日本の品種と中国の品種が核の形で判別できれば原料原産地表示を確認できる。この場合、形や大きさを定量的に計測し、計測値の統計処理に基づき判定する手法が客観性が高く、望ましい。近年、IT機器の高性能化と低価格化が進み、植物器官をデジタルカメラなどを用いて撮影し、得られた画像をコンピュータ上で解析することにより植物器官の様々な形態特徴を計測する手法が利用されるようになってきている。楕円フーリエ記述子を用いて植物器官の形を定量的に評価し、その評価値に基づいて遺伝的解析が行われている (岩田, 2005; 岩田・新倉, 2005)。本研究では、これらの手法を用いて日本と中国の複数品種の核の形状とサイズを解析し、その情報を基に品種をグルーピングし、グループ間識別の可能性を検討した。

材料および方法

供試材料

独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構果樹研究所 (茨城県つくば市, 以下果樹研究所と略) の千代田圃場 (茨城県かすみがうら市) で保存しているウメ58品種・系統の樹を用いた。2003年の収穫期に適熟果を収穫し、各品種・系統とも収穫果の平均的な大きさの10果

について果肉を取り除き、核の状態にした。‘南高’と‘白加賀’の2品種については千代田圃場の試料に加え、果樹研究所内の圃場で収穫された2試料も供試した。また、中国から一次加工されて輸入された梅漬け製品で原材料の品種名が‘白粉梅 (Baifenmei)’および‘青竹梅 (Qingzhumei)’と記載されていたそれぞれ2製品についても10果を果肉を取り除き核の状態にした。この合計60品種・系統から得られた64試料を用いてクラスター解析と分類モデルの構築を行った。

また、市販されている梅干し50製品についてもそれぞれ10果を果肉を取り除き、核の状態にした。この核を構築した分類モデルでのグループ間識別に用いた。

特徴量の算出

果樹研究所で採取した58品種・系統と中国の‘白粉梅’および‘青竹梅’の合計60品種・系統から得られた64試料各10個の核について側面 (縫合線を横にしてみる方向, Lateral side) および前面 (縫合線を正面にみる方向, Front side) の二方向 (Fig. 1) からデジタルカメラで撮影した。撮影された画像から、核の側面および前面の輪

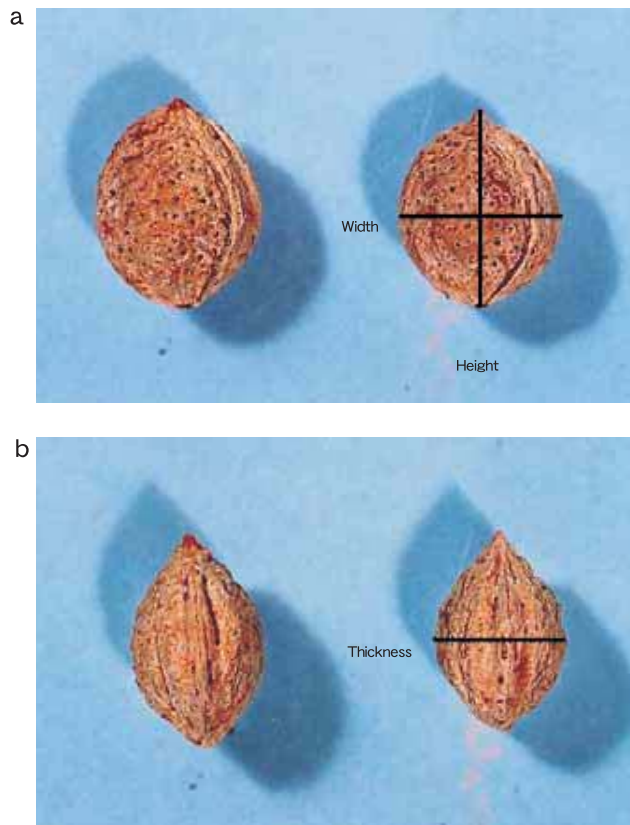


Fig. 1. Shape of Japanese apricot stone.
(a) Lateral side, (b) Front side

郭をデジタル画像処理により抽出し、抽出された輪郭の形状を楕円フーリエ記述子 (Kuhl・Giardina, 1982)により定量化した。楕円フーリエ記述子は、第20調和数の係数まで計算し、第1調和楕円の形状に基づき、大きさ、回転、計測開始点の違いに対する標準化を行った。係数の計算および標準化はKuhl・Giardina (1982)に従った。なお、楕円フーリエ記述子では、調和数毎に4つの係数が計算される。また、標準化の過程で第1調和数に対応する3係数が定数となる。本研究では、各輪郭は77 (= $20 \times 4 - 3$) 個の係数で記述された。

次に、全試料に含まれる形状変異を要約するために、分散共分散行列に基づく主成分分析を行った。各主成分の形状変異に対する意味を視覚化するために、主成分を定義する固有ベクトルから、それぞれ主成分得点が0または標準偏差の ± 2 倍の値を取り、他の主成分得点はすべて0となる場合のフーリエ係数を算出し、逆フーリエ変換により輪郭を再構築した。得られた各主成分について各核の主成分得点を計算し、その核の形の特徴量とした。なお、画像処理による輪郭抽出から主成分得点の計算までの一連の解析にはソフトウェアパッケージSHAPE (Iwata・Ukai, 2002)を用いた。また各核の縦径 (果頂方向から果梗方向, Height), 横径 (縫合線から反対方向, Width), 側径 (縫合線を挟む方向, Thickness) (Fig. 1)をデジタルノギスで計測し、縦径 \times 横径, 縦径 \times 側径, 横径 \times 側径, 縦径 \times 横径 \times 側径, 縦径/横径, 縦径/側径, 横径/側径の7項目を算出した。これをサイズの特徴量とした。

試料間変異の分散分析による評価と有意差検定

64試料の核の形およびサイズの特徴量について、それぞれ分散分析を行った。さらに農林水産研究センターのSASを用いてTukeyの全群比較法により品種・系統平均の有意差検定を行った。

クラスター解析と識別モデルの構築

次に、品種・系統が未知の核があった場合に、その核の形や大きさの情報をもとに、その核の属する品種・系統を予測するための識別モデルの構築を試みた。なお、後に示すように64試料の中には核の形状がお互いに非常に似通っているものがあつた。そこで、識別モデルの構築においては、各核を64試料のどれか1つとして直接識別するのではなく、後述するクラスター解析により得られる少数の品種・系統グループのどれか1つとして識別するモデルを構築した。まず、先述したように核の形およびサイズの全特徴量について、品種・系統を要因とし

た1元配置の分散分析を行った。次に、分散分析の結果、品種・系統効果が1%水準で有意であった64個の形およびサイズの特徴量について品種平均を求めた。64試料相互間の距離を品種平均間のユークリッド距離として計算し、計算された距離行列に基づきWard法 (Ward, 1963)によりクラスター解析を行った。クラスター解析の結果、64試料は7つの品種・系統グループに分類された。最後に、サポートベクターマシン (Vapnik, 1995)を用いて、各核について上記7グループのいずれに属するかを推定するための識別モデルの構築を試みた。なお、サポートベクターマシンは入力データと出力データの間にある関係をデータから学習するためのコンピュータアルゴリズムの一つである。ここでは核の形や大きさの定量的評価値が入力データであり、7つの品種・系統グループが出力データとなる。サポートベクターマシンは学習アルゴリズムの中でも、未知のデータを正確に分類する能力 (汎化能力) が一般に高く、近年様々な局面で用いられている。本研究では、品種・系統が未知の核について、その核の形と大きさから、その核の属する品種・系統グループを識別するためのモデルをサポートベクターマシンに学習させた。ところで、識別モデルの構築においては、利用可能なすべての変数を入力して用いたからといって必ずしも最良の (最も識別率の高い) モデルが得られるとは限らない。そこで、品種・系統効果が1%水準で有意であった64特徴量全てをモデルに取り込むのではなく、64特徴量の中から、有意性が高いものから順に5~64特徴量を用いた計60のモデルを生成し、そのうち最も識別能力が高いものを選択することとした。なお識別能力の評価には未知のデータに対する識別能力を推定するために1個抜きクロスバリデーション (leave-one-out crossvalidation; Allen, 1974; Stone, 1974)を用いた。これは全サンプルから、1つのサンプルを除き、残りのサンプルで識別モデルを作成したときに、その識別モデルを基に、あらかじめ抜いておいたサンプルを正確に識別できるか評価するものである。この操作を全サンプル分繰り返し、誤って識別されたサンプルの割合を誤分類率とし、この誤分類率の低いモデルを識別能力の高いモデルとして採用した。なお、クラスター解析と識別モデルの構築には、統計プログラムR-2.0.1のhclustクラスおよびsvmクラス (e1071パッケージ)をそれぞれ用いた。

市販梅干し製品の識別

市販されている梅干し50製品について、各製品とも10果を果肉を取り除き核の状態にした。この核についても2方向からデジタルカメラで撮影し、輪郭形状を楕円フ

ーリエ記述子で定量化した。梅干し製品のフーリエ記述子の値と64試料から得られた主成分の固有ベクトルから梅干し製品から得られた各核について主成分得点を計算し、その核の形の特徴量とした。また7項目のサイズの

特徴量も計測、算出した。最後に、上述した手順により得られた識別モデルを用いて50製品を7グループに識別した。

Table 1. Eigenvalues and proportion of principal components of elliptic Fourier descriptors for lateral and front sides of stones (see text).

Component	Lateral side			Front side		
	Eigenvalue ^z	Proportion ^y (%)	Cumulative proportion (%)	Eigenvalue ^z	Proportion ^y (%)	Cumulative proportion (%)
1	264.66	64.91*	64.91	577.30	73.83*	73.83
2	34.43	8.44*	73.35	100.00	12.79*	86.62
3	22.25	5.46*	78.81	20.65	2.64*	89.26
4	17.24	4.23*	83.04	15.75	2.01*	91.27
5	12.36	3.03*	86.07	9.15	1.17	92.44
6	8.21	2.01*	88.08	8.40	1.07	93.52
7	5.79	1.42*	89.50	6.40	0.82	94.34
8	4.26	1.05	90.55	5.55	0.71	95.05
9	3.92	0.96	91.51	4.63	0.59	95.64
10	3.21	0.79	92.30	3.01	0.39	96.02
Total variance	407.74			781.93		

^zRead eigenvalues as $x \times 10^{-5}$.

^yPrincipal components whose proportions were larger than 1/77 (=1.30%) are denoted by asterisks.

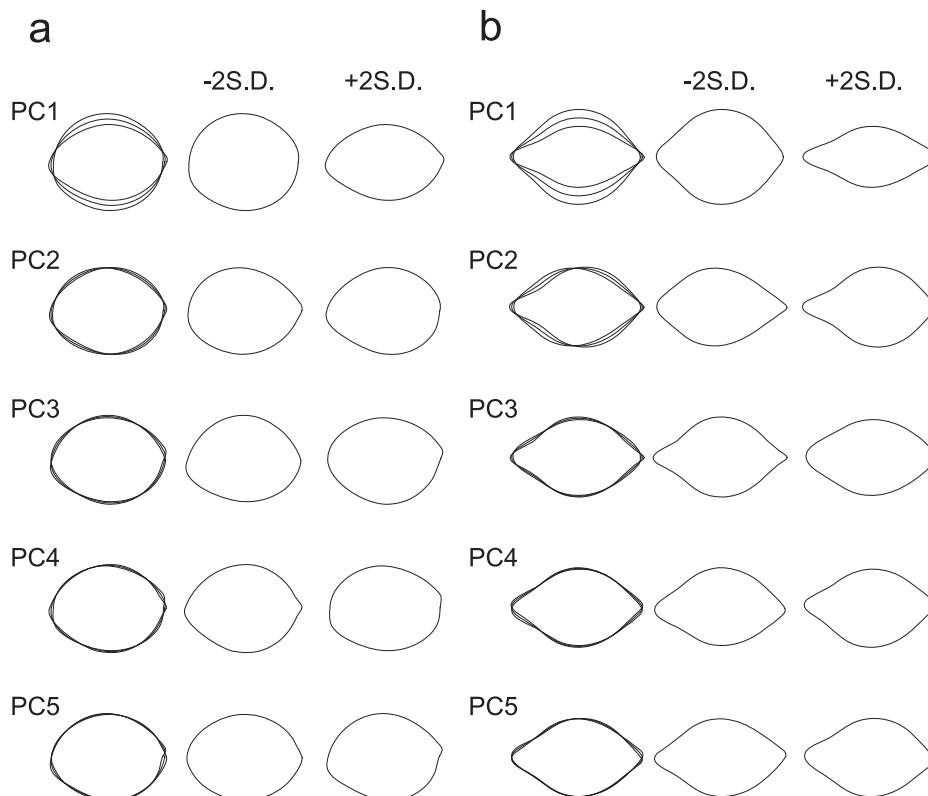


Fig. 2. Variation in shape which can be estimated by each principal component. Each shape was reconstructed from the coefficients calculated by letting the score for the standard deviation, and the scores for the remaining components be zero (PC1-5: the 1st to 5th principal components).

1st and 2nd principal components (PC1 and PC2) are good measures of height to width/thickness ratio, the position of the center of gravity, respectively.

(a) Lateral side, (b) Front side

結 果

核の形の特徴

64試料を用いた主成分分析の結果、側面では上位8主成分で、横面では上位4主成分で、それぞれ形状変異の90%以上が説明された。このうち第1主成分(PC1)は、側面形状の64%以上を、横面形状の73%以上を説明し、核の形状変異を説明することが分かった(Table 1)。なお、1変量分重みである1/77(フーリエ記述子の主成分では77変量が用いられた)を上まわる寄与率を示したのは、側面では上位7主成分、横面では上位4主成分であった(Table 1中*印)。また、側面および横面の全形状変異はそれぞれ0.00408, 0.00782で、横面形状は側面形状に比べ変異が大きく、約2倍の変異を持つことが分かった。次に、各種成分の評価する形の変異を輪郭の再構築により視覚化した結果、側面および横面ともに第1主成分は縦径/横径(または側径)比、第2主成分(PC2)は核の重心位置などが主な特徴として抽出された(Fig. 2)。また、第3主成分以降(PC3-5)も微細ではあるが、

Table 2. Analysis of variance in one-way classification with factor of cultivars/selections for components of shape and size characteristics of stones.

Shape and size characteristics	Mean of Squares		F value	P
	Between samples	Within samples		
LSPC1	0.0445	0.0141	28.90	<.0001
LSPC2	0.0076	0.0035	19.74	<.0001
LSPC3	0.0067	0.0050	12.11	<.0001
LSPC4	0.0044	0.0026	15.85	<.0001
LSPC5	0.0040	0.0033	10.84	<.0001
LSPC6	0.0030	0.0032	8.53	<.0001
LSPC7	0.0028	0.0057	4.40	<.0001
FSPC1	0.1089	0.0402	24.76	<.0001
FSPC2	0.0133	0.0031	38.84	<.0001
FSPC3	0.0068	0.0061	10.20	<.0001
FSPC4	0.0098	0.0719	1.24	0.105
H×W	86763	7204	110.11	<.0001
H×T	58014	7259	73.06	<.0001
W×T	35989	4185	78.62	<.0001
H×W×T	38410602	4614589	76.10	<.0001
H/W	0.1863	0.0570	29.86	<.0001
H/T	0.7591	0.2925	23.72	<.0001
W/T	0.2776	0.1268	20.02	<.0001

LSPC1-7: 1-7 principal components of lateral side

FSPC1-4: 1-4 principal components of front side

H: Height

W: Width

T: Thickness

異なる形の特徴を評価していることが分かった。なお、以下の解析では、得られたすべての主成分について、核毎に主成分得点を計算し、その値を形の特徴量として用いた。

試料間変異の分散分析による評価と有意差検定

64試料の形およびサイズの特徴量について分散分析を行った(Table 2)。なお、ここでは、寄与率が1/77を上まわった11主成分についてのみ結果を示す。分散分析の結果、縫合線に対して垂直方向からみた形状の第4主成分が有意でなかったのを除いて、全ての特徴量で試料間変異が高度に有意であった。特に、サイズの特徴量は形の特徴量に比べてF値が大きく、用いた試料間では

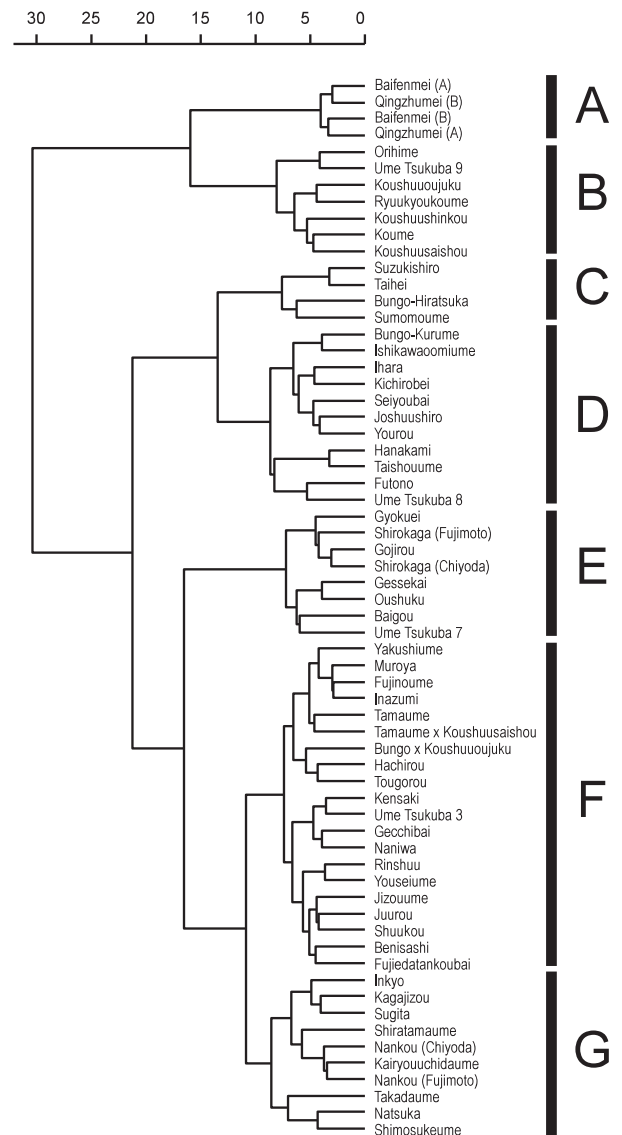


Fig. 3. Cluster analysis by Ward method based on quantitative evaluation of morphological features of stone.

Table 3. Significant difference by Tukey test of shape and size characteristics of stone.

Cultivars/selections ^z	Cultivars/selections in which no significant difference was found with the cultivars/selections in the left column
Baigou	Nothing
Benisashi	Fujiedatankoubai, Fujinoume, Hachirou, Inazumi, Juurou, Kairyouuchidaume, Muroya, shuukou, Tamaume
Bungo-Hiratsuka	Shirokaga (Fujimoto), Ume Tsukuba 8
Bungo-Kurume	Ishikawaomiume
Bungo × Koushuuoujuku	Fujiedatankoubai
Fujiedatankoubai	Benisashi, Bungo × Koushuuoujuku, Inazumi, Juurou, Muroya, Shuukou
Fujinoume	Hachirou, Inazumi, Jizouume, Juurou, Benisashi, Muroya, Tamaume × Koushuusaishou
Futono	Nothing
Gecchibai	Kensaki, Ume Tsukuba 3
Gessekai	Gyokuei
Gojirou	Gyokuei, Shirokaga (Chiyoda)
Gyokuei	Gessekai, Gojirou, Shirokaga (Chiyoda)
Hachirou	Benisashi, Fujinoume, Muroya
Hanakami	Shimosukeume, Taishoume
Ihara	Nothing
Inazumi	Benisashi, Fujiedatankoubai, Fujinoume, Jizouume, Juurou, Kairyouuchidaume, Muroya, Naniwa, Shuukou, Sugita
Inkyo	Sugita
Ishikawaomiume	Bungo-Kurume
Jizouume	Fujinoume, Inazumi, Juurou, Shuukou, Tamaume
Joshuushiro	Nothing
Juurou	Benisashi, Fujiedatankoubai, Fujinoume, Inazumi, Jizouume, Muroya, Tamaume
Kagajizou	Nankou (Chiyoda), Sugita
Kairyouuchidaume	Benisashi, Inazumi
Kensaki	Gecchibai, Ume Tsukuba 3
Kichirobei	Nothing
Koume	Koushuusaishou
Koushuuoujuku	Koushuusaishou, Koushuushinkou, Ryuukyokoume
Koushuusaishou	Koushuuoujuku, Koume
Koushuushinkou	Koushuuoujuku
Muroya	Benisashi, Fujiedatankoubai, Fujinoume, Hachirou, Inazumi, Juurou, Shuukou
Naniwa	Naniwa
Nankou (Chiyoda)	Kagajizou, Nankou (Fujimoto)
Nankou (Fujimoto)	Nankou (Chiyoda)
Natsuka	Shimosukeume
Orihime	Ume Tsukuba 9
Oushuku	Youseiume
Rinshuu	Youseiume
Ryuukyokoume	Koushuuoujuku
Seiyoubai	Nothing
Shimosukeume	Natsuka
Shiratamaume	Nothing
Shirokaga (Chiyoda)	Gojirou, Gyokuei
Shirokaga (Fujimoto)	Bungo-Hiratsuka, Ume Tsukuba 8
Shuukou	Benisashi, Fujiedatankoubai, Inazumi, Jizouume, Muroya
Sugita	Inazumi, Inkyo, Kagajizou
Sumomoume	Nothing
Suzukishiro	Taihei
Taihei	Suzukishiro
Taishoume	Hanakami
Takadaume	Ume Tsukuba 3
Tamaume	Benisashi, Jozouume, Juurou
Tamaume × Koushuusaishou	Fujinoume
Tougorou	Ume Tsukuba 3
Ume Tsukuba 3	Gecchibai, Kensaki, Takadaume, Tougorou
Ume Tsukuba 7	Nothing
Ume Tsukuba 8	Bungo-Hiratsuka, Shirokaga (Fujimoto)
Ume Tsukuba 9	Orihime
Yakushiume	Nothing
Yourou	Nothing
Youseiume	Oushuku, Rinshuu
Baifenmei (A)	Baifenmei (B), Qingzhumei (B)
Baifenmei (B)	Baifenmei (A)
Qingzhumei (A)	Nothing
Qingzhumei (B)	Baifenmei (A)

^z The notation system of cultivars/selections in English is according to the National Institute of Agribiological Science Genebank.

Table 4. Classification of Japanese apricot cultivars/selections by cluster analysis.

Cluster	Cultivars/selections
A	Baifenmei (A), Baifenmei (B), Qingzhumei (A), Qingzhumei (B)
B	Koume, Koushuuoujuku, Koushuusaishou, Koushuushinkou, Orihime, Ryuukyokoume, Ume Tsukuba 9
C	Bungo-Hiratsuka, Sumomoume, Suzukishiro, Taihei
D	Bungo-Kurume, Futono, Hanakami, Ihara, Ishikawoomiume, Joshuushiro, Kichirobei, Seiyoubai, Taishoume, Ume Tsukuba 8, Yourou
E	Baigou, Gessekai, Gojirou, Gyokuei, Oushuku, Shirokaga (Chiyoda), Shirokaga (Fujimoto), Ume Tsukuba 7
F	Benisashi, Bungo×Koushuuoujuku, Fujiedatankoubai, Fujinoume, Gecchibai, Hachirou, Inazumi, Jizoume, Juurou, Kensaki, Muroya, Naniwa, Rinshuu, Shuukou, Tamaume, Tamaume×Koushuusaishou, Tougorou, Ume Tsukuba 3, Yakushiume, Youseiume
G	Inkyo, Kagajizou, Kairyouchidaume, Nankou (Chiyoda), Nankou (Fujimoto), Natsuka, Shimosukeume, Shiratamaume, Sugita, Takadaume

Table 5. Classification of 50 ume-boshi products in domestic markets into seven clusters based on quantitative evaluation of morphological features of stone.

Indication of fruit material origin	A	B	C	D	E	F	G
19 Domestic product	7(1) ²	1	0	0	2	5(2)	6(1)
31 Chinese product	31	0	0	0	0	0	0

² Values in parentheses are products of equal to two clusters.

サイズの違いが大きいことが示唆された。さらにこれら合計18特徴量についてTukeyの全群比較を行い、2つの品種・系統の平均値を比較した18特徴量のうち1特徴量でも平均値間に有意差が認められた場合は、その品種・系統間には「有意差が認められた」とした。逆に18特徴量全てにおいて有意差が認められなかった場合には、その品種・系統間には「有意差が認められなかった」とした。その結果、64試料中12試料は、それぞれ他の63試料との間で有意差が認められた。残り52試料については1～10試料と全特徴量について有意差が認められなかったが、その他の大半の試料との間にはいずれかの特徴量において有意差が認められた (Table 3)。

クラスター解析と分類モデルの構築

Ward法により作成したクラスターをFig. 3に示す。クラスター解析の結果、64試料はAからGの7つの品種・系統グループに分けられた (Table 4)。7グループのうちグループAは中国の4試料であり、グループBは‘竜峡小梅’など日本の10g程度以下の小ウメと呼ばれる7品種・系統であった。グループAおよびBには核の比較的小さなものが含まれた。グループCおよびDには、‘豊後一平塚’などのアンズとウメの雑種群や核の大きい試料が含まれた。グループEには‘白加賀’の2試料がと

もに含まれ、横径や側径の狭い、細長い核のグループであった。逆にグループGは横径や側径の広い、丸い形の核のグループであり、‘南高’の2試料がともに含まれた。グループFはその両者の中間の形のものが含まれていた。

各核について上記7グループに対する属性を識別するモデルを構築した結果、29変数を含むモデルが、1個抜きクロスバリデーションにおいて最も低い誤識別率を示し、すなわち、未知の試料に対する識別予測能力が最も高いと考えられた。なお、29変数を用いたモデルでは、クロスバリデーションを行った際の誤識別率が5%以下、言い換えると95%以上の試料が正しいグループに識別された。

市販梅干し製品の識別

市販の梅干し50製品それぞれ10核について先述の29変数のモデルを用いて7グループへの識別を行った。10核中最も多く核が属すると識別されたグループをその製品が属するグループと判定したところ、50製品はTable 5に示すように識別された。

国産と表示のあった19製品のうち2製品では2グループに同数の核が識別された。19製品のうち、2グループに同数の核が識別された1製品を含む7製品がグループAに属すると判定された。グループBとグループEにはそ

れぞれ1製品と2製品が識別された。グループFには2グループに同数の核が識別された2製品を含む5製品が、グループGには2グループに同数の核が識別された1製品を含む6製品が識別された。中国産と表示のあった31製品はすべてグループAに属すると判定された。

考 察

64試料間でTukeyの全群比較を行ったところ、12試料については他の63試料と有意差が認められ、残りの52試料についても大半の品種とは有意差が認められた。2試料ずつ解析した4品種のうち‘南高’と‘白粉梅’では2試料間で有意差が認められなかったが、‘白加賀’と‘青竹梅’では有意差が認められた。同一品種内での栽培条件などによる差異も存在すると考えられるが、多くの品種・系統間で平均値に有意差が認められたことから、この品種・系統間差を利用した品種・系統のグループ化や、グループ間識別の可能性が示唆された。

そこでクラスター解析により、品種・系統を少数のグループに分類し、サポートベクターマシンを用いて、各核がどの品種・系統グループに属するのかを識別するためのモデルを構築した。まずクラスター解析によって、64試料がAからGの7つの品種・系統グループに分けられることを確認した。こうして求められた7グループに対して、サポートベクターマシンを用いて、各核を識別するモデルを構築した結果、29変量を用いた識別モデルを用いれば、95%以上の核について、その品種・系統を未知とした場合においても、本来その核が属しているグループに正しく識別された。

品種名が未知の梅干しの核をこの7グループに識別することで、その梅干し製品の原料原産地表示の記載の正否を確認できると考えられる。実際、中国産と表示のあった31製品はすべてグループAに識別された。しかし、一方で、国産と表示のあった19製品のうち7製品についても中国の品種から構成されるグループAに属すると判定された。これは現在中国から主に輸入されている‘白粉梅’と‘青竹梅’の核の形状が日本の品種の中では生産量が一番多い‘南高’に最も似ていることが原因であると考えられる。核の形状の主成分得点を用いて判別分析を行った結果、中国の4試料は‘南高’に最も近いところにプロットされた(データ省略)。一方、サイズの特徴量のうち縦径×横径、縦径×側径、横径×側径の3項目で判別分析を行うと、中国の4試料は‘南高’とは離れたところにプロットされた(データ省略)。よって中国の4試料と‘南高’は大きさが主な要因で識別され

ていると言える。今回、試料として識別モデルの構築に用いた‘南高’の核は35g前後の果実の核である。これは市場に流通される際に2L~3Lと呼ばれるサイズであるが、20g前後のMや25g前後のLのサイズの果実も収穫され流通されている。このMやLサイズの果実を用いた梅干し製品がグループAに識別されたものが多いと推察される。実際に国産と表示されていてグループAに識別された7製品の核を観察したところ、そのうち6製品の核は翼や刻と呼ばれる核表面の紋様が‘南高’の核とよく似ているものの、少し小さいものであった。よって、この6製品はMやLサイズの‘南高’を用いている可能性が高いと考えられた。このことから、核表面の紋様も定量的に評価することができれば、品種識別の精度はより高くなると考えられるので、今後検討する必要がある。

また今回の識別モデルは単年度の果実を用いて作成している。同一品種で2試料ずつ解析した4品種のうち‘白加賀’と‘青竹梅’では、Tukeyの全群比較において2試料間で有意差が認められたことから環境による変動が存在することが考えられる。しかし、2試料ずつ用いた4品種とも7つのグループの同じグループに分類されていることから、環境変動はそれによって各品種の属するグループが異なってしまうほど大きなものではないと考えられる。しかし、実用化にはさらに環境変動の評価が必要である。

原産地表示の正否を確認する場合、まずは疑わしいものをリストアップする必要がある。そして更に別の手法で確認することで誤りを明らかにすることができる。梅干しで表示が偽装される例として、中国産の果実を用いた製品に対し価格が高くなるよう国産と表示する場合は想定される。本手法では、中国産の可能性のある核が検出されるため、一次スクリーニングとして用いるのが適当だと考えられる。

本手法と平行して、梅干しの核中の仁に含まれる微量金属元素を分析することで国産と中国産を判別する技術の開発も行われている(井上ら, 2005a, b)。将来的には本手法による判定結果と、微量金属元素分析によるこの判定結果とを合わせることで偽造表示の検出精度が高まると考えられる。ただし、これは、現在輸入されている一次加工品は中国の在来品種である‘白粉梅’および‘青竹梅’を用いたものがほとんどであることから可能となる。今後、中国で‘白粉梅’および‘青竹梅’以外の品種や‘南高’などの日本の品種が栽培・加工され輸入されるようになった場合には、本手法での識別は困難になると考えられる。

摘 要

日本と中国のウメ品種・系統の核の形状とサイズを解析することで、品種識別を試みた。核の形状については側面および横面の輪郭をデジタル画像処理により抽出して、楕円フーリエ記述子により定量化し、得られた主成分得点を形の特徴量とした。サイズについては縦径、横径、側径をデジタルノギスで計測して、それぞれの積や比を算出し、サイズの特徴量とした。得られた特徴量を用いてWard法によりクラスター解析を行ったところ、用いた日本および中国の計64試料はAからGの7グループに識別された。中国の4試料は全てグループAに含まれ、日本の60試料はグループB～Gに含まれた。次にサポートベクターマシンを用いて、品種・系統が不明な核について、その核が上記7グループのいずれに属するかを識別するためのモデルの構築を試みたところ、クロスバリデーションにおいて95%以上の識別率を示すモデルを得ることが出来た。この識別モデルを用いて実際に市販されている梅干し50製品を7グループへの識別を行ったところ、中国産と表示のあった31製品は全てグループAに識別された。国産と表示のあった19製品は6割以上がグループB～Gに識別された。本手法を用いることで、核の形状およびサイズの特徴量に基づき日本と中国の品種についてグループ間識別モデルを構築できた。そのモデルを利用しての判別が行え、梅干し製品の原料原産地表示の正否の確認することが可能であることが示唆された。

引用文献

- 1) Allen, DM. 1974. The relationship variable selection and date augmentation and a method of prediction. *Technometrics* 16:125-127.
- 2) 井上博道・梅宮善章・増田欣也・中村ゆり. 2005a. 国内のウメの微量元素濃度による産地判別. *日本土壤肥科学雑誌*. 76:441-447.
- 3) 井上博道・梅宮善章・中村ゆり. 2005b. ウメ干しの仁の微量元素濃度による日本産と中国産の判別. *日本土壤肥科学雑誌*. 76:875-880.
- 4) 岩田洋佳. 2005. コンピュータ画像処理による2次元形態計測. *日本作物学会紀事*. 74:371-373.
- 5) 岩田洋佳・新倉聡. 2005. 植物の根に関する諸問題 [149] -ダイコン根形の定量的評価と育種-. *農業および園芸*. 80:1296-1304.
- 6) Iwata, H. and Y. Ukai. 2002. SHAPE : A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on Elliptic Fourier descriptors. *J. Heredity*. 93:384-385.
- 7) Kuhl, F.P. and C.R.Giardina. 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics Image Processing*. 18:263-258.
- 8) Stone, M. 1974. Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. *J. of Royal Statis. Soc.* B36:111-147.
- 9) 田中論一郎. 1936. 実ウメの品種に関する研究. 台北帝国大学理農学部園芸学教室奇与. No.15:1-44.
- 10) Vapnik, V. 1995. *The nature of statistical learning theory*. 314pp. Springer, New York.
- 11) 吉田雅夫・京谷英寿・安野正純. 1971. 核果類の品種に関する研究. (第2報) 核の形態. *園学要旨*. 昭46春:14-15.
- 12) Ward, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Amer. Statist. Assoc.* 58:236-244.
- 1) Allen, DM. 1974. The relationship variable selection and