

非破壊計測手法によるメロンの食べ頃判定および予測

佐野健人・石井貴*・鹿島恭子

Predicting Whether Melons (*Cucumis melo* L.) Are Ready to Eat by Non-destructive Methods

Taketo SANO, Takashi ISHII and Kyouko KASHIMA

Summary

In ripe 'Andesu gogou' melons, the flesh firmness is 0.62 kg, and the acoustic impulse transmission is 44.5 m/s. If the acoustic impulse transmission is represented by y_a , and the number of days until the melon is ready to eat by x , the relationship between the two can be represented by $y_a = -3.65x + 44.5$. Thus, we can predict the number of days until the melon is ready to eat if we measure the acoustic impulse transmission. In ripe 'Ahrusu Miyabi Natsukei' melons, the flesh firmness is 0.52 kg, the acoustic impulse transmission is 40.0 m/s, and the elasticity index is 4.9×10^6 . From the definitions in the previous paragraph, the relationship between x and y_a can be represented by $y_a = 925/(x + 23.1)$. If the elasticity index is represented by y_e , its relationship with y_e can be represented by $y_e = 130/(x + 26.4)$. Thus, we can predict the number of days until the melon is ready to eat from these relationships.

キーワード：食べ頃，予測，メロン，果肉硬度，非破壊，打音伝搬速度，弾性指標

I. 緒言

メロンは収穫後に「追熟」の過程を経て、「食べ頃」となる品目である。しかしながら、メロンの追熟を人為的にコントロールすることは困難であり、販売者からは「食べ頃」を予測・判定する技術の確立が要望されている。

近年では非破壊で熟度を判定する研究が様々な品目について行われている。メロンについては杉山(1998)や黒木ら(2006)が非破壊計測機器を開発している。杉山の方法は、果実を叩いた時に、その音が一定の距離を伝わる速度(打音伝搬速度)が果実の軟化に伴い遅くなることを利用したものである。これに対し、黒木らの方法は、果実に振動を与えた場合に、果実が特定の周波数で共鳴すること、そしてその周波数が果実の軟化に伴い変化することを利用したものである。杉山の方法は一定距離間(マイクとマイクの間)の伝搬速度を測れば良いため、果実の大きさや重量の情報を

要しない利点がある反面、果実に接触させる必要があることや打点による誤差を考慮し複数点で複数回計測する必要がある。それに対し、黒木らの方法は周波数分布が果実の大きさに依存するため、果実の重量により補正する必要がある反面、測定部位による誤差が小さく、1果実あたりの測定回数が少なくすむ利点がある。

本報告では本県産春メロンの主力品種である「アンデス5号」、夏メロンの主力品種「アールス雅夏系」について、官能評価による硬さと熟度の関係を明らかにし、硬さを杉山、黒木らが開発した機器を用いて非破壊手法で測定することにより、「食べ頃」か否かを判定することと、測定値をもとにあと何日で「食べ頃」になるかを予測する方法について検討した。

II. 材料および方法

供試したメロン「アンデス5号」は茨城県銚田市

*現 茨城県北農林事務所 常陸大宮地域農業改良普及センター

の農協から、計量区分 LA, 品質区分優品を 2005 年 5 月 11 日と 25 日, 2006 年 5 月 11 日と 24 日, 2007 年 5 月 15 日と 6 月 12 日に、市場出荷品と同じものを購入し、20℃設定の人工気象室（人工光グロースキャビネット FR または KG:小糸工業株）で保存した。‘アールス雅夏系’は 2006 年 8 月 24 日と 2007 年 9 月 10 日には茨城県銚田市の生産者から計量区分 3L, 品質区分優品相当品を、さらに、2007 年 9 月 26 日に茨城県銚田市の農協から計量区分 3L, 品質区分優品の市場出荷品と同じものを購入し、25℃設定の人工気象室で保存した。

各果実は購入後 2～3 日おきに打音伝搬速度と弾性指標（‘アールス雅夏系’のみ）を測定し、測定後の一部の果実は果肉硬度の測定および食味官能評価（食味調査）に供した。

打音伝搬速度は非破壊式硬度計（ファームテスター SA-I: 東洋精機）を用い、果実 1 個当たり赤道面 4ヶ所を 3 打ずつ合計 12 打、打音伝搬速度を測定し、平均値を算出した。

弾性指標は非破壊式粘弾性測定器「食べ五郎」（2006）、小型振動解析装置 KP α -AP1（2007）（いずれも有生物振動研究所）を用い果実の第 2 共鳴周波数を求めた。第 2 共鳴周波数より、式（1）を用いて弾性指標を算出した。

$$\text{式(1): 弾性指標} = (\text{第 2 共鳴周波数 Hz})^2 \times (\text{果重 g})^{2/3}$$

果肉硬度は果実硬度計 KM-1（藤原製作所）で円柱型直径 5mm のプランジャーを用いて、果実縦断面の果肉中央部 3ヶ所（果実の上部、中央部、下部）の貫入抵抗値（kg）を測定し、果肉の貫入抵抗値の平均値を果肉硬度とした。

食味調査は、1 果実につき所内職員 16 人で硬さおよび熟度を以下の通り評価し、平均値を算出した。

硬さ「非常に硬い = -3 点, やや硬い = -2, わずかに硬い = -1 点, 丁度良い = 0 点, わずかに軟らかい = +1 点, やや軟らかい = +2 点, 非常に軟らかい = +3 点」

熟度「未熟 = -2 点, やや未熟 = -1 点, 適熟 = 0 点, やや過熟 = +1 点, 過熟 = +2 点」

Ⅲ. 結果および考察

1. 熟度と硬さの関係

図 1 に食味官能評価の「硬さ」と「熟度」の結果を品種別に示した。両品種ともに「硬さ」は「熟度」との相関が高く、「硬さ」を「熟度」の指標とすることは妥当と考えられた。‘アンデス 5 号’では「硬さ」+0.082 で、‘アールス雅夏系’では「硬さ」+0.205 で「適熟」となり、両品種とも「ごくわずかに軟らかい」と感じられたものが適熟と判定された。

食味官能試験による評価は、実際の人の味覚によるものであるという強みがある反面、パネラーを確保する必要があること、パネラーへの負担が大きく 1 回あたりの供試試料数を余り多くできないことなどが問題である。そのため、機械的に「硬さ」を評価する手法が望ましい。このような硬さの評価手段としては、硬度（果肉の貫入抵抗値）によるものが一般的である。図 2 に果肉硬度と「硬さ（食味官能評価）」の関係を示した。両品種とも硬さと硬度には有意な相関が見られた。「硬さ」と硬度の両変数を標準化した上で、線形関係式を用いて関係式を算出した（丹羽 2008）ところ、‘アンデス 5 号’では硬度 0.62kg で、‘アールス雅夏系’では硬度 0.52kg で先に上げた適熟の硬さとなった。

以上、熟度を硬さで評価するとともに、食味官能評

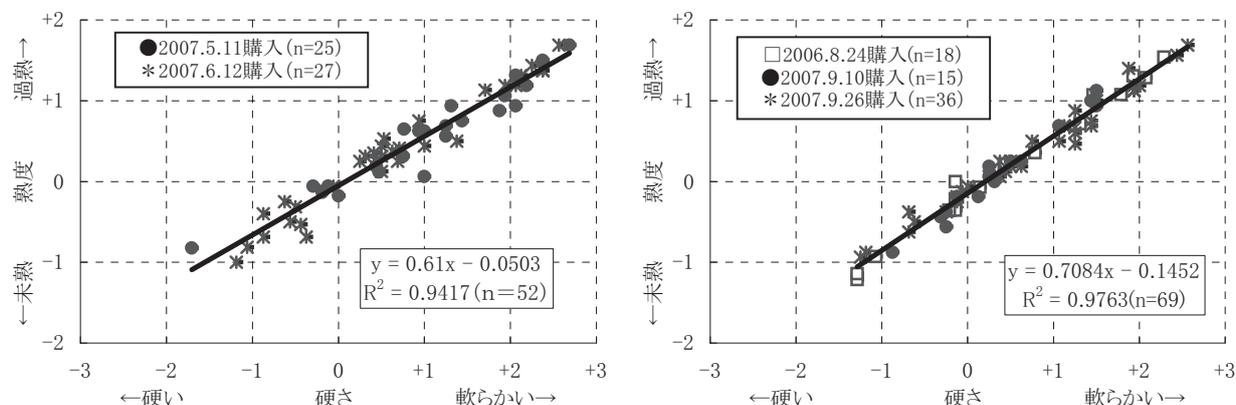


図1 食味官能調査による硬さと熟度の関係(左:アンデス5号、右:アールス雅夏系)

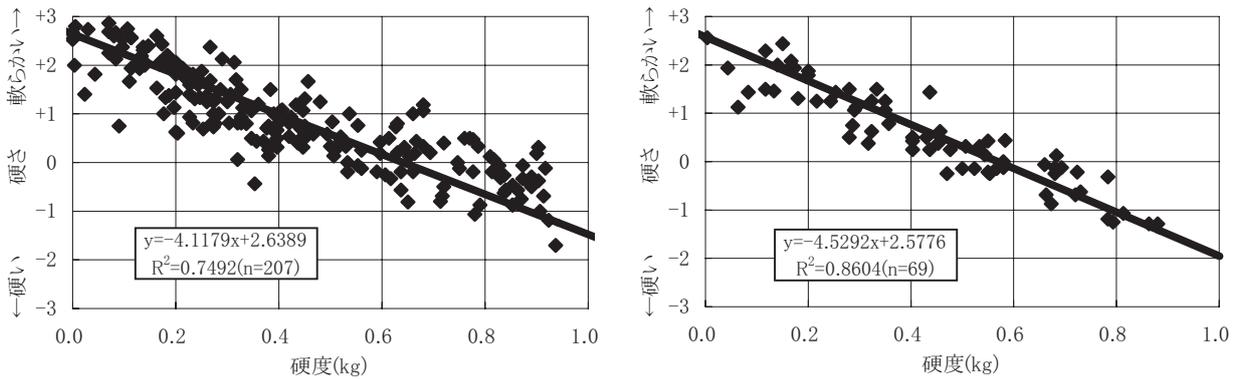


図2 硬度と食味官能評価による硬さの関係(左:アンデス5号、右:アールス雅夏系)

※ ‘アンデス5号’207個の内訳
 2005.5.11購入(n=40), 2005.5.25購入(n=40)
 2006.5.11購入(n=30), 2006.5.24購入(n=40)
 2007.5.15購入(n=25), 2005.6.12購入(n=32)

※ ‘アールス雅夏系’69個の内訳は図1に同じ

価に拠らず、果肉硬度から熟度を判定できると考えられ、‘アンデス5号’では硬度0.62kg, ‘アールス雅夏系’では硬度0.52kgで適熟となる。

用いて関係式を算出した(丹羽2008)ところ, ‘アンデス5号’では打音伝搬速度44.5m/sで, ‘アールス雅夏系’では打音伝搬速度40.0m/s, 弾性指標 4.9×10^6 で前節で求めた適熟の硬さとなった。

2. 食べ頃の判定

前節で硬度から熟度の判定について述べたが、硬度を測る際には果実を切断(破壊)する必要があるため、ここでは非破壊による硬さの評価に取り組んだ。

以上、打音伝搬速度および弾性指標より硬さを評価できた。前節で述べたとおり硬さから熟度を判定できることから, ‘アンデス5号’では打音伝搬速度44.5m/sで, ‘アールス雅夏系’では打音伝搬速度40.0m/sまたは弾性指標 4.9×10^6 で適熟と考えられ、打音伝搬速度または弾性指標がこれらの値に近い場合は食べ頃と判定できる。

打音伝搬速度および弾性指標(‘アールス雅夏系’のみ)を測定した果実の食味官能評価の結果を図3に示した。いずれの項目も硬さと有意な相関が見られ、前節と同様に、変数を標準化した上で、線形関係式を

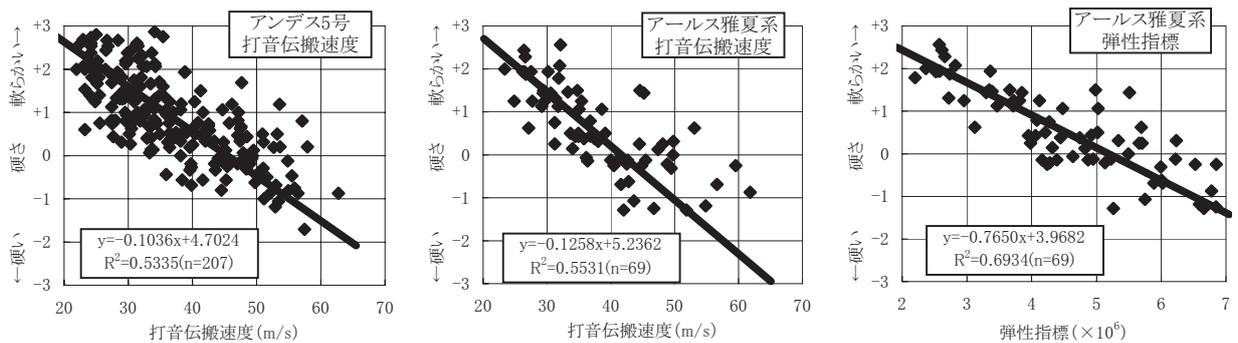


図3 打音伝搬速度または弾性指標と食味官能評価による硬さの関係(各メロンの購入日は図2に同じ)

3. 食べ頃の予測

店頭や商品のPOP, パンフレットなどでは, 「出荷後(あるいは収穫後)何日」が「食べ頃」という表記が見られる。

出荷日を基準に食べ頃までの日数を述べることには無理がある。

しかしながら、図4に示したとおり、同一生産者が同一日に収穫・出荷した個体であっても打音伝搬速度および弾性指標にはバラツキが見られ、収穫日または

一方、打音伝搬速度や弾性指標から食べ頃までの日数を予測するには、その変化をモデル化し、モデルを基に変化量を算出、食べ頃を予測するといった手法が考えられる。

打音伝搬速度や弾性指標は果実の軟化に伴い変化す

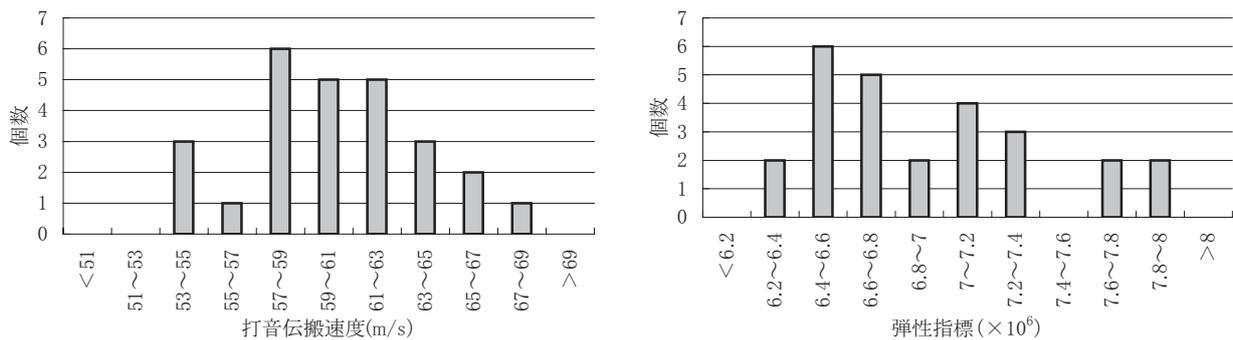


図4 同一生産者・同一収穫日のメロンの、打音伝搬速度(左)および弾性指標(右)の分布

※ 2007年9月10日購入・測定 of 'アールスメロン' 26個

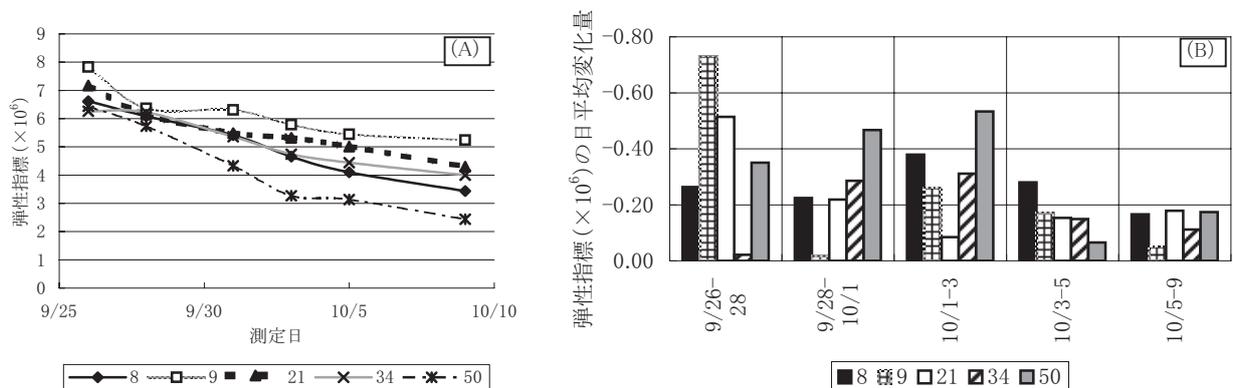


図5 弾性指標の経日変化(左:A)と変化量(右B)

※ 2007年9月26日購入の'アールスメロン'のうち、10/12まで経日的に測定した19個から無作為に5個を抽出し示した。凡例の番号は各メロンに付した識別番号

ることが知られており、高橋ら(2007)は弾性指標は直線的に減少するとし、それを根拠に適熟までの日数の推定の可能性に触れている。

図5Aに'アールスメロン'の弾性指標の測定結果の一部を示した。2007年9月26日に60個を農協より購入し10月12日まで経日的に測定した19個より無作為に5個のデータを示した。

先の高橋ら(2007)の述べたように、弾性指標が直線的に減少するのであれば、弾性指標の変化量は一定である。そこで、図5Bに、弾性指標の変化量を示したが、弾性指標の変化量は一定ではなかった。さらに、その変化量が一定しない傾向は'アンデス5号'の打音伝搬速度でも同様であった(データ略)。

このことから、打音伝搬速度および弾性指標の変化を近似するモデルそのものを検討する必要がある、経時的に減少する変数の近似として、以下を想定した。

- 1) 1次関数型： $y=ax+b$
- 2) 逆比例型： $y=a/(x+b)$
- 3) 指数型： $y=ae^{bx}$

ここで、打音伝搬速度または弾性指標(以下、非破

壊指標と表す)を y 、食べ頃までの日数を x とすると、 a 、 b はいずれも定数であるが、それをどのように決定するかが課題である。

上述のように、モデルの構造が線形ではないものを含むため、「食べ頃までの日数」と「硬さ」に注目して一般線形化を行った。すなわち、「食べ頃までの日数」と実際に試食するまでの日数の差を X 、試食したときの硬さの官能評価値を Y としたとき、 $Y=\alpha X+\beta$ の関係(予測より早く食べると硬く、予測を過ぎて食べると軟らかく、予測どおりに食べると β =適熟の硬さとなる)を想定した。

この一般線形化されたモデルを満たし、その決定係数 R^2 が最も大きくなるように前述の1)~3)の定数を決定した。具体的には、「食べ頃までの日数」が0の時、食べ頃(適熟)となることから、 $x=0$ のとき、非破壊指標 y は先に述べた適熟の値となり、「アンデス5号」の打音伝搬速度を例にとると、 $x=0$ のとき、 $y=44.5\text{m/s}$ で、このことから1次関数型では b が44.5、逆比例型では a/b 、指数型では a が44.5となる。更に、表計算ソフト Microsoft Excel のソルバー

表1 非破壊指標変化を近似するモデル式のパラメータ類

品種 (測定方法)	アンデス5号 (打音伝搬速度)			アールス雅夏系 (打音伝搬速度)			アールス雅夏系 (弾性指標)					
	式の種類	$y=ax+b$	$y=a/(x+b)$	$y=ae^{bx}$	式の種類	$y=ax+b$	$y=a/(x+b)$	$y=ae^{bx}$	式の種類	$y=ax+b$	$y=a/(x+b)$	$y=ae^{bx}$
a		-3.62	730	44.5		-2.56	925	40.0		-0.253	130	4.92
b		44.5	16.4	-0.0700		40.0	23.1	-0.0521		4.92	26.4	-0.0439
式の種類	$Y=\alpha X+\beta$			$Y=\alpha X+\beta$			$Y=\alpha X+\beta$					
α		0.208	0.211	0.210		0.151	0.163	0.157		0.175	0.182	0.179
β		0.128	0.128	0.128		0.205	0.205	0.205		0.205	0.205	0.205
R^2		0.595	0.591	0.594		0.696	0.747	0.725		0.799	0.813	0.808

表2 食べ頃までの日数の目安

品種	測定項目	食べ頃までの日数						
		-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
		←未熟			適熟	過熟→		
アンデス5号	打音伝搬速度(m/s)	66.3	59.0	51.8	44.5	37.3	30.1	22.8
アールス雅夏系	打音伝搬速度(m/s)	54.0	48.4	43.8	40.0	36.8	34.1	31.8
	弾性指標($\times 10^6$)	6.4	5.8	5.3	4.9	4.6	4.3	4.0

機能を用い、 $Y=\alpha X+\beta$ のモデルの R^2 を最大にするよう残りの定数を求めた。

その結果を表1に示した。 R^2 の大きい式を採用し、アンデス5号(打音伝搬速度)では一次関数型、アールス雅夏系では打音伝搬速度、弾性指標ともに反比例型に近似されたモデルを採用した。

採用したそれぞれのモデルより、非破壊指標と食べ頃までの日数を求めた(表2)。熟度判定が 0 ± 0.5 の範囲を適熟とすると、図1よりその範囲に相当する「硬さ」は「アンデス5号」で $-0.737 \sim +0.902$ 、「アールス雅夏系」で $-0.501 \sim +0.911$ である。

予測に用いたデータのうち、食べ頃までの日数が0

± 0.5 以内(食べ頃の日)で食味をしたメロンの「硬さ」は、「アンデス5号」で21個中20個が、「アールス雅夏系」では5個中4個(打音伝搬速度)または4個中4個すべてが先の「硬さ」の範囲に納まった。

なお、2008年産「アンデス5号」計量区分LAを 20°C で保存した17個のうち、購入日の打音伝搬速度から予測した食べ頃予測日に食味したもの2個は、「硬さ」 $+0.17$ と $+0.50$ であり、2個とも丁度良い硬さの範囲内であった(図6)。このときの各パネラーの評価点は、「硬さ」 $+0.17$ の果実(図7・A)で12名中8名が、「硬さ」 $+0.50$ の果実(図7・B)で同6名が「丁度良い」硬さと判定した。

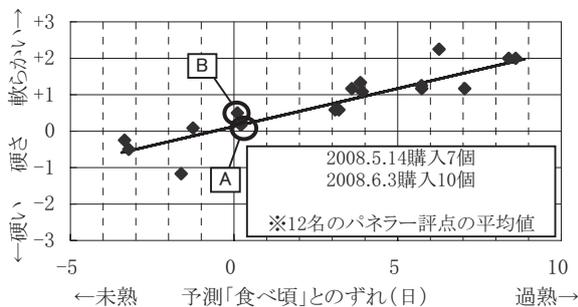


図6 「アンデス5号」の予測値(実線)と実測値(点)

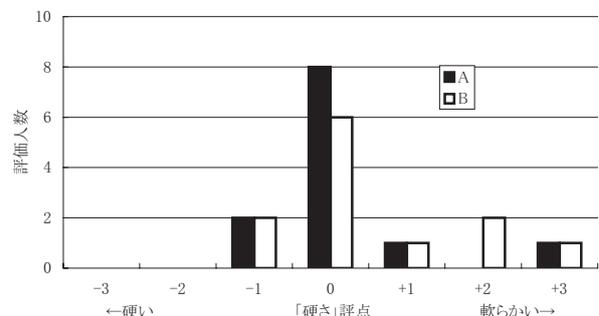


図7 「硬さ」食味評価のパネラー評点のずれ分布

※ 図6でA、Bと示した「アンデス5号」について、パネラー12名の「硬さ」食味評価の評点分布を示した。

IV. 摘要

‘アンデス5号’では果肉硬度 0.62kg の時に適熟となり、この時の打音伝搬速度は 44.5m/s である。打音伝搬速度を y 、食べ頃までの日数を x とすると、両者の関係は $y = -3.65x + 44.5$ で表すことができ、これにより食べ頃までの日数を予測することができる。

‘アールスメキシコ’では 0.52kg で適熟、この時の打音伝搬速度は 40.0m/s、弾性指標は 4.9×10^6 である。打音伝搬速度を y とすると $y = 925 / (x + 23.1)$ 、弾性指標を y とすると $y = 130 / (x + 26.4)$ で食べ頃までの日数との関係を表すことができ、これにより食べ頃までの日数を予測することができる。

引用文献

- 杉山純一. 1998. 打音によるメロンの非破壊計測. 農業および園芸. 73: 238-246.
- 黒木信一郎・藤路陽・櫻井直樹. 2006. 簡易型非破壊食べ頃予測装置の開発. 園学雑 75 別 2: 420.
- 高橋正大・谷脇満・藤路陽・櫻井直樹. 2007. 振動法によるメロンの熟度推定とその品種間比較. 園学研 6 別 2: 386.
- 丹羽誠. 2008. これならわかる化学のための統計手法 - 正しいデータの扱い方. pp. 109. (株)化学同人. 京都.