近赤外分光法によるウメ果実の硬度計測

恩田 匠*・飯野修一*・乙黒親男*

Determination of Hardness of Mume Fruit by Near Infrared Spectroscopy

ONDA Takumi, IINO Shuichi* and OTOGURO Chikao

*Bio-technology Section, The Yamanashi Industrial Technology Center,
2094, Otsu-cho, Kofu-shi, Yamanashi 400,
E-mail: takumi @yitc. go. jp

Near infrared (NIR) spectroscopy was employed to determine hardness of intact mume fruit. Fruits were supplied to a NIR spectrophotometer and the absorbance at wavelength between 1100 and 2500nm (2nm intervals) was measured. The correlation between hardness values (kg) obtained with hardness meter and those obtained by NIR were examined by multiple linear regression analysis. The strongest correlation was obtained between NIR values predicted by 5-wavelength regression and those obtained with hardness meter. The multiple correlation coefficient was 0.91 and standard error of prediction was 0.32kg. It was proved that NIR is a useful method for determination of hardness of mume fruit.

(Received Jan. 9, 1995)

山梨県の地域特産物の一つであるウメ果実は、主として梅漬けや梅干しなどの加工原料として利用されているが、特に“カリカリ梅漬”と称する硬化梅漬用の原料は、その硬度が製品の品質に大きな影響を及ぼすことが知られており、収穫時の硬度と密接な関係にある熟度の判定はきわめて重要になっている。これまで、乙黒ら^{3), 4)}により、ウメ果実の熟度と品質の関係について、生理学的な側面やペクチン関連物質などを対象として詳細に検討されてきた。現在ウメ果実の熟度判定は、果実径により判別するロータリー式選別機が利用されているが、実際には収穫年度により大きさが異なることなどから実用上問題が残っている。したがって、現場では開花後の日数や果実の外観などの従来からの判定基準によって収穫されているのが実状であり、硬度もこれらの関係から推定している。このような現状から、ウメ果実の熟度、特に硬度を迅速かつ非破壊的に測定できる方法の確

立が望まれている。

天間ら⁵⁾はリンゴ果実を用いた実験で、果実硬度が近赤外分光法（以下、近赤外法と略記）により計測できたことを報告した。一方筆者ら⁶⁾も、スモモ果実の品質評価技術の確立を目的とした検討から、同法により糖度や酸度以外に硬度の計測ができる可能性を見いだした。そこで、近赤外法によりスモモ果実と同様に、ウメ果実の熟度判定、特に硬度判定の可能性について検討した結果を報告する。

実験材料および方法

1. ウメ果実試料

ウメ果実は、中ウメの‘白加賀’種 (Japanese Apricot, *Prunus mume* Sieb, Zucc., middle size cv., Shirokaga) および小ウメの‘甲州小梅’種 (Japanese Apricot, *Prunus mume* Sieb. et.

*山梨県工業技術センター生物工学科 (〒400 甲府市大津町2094)

Fig. 1 Near infrared spectrum (A) and its 2nd derivative spectrum (B) of intact mume fruit.

Numbers in the figure indicated wavelength (nm).

Zucc., var. microcadarpa Makino, koshukoume) を供した。果実の収穫は、山梨県八代町の圃場において、中ウメは1994年5月31日から6月28日まで、小ウメは同年5月18日から6月21日までの一週間毎に行った。果実試料100点（各収穫日から20点ずつ）は、検量線作成とその評価用に50個ずつ分割して用いた。

2 近赤外吸収測定

ウメ果実の近赤外吸収スペクトルは、近赤外分光分析装置 InfraAlyzer 500 (BRAN+LUEBBE 社製) を使用し、測定セルとして、果実用ドロアーを用いた。また、InfraAlyzer 500は、付属の近赤外吸収スペクトル解析ソフトウェア IDAS (InfraAlyzer Data Analysis Software, BRAN+LUEBBE 社製) により制御し、1100~2500nm の波長領域を 2 nm 毎に走査測定した。なお、ウメ果実の近赤外吸収スペクトルは、スモモ果実の場合と同様にその測定部位により変動したため、近赤外線照射位置を縫合線と反対の赤道面に統一した。

3 果実硬度およびその他の諸特性の測定

近赤外法の検量線作成のための計算に用いる果実硬度値の計測を行った。すなわち、果実硬度計（木屋製作所製）を用いて、一個体に付き3カ所（近赤外測定部位を含む赤道面上の3点）測定し、算術平均値 (kg) で示した。

また併せて、本実験に使用した果実の諸特性を明らか

にするため、検量線作成のための硬度 (kg) とは別に、以下の項目の分析を行った。すなわち、供試果実の果実重量、果実径、酸度、アルコール不溶性物質含量および水溶液ペクチン含量の測定を既報³⁾の試料調製と分析方法に準じて行った。なお、果実硬度の計測には、果実硬度計とともに、レオメーター NRM-2003 J 型（不動工業社製）も用いた。

4 検量線作成とその評価

近赤外計測のための検量線作成と得られた検量線の評価は、近赤外吸収スペクトル解析ソフトウェア IDAS を用いて行った。

実験結果および考察

‘白加賀’ と ‘甲州小梅’ の結果はほとんど同じ傾向であったため、以下の項目では ‘白加賀’ について述べた。

1. ウメ果実の近赤外吸収スペクトル

ウメ果実の近赤外吸収スペクトルは、水分に由来する2つの大きな吸収ピークをもつ、高水分系食品に典型的な形状を示した (Fig. 1 A)。この近赤外吸収スペクトルに2次微分処理（微分条件：segment；12nm, gap；0 nm）を行い、その吸収ピークを調べたところ、大小9個の吸収ピークが認められた (Fig. 1 B)。近赤外吸収スペクトルおよび2次微分スペクトルのいずれにおいても、硬度の違いによるスペクトルの変化には一定の傾向は認められなかった。

2. 供試ウメ果実の諸性状

検量線作成に用いた各熟期からの果実の硬度 (kg) は、平均値2.3kg, 最高値3.9kg, 最低値0.7kg および標準偏差 ± 1.7 kgであった。

また果実試料の硬度とそれに関与すると考えられる果実の成熟特性を Table 1 に示した。今回用いた果実は、6月21日から同月28日に急激に成熟が進んだ。

3. 硬度検量線の作成とその評価

果実硬度計により測定した硬度 (kg) を対照値とし、近赤外吸収スペクトルの吸光度値 (701データポイント) を説明変数として重回帰分析を行うことにより、検量線を示す重回帰式を作成した。変数増加法により、1つの波長から5つの波長を用いる5種の検量線を得た (Table 2)。5種の検量線の中で、5つの波長を用いる検量線の精度が最も高かった。この検量線を表す重回帰式を以下に示す。

$$\text{硬度 (kg)} = 6.0 + 284.7 A_{1440} + 394.4 A_{2312} - 37.7 A_{2084} + 289.3 A_{1412} - 217.6 A_{2476}$$

（ただし、Aは、各波長における吸光度）

Table 1 Some properties of used mume fruits.

harvest day	fruit weight (g)	diameter (mm)	fruit hardness ^{a)}		acidity ^{b)} (%)	AIS ^{c)} (%)	WSP ^{d)} (%)
			(kg)	(g/φ)			
31-May	18.2±1.4	30.2±0.7	3.6±0.2	736.9±38.6	4.25	3.15	13.6
7-Jun	24.1±2.4	33.5±1.4	3.5±0.3	791.9±34.3	5.21	3.09	10.9
14-Jun	25.7±2.7	34.3±1.3	3.2±0.4	684.1±51.7	5.57	2.60	6.6
21-Jun	36.8±3.5	39.1±1.1	2.8±0.5	545.4±66.5	5.92	2.39	17.4
28-Jun	40.3±3.9	40.4±1.5	1.5±0.5	273.8±64.8	4.93	2.23	38.4

Mume fruits were harvested at various stages of maturity. Measured values were indicated as A, V, or A, V, ±S, D..

a) Hardness value was measured with hardness meter (kg) and and with rhonometer (g/φ).

b) Citric acid content calculated from titratable acidity.

c) Alcohol insoluble substance (%) to fruit weight.

d) Water soluble pectin (%) to total pectin.

Table 2 Results of calibration and prediction determining hardness value of intact mume fruit.

wavelength selected (nm)					R ¹⁾	SEC ²⁾	SEP ³⁾
λ ₁	λ ₂	λ ₃	λ ₄	λ ₅			
1940					0.20	0.98	1.20
2340	2312				0.80	0.58	0.66
1448	2316	2084			0.88	0.47	0.51
1440	2316	2084	1436		0.89	0.43	0.45
1440	1212	2084	1436	2476	0.91	0.32	0.35

1) R ; correlation coefficient,

2) SEC ; standard error of calibration,

3) SEP ; standard error of prediction.

また、この検量線を用いて近赤外法により得た推定値と硬度計により得られた分析値の関係を Fig. 2 に示した。この検量線の精度は、重相関係数(R)0.91、標準誤差(SEC) 0.32kg および検量線評価時の推定標準誤差(SEP) 0.35kg であった。果実硬度を厳密に計測するためには、SEP が十分に小さくないことも考えられたが、硬度選別には十分な精度であると考えた。

以上のことから、近赤外法によりウメ果実の硬度計測が可能であるということを明らかにした。

果実硬度という物理的な指標は、光吸収を持ち得ないが、スモモ果実とリング果実の例からも、汎用性のある方法であることが考えられた。

今回の実験において、検量線作成のための重回帰計算に採用された波長 (Table 2) は、1440nm, 1940nm および2300nm 近傍のものであった。このうち、1440 nm および1940nm は水による吸収であり、2300nm 近傍の吸収は、糖類などの CH 基あるいは OH 基に帰属されることが推察⁷⁾された。このことから、この硬度計

Fig. 2 Correlation between actual and NIR hardness value in mume fruit.

Symbols : □ ; samples harvested at May 31, ▲ ; June 7, △ ; June 14, ● ; June 21, ○ ; June 28.

測に水分あるいは糖類の CH 基に関する情報が関与している可能性が推察された。一般に果実の軟化は細胞壁多糖類の一つであるペクチン質のプロトペクチンが、水溶性ペクチンに移行し、細胞間の結合力が低下することが主要因である^{3), 8)}とされている。Table 2 に示したとおり、ウメ果実でも軟化に伴い、著しい水溶液ペクチンの増加が認められた。以上のことから、近赤外法による果実硬度計測には、果実中の水分あるいは糖類（特にペクチン関連物質）の変化に関連する情報が反映されていることが考えられた。今後、再現性の高い測定のため、その測定原理的な解明が必須であると思われる。

なお、本論文の大意は、第41回日本食品低温保蔵学会大会（平成7年6月3日、東京）において発表した。

最後に、本稿をご閲覧いただいた山梨県工業技術センター主幹研究員小宮山美弘博士に感謝します。

文 献

- 1) 小川敏男：最新漬物製造技術（食品研究社，東京），p. 76（1975）
- 2) 前田安彦：新つけもの考（岩波新書，東京），p. 40（1987）
- 3) 乙黒親男・樋川芳仁・小宮山美弘・金子憲太郎：日食低温誌，**19**，101（1993）
- 4) 乙黒親男：日食工誌，**41**，498（1994）
- 5) 青森県産業技術開発センター：キーププロジェクト研究報告書，p. 183（1992）
- 6) 恩田 匠・辻 政雄・小宮山美弘：日食工誌，**41**，908（1994）
- 7) OSBORNE, B. G. and FEARN, T. : Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis (Longman Scientific Technical, New York), p. 28（1986）
- 8) 真部正敏：日食工誌，**28**，653（1986）
（平成7年1月9日受理）