

追熟中のセイヨウナシ ‘ル・レクチエ’ における非破壊法による果実特性の評価

知野秀次¹・松本辰也²・太田祐樹¹・児島清秀^{1*}¹新潟大学大学院自然科学研究科 950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地²新潟県農業総合研究所園芸研究センター 957-0111 新潟県北蒲原郡聖籠町真野 117

Evaluation of Fruit Characteristics in ‘Le Lectier’ Pears during Ripening Using a Nondestructive Method

Shuji Chino¹, Tatsuya Matsumoto², Ohta Yuuki¹ and Kiyohide Kojima^{1*}¹Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku Niigata 950-2181²Horticultural Research Center, Niigata Agricultural Research Institute, 177 Mano, Seiro, Niigata 957-0111

Abstract

The frequency of second resonance and the elasticity index (a relative value of the shear modulus measured by the vibration response technique) of fruit during ripening in ‘Le Lectier’ pears were monitored by a new nondestructive measurement device. In addition, the changes in fresh weight, flesh firmness and soluble solid concentration were determined, and the relationship between elasticity index and those characteristics was demonstrated. The elasticity indices in fruits at harvest time ranged from 48 to 65 ($\times 10^6$), and those indices decreased during ripening. The decreasing patterns of elasticity indices differed with the type of fruit, and those indices ranged from 18 to 25 ($\times 10^6$) when fruits reached the edible ripe stage 40 days after treatment (DAT). Changes in the physical properties of various fruit could be continuously traced by the elasticity index, and it was suggested that the differences in fruit quality at harvest time and softening patterns during ripening were attributed to the dispersion of differences in ripeness at the time when fully ripe (40 DAT). The fresh weight and flesh firmness decreased during ripening, although the soluble solid concentration was increased, and those characteristics correlated with the elasticity index. These findings suggest that the edible ripe stage of ‘Le Lectier’ pears during ripening can be estimated by the elasticity index, which was affected by both water concentration and soluble solid concentration.

Key Words : elasticity index, flesh firmness, frequency of second resonance, fruit weight, soluble solid concentration

キーワード : 第2共鳴周波数, 弾性指標, 果実重, 果肉硬度, 可溶性固形物濃度

緒言

セイヨウナシ ‘ル・レクチエ’ の果実は追熟の進行に伴って果肉硬度が低下し(古田・浅野, 1991; Murayama ら, 1995), 可食状態の果実はメルティング質の果肉となる。生産現場において, 可食状態の果実の熟度は果皮色や果肉硬度によって推定されている。しかし, 収穫後の果皮色は追熟方法によって変化し, 熟度を正確に評価することが難しい(知野ら, 2007)。レオメーターや貫入式硬度計で測定する果肉硬度は有効な熟度指標となるが, 測定に使用した果実は商品価値を失う。そのため, 果肉硬度による熟度評価は, いくつかの抽出した果実を破壊して他の果実の熟度を推定する間接的な方法である。従って, 個々の果実の正確な熟度評価には非破壊計測技術が必要である。

近年, 非破壊計測技術の進歩によって果肉硬度の推定が

可能となった(Kuroki ら, 2006; 元村ら, 2004; Muramatsu ら, 1997a, b, 1999a, b; Murayama ら, 2006b; 桜井, 2003, 2004; Terasaki ら, 2001a, b, c, 2006)。非破壊で果肉硬度を推定するレーザードップラー振動法は, 振動している物体にレーザー光をあて, 反射してきた光(ドップラー効果を受けた光)を利用して物体の振動そのものを計る方法である(桜井, 2004)。この測定法は実用化に向けての研究段階であるが, キウイフルーツ(Terasaki ら, 2001b, c), セイヨウナシ ‘ラ・フランス’(Murayama ら, 2006b; Terasaki ら, 2006) およびリンゴ(元村ら, 2004; 長内ら, 2003)の弾性指標は果肉の軟化に伴って低下することが報告されている。さらに, キウイフルーツ(Terasaki ら, 2001c), セイヨウナシ ‘ラ・フランス’(Murayama ら, 2006b) およびリンゴ(元村ら, 2004)では, 弾性指標と果肉硬度の間には高い相関が認められ, 弾性指標から果肉硬度を推定できることが示されている。‘ル・レクチエ’果実は‘ラ・フランス’と同様に追熟の進行とともに果肉が軟化するため, 弾性指標と果肉硬度の間には高い相関が予想される。

本研究は, ‘ル・レクチエ’果実の熟度を非破壊で評価す

2008年4月23日 受付。2008年6月30日 受理。

本報告の一部は平成18年度園芸学会春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: kojimaki@agr.niigata-u.ac.jp

ることを目的として、果実の第2共鳴周波数をレーザードップラー振動計の原理を応用して開発された果実硬度測定装置 (KN α -LA1; 生物振動研究所) で経時的に測定した。さらに、第2共鳴周波数から弾性指標を算出し、その指標と果肉硬度、可溶性固形物濃度および果実重との相関関係を示した。また、'ル・レクチエ' 果実がびん形であるため、弾性指標の算出式についても検討を行った。

材料および方法

1. 同一の果実における弾性指標の変化 (試験 1)

22 果のセイヨウナシ 'ル・レクチエ' は、新潟県園芸研究センターに植栽されている樹齢 12 年の樹から採取した。果実の採取は収穫適期である 10 月 27 日 (2005 年) に行った。果実の収穫適期は以前の報告 (知野ら, 2007) と同様にヨウ素デンプン反応によって判断した。採取した果実は、古田・浅野 (1991) の方法に従い、5°C で 10 日間の低温処理を行った。その後、10°C に設定したインキュベーター内で果実を追熟させた。インキュベーター内の湿度は、水を入れたプラスチックトレイを置き、80% 以上に維持した。

弾性指標の算出に利用する第2共鳴周波数と直径の調査は、低温処理期間中は5日ごとに、処理後は2日ごとに行った。第2共鳴周波数と直径の計測には果肉硬度測定装置 (KN α -LA1; 生物振動研究所) を使用し、果実の赤道部の2か所を計測した (第1図)。弾性指標 (E) は、第2共鳴周波数 (f_2) と直径 (d) から算出し、直径から算出した弾性指標を弾性指標 Ed と定義した。弾性指標 Ed は以下の式 [1] から算出した。

$$\text{弾性指標 } Ed = f_2^2 \cdot d^2 \quad [1]$$

2. 追熟中の果実における弾性指標と果実特性との関係 (試験 2)

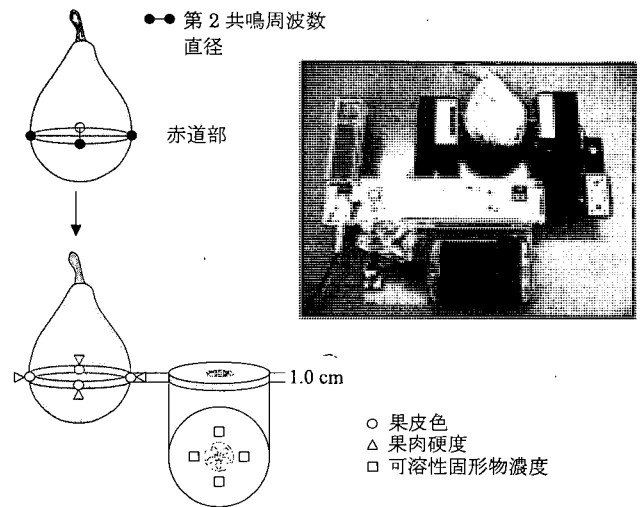
133 果の 'ル・レクチエ' 果実は、試験 1 と同様に新潟県園芸研究センターに植栽されている樹齢 12 年の樹から採取した。果実の採取および収穫後の処理は試験 1 と同様に行った。試験 2 では、果実重、果皮色、第2共鳴周波数、直径、果肉硬度および可溶性固形物濃度の調査を実施した。それらの調査データから果実重の割合 (収穫時の果実重に対する調査時の果実重の割合)、弾性指標、可食果率および過熟果率を算出した。調査は 10 日ごとに行い、各測定日には 19 果を供試した。

果実重の割合 (%) は収穫時の果実重を基準とし、以下の式 [2] から算出した。

$$\text{果実重の割合 (\%)} = \frac{\text{(調査時の果実重)} / \text{(収穫時の果実重)} \times 100 \quad [2]$$

果実重を計測後、果皮色は果実カラーチャート (ニホンナシ (地色)) を基準にし、果実の赤道部の 4 か所を測定した (第1図)。

弾性指標は、第2共鳴周波数 (f_2) と直径 (d) または果



第1図 第2共鳴周波数、直径、果皮色、果肉硬度および可溶性固形物濃度の測定部位 (模式図)
写真は果実硬度測定装置 (KN α -LA1; 生物振動研究所) による共鳴周波数の測定時のようすを示す

実重 (m) からそれぞれ算出した。試験 1 と同様に、第2共鳴周波数および直径は果肉硬度測定装置で測定し (第1図)、直径から算出した弾性指標は弾性指標 Ed とした。さらに、果実重から算出した弾性指標を弾性指標 Em と定義した。弾性指標 Ed は前述の式 [1]、弾性指標 Em は以下の式 [3] から算出した。

$$\text{弾性指標 } Em = f_2^2 \cdot m^{2/3} \quad [3]$$

果肉硬度の測定は貫入式硬度計 (佐藤製作所) で測定した。硬度計には円筒型の直径 8.0 mm のプランジャーを取り付け、赤道部の果肉の 4 か所を測定した (第1図)。測定時には果皮をナイフではなく皮した。

可溶性固形物濃度は屈折糖度計 (N-1E, ATAGO) で測定した。果実の赤道部から約 1.0 cm の厚さの切片を切り出した後、果芯と果皮の間の中央部から 4 つの果肉ブロック (1.0 cm³) を調製し、それぞれの果汁の可溶性固形物濃度を測定した (第1図)。

可食果および過熟果の判定は果肉硬度を基準とし、5.1 ~ 8.0 N の果実を可食状態、5.0 N 以下の果実を過熟状態と定義した。可食果率および過熟果率は以下の式 [4] および [5] から算出した。

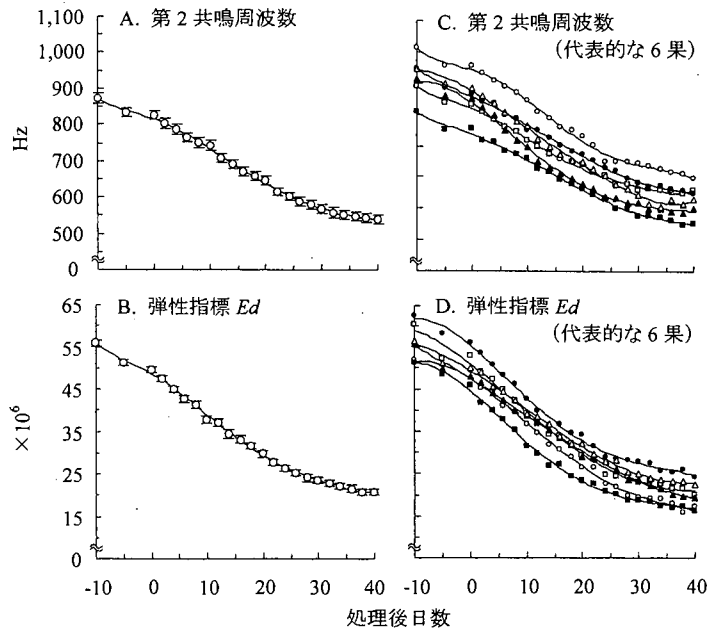
$$\text{可食果率 (\%)} = \frac{\text{(可食果数)} / \text{(調査果数)} \times 100 \quad [4]$$

$$\text{過熟果率 (\%)} = \frac{\text{(過熟果数)} / \text{(調査果数)} \times 100 \quad [5]$$

結 果

1. 同一の果実における第2共鳴周波数および弾性指標の変化 (試験 1)

収穫時の果実の第2共鳴周波数は 739 ~ 1,014 Hz であり、平均値は 880 Hz であった (第2図 A)。その時の弾性指標



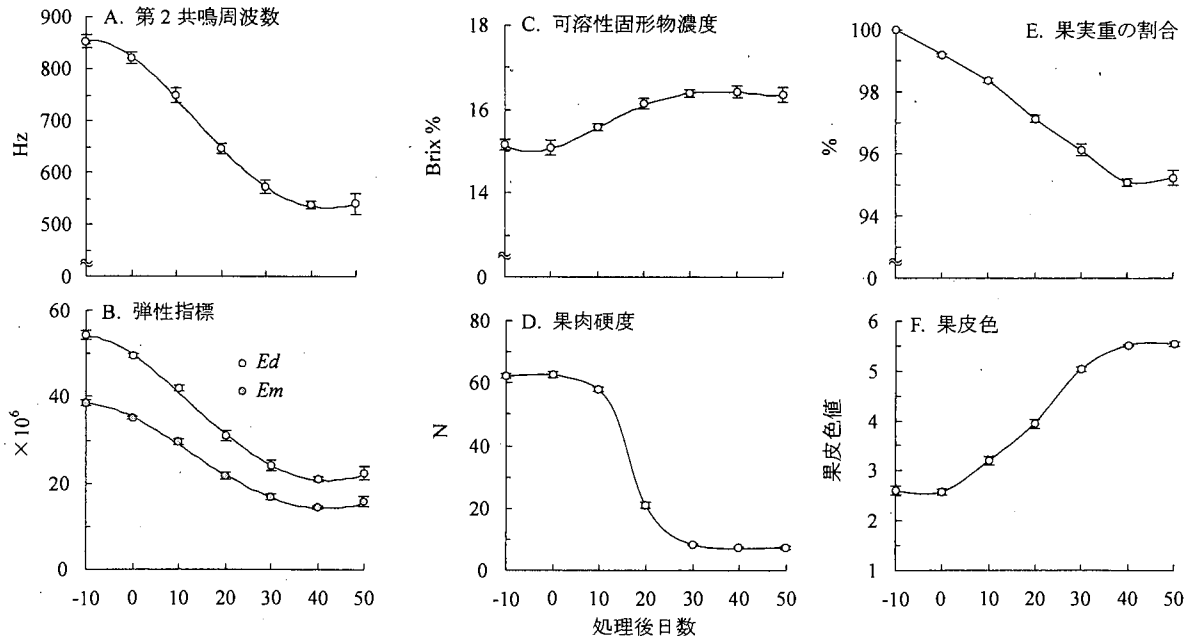
第2図 同一の果実における第2共鳴周波数 (A, C) および弾性指標 (B, D) の変化

処理後日数の-10は収穫時, -10~0は低温(5°C)処理期間を示す

AおよびBは22果の第2共鳴周波数および弾性指標の平均を示し, 垂線は標準誤差を示す

CおよびDは22果の内の代表的な6果の第2共鳴周波数および弾性指標の推移を示す

BおよびDは直径から算出した弾性指標 Ed を示す



第3図 第2共鳴周波数 (A), 弾性指標 (B), 可溶性固形物濃度 (C), 果肉硬度 (D), 果実重の割合 (E), および果皮色 (F) の変化
処理後日数の-10は収穫時, -10~0は低温(5°C)処理期間を示す

Bの Ed は直径から算出した弾性指標, Em は果実重から算出した弾性指標を示す
垂線は標準誤差を示す (n=19)

Ed は 49 ~ 63 ($\times 10^6$) であり, 平均は 57 ($\times 10^6$) であった (第2図B). 第2共鳴周波数および弾性指標 Ed は日数の経過とともに低下し, 処理後40日の弾性指標 Ed は 16 ~ 26 ($\times 10^6$) であり, その平均は 20 ($\times 10^6$) であった (第2図B).

22果の中から代表的な6果を選び, それぞれの果実の第2共鳴周波数および弾性指標 Ed の変化を第2図のCおよびDに示した. 収穫時および処理後40日の第2共鳴周波数および弾性指標 Ed は果実によって異なった. さらに,

弾性指標 Ed の低下パターンも果実によって異なっていた (第2図D).

2. 追熟中の果実における弾性指標と果実特性との関係 (試験2)

1) 第2共鳴周波数および弾性指標の変化

第2共鳴周波数は、試験1と同様に処理後の日数の経過とともに低下した (第3図A). 収穫時の直径から算出した弾性指標 Ed は $57(\times 10^6)$ であり、処理後40日には $21(\times 10^6)$ まで低下した (第3図B). また、果実重から算出した弾性指標 Em は、収穫時に $38(\times 10^6)$ 、処理後40日には $15(\times 10^6)$ であった (第3図B).

2) 可溶性固形物濃度および果肉硬度の変化

収穫時の果実の可溶性固形物濃度は15.1%であった (第3図C). 可溶性固形物濃度は追熟期間中に上昇し、処理後40日の濃度は16.4%であった.

収穫時の果肉硬度は61.8Nであった (第3図D). その後の果肉硬度は、処理後10~20日にかけて急激に低下し、処理後30日には8.2Nまで低下した.

3) 果実重の割合および果皮色値の変化

果実重の割合は追熟の進行とともに減少し、処理後40日は95%であった (第3図E).

収穫時の果皮色値は2.6であった (第3図F). 果皮色値は低温処理期間中にほとんど変化せず、低温処理後に増加した. 処理後40日の値は5.5であった.

4) 可食果率および過熟果率

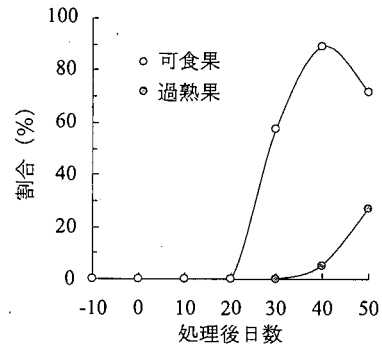
可食果率は、収穫時から処理後20日まで変化せず、処理後30日に60%であった (第4図). 大部分の果実は処理後

40日に可食状態に達し、その時の割合は90%であった.

過熟果率は、収穫時から処理後30日まで変化せず、処理後40日に約5%であった (第4図). 処理後50日の過熟果率は約27%であり、処理後60日には全果実が過熟状態であった.

5) 弾性指標と果実特性 (果肉硬度、可溶性固形物濃度および果実重の割合) との相関

弾性指標 Ed と果肉硬度との関係および弾性指標 Em と果肉硬度の関係を第5図AおよびBに示した. 弾性指標 Ed または Em と果肉硬度との相関図は2つのグループに分かれており、相関関係は調査できなかった.

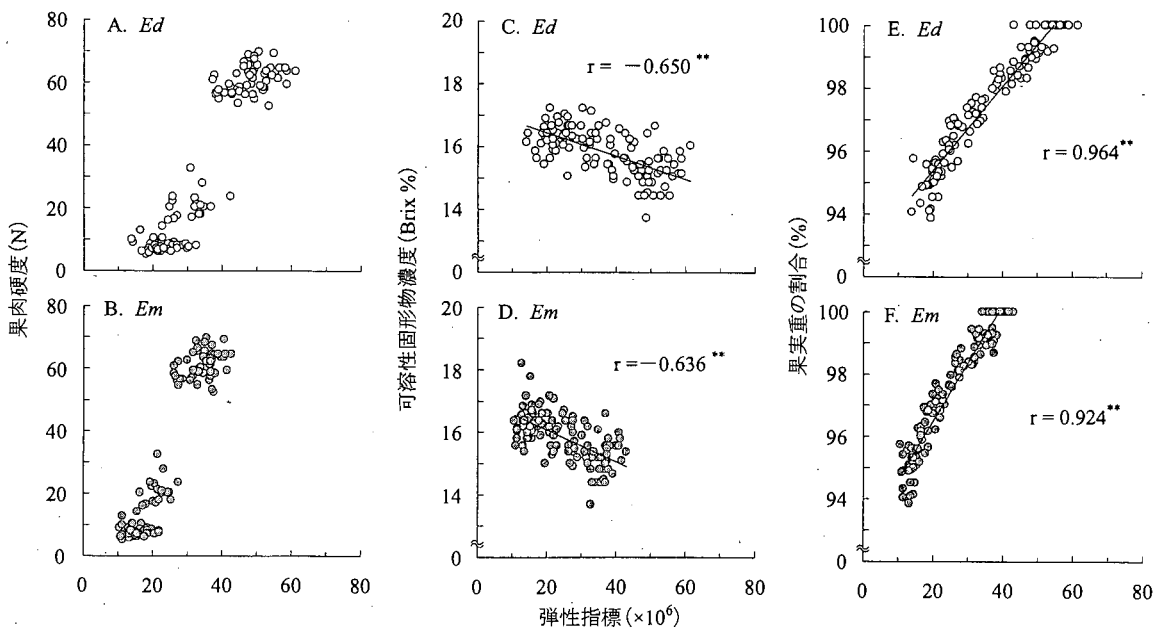


第4図 可食果率および過熟果率の変化

処理後日数の-10は収穫時、-10~0は低温 (5°C) 処理期間を示す

可食果は5.1~8.0Nの果肉硬度の果実、過熟果は5.0N以下の果実を示す

各調査日には19果を供試し、割合 (%) を算出している

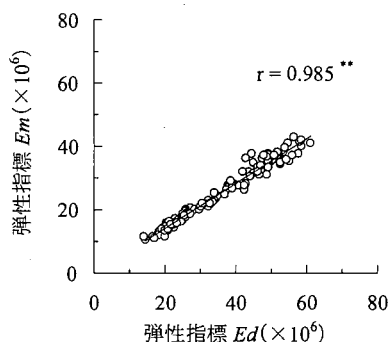


第5図 追熟中の果実の弾性指標と果肉硬度 (A, B)、可溶性固形物濃度 (C, D) または果実重の割合 (E, F) との関係

A, C および E は、それぞれ、直径から算出した弾性指標 Ed を示す

B, D および F は、それぞれ、果実重から算出した弾性指標 Em を示す

相関係数の (**) は1%水準の有意な相関を示す



第6図 直径から算出した弾性指標 (E_d) と果実重から算出した弾性指標 (E_m) の関係

(**) は1%水準の有意な相関を示す

弾性指標 E_d と可溶性固形物濃度との間には負の相関がみられ、相関係数 ($r = -0.650$) は1%水準で有意であった (第5図C)。弾性指標 E_m と可溶性固形物濃度との間にも負の相関がみられ、相関係数 ($r = -0.636$) は1%水準で有意であった (第5図D)。

弾性指標 E_d と果実重の割合には正の相関がみられた (第5図E)。相関係数は0.964であり、1%水準の有意な相関であった。弾性指標 E_m と果実重の割合にも正の相関がみられ、相関係数 ($r = 0.924$) は弾性指標 E_d と同様に1%水準で有意であった (第5図F)。

6) 弾性指標 E_d と弾性指標 E_m との関係

弾性指標 E_d と弾性指標 E_m との間には正の相関がみられた (第6図)。相関係数は0.985であり、1%水準の有意な相関であった。

考 察

試験1において、果肉硬度測定装置で測定した‘ル・レクチェ’果実の第2共鳴周波数は追熟の進行とともに低下し、弾性指標はキウイフルーツ (Terasaki ら, 2001b, c)、セイヨウナシ‘ラ・フランス’ (Murayama ら, 2006b) およびリンゴ (元村ら, 2004) のように果肉の軟化とともに低下することが明らかになった。さらに、弾性指標の低下パターンは果実によって異なり、収穫時に高い弾性指標を示した果実は追熟完了時に高い値を示すものもあれば低い値を示すものもあった。このことから、追熟完了時の硬度のばらつきは、収穫時の果実の物性だけではなく、追熟中の物性変化の影響も受けることが示唆された。

試験2において、追熟前と追熟後の果実では果肉硬度が異なり、弾性指標も異なった。多くの果実は処理後40日に可食硬度に達し、その時の弾性指標は21.0 (E_d) および14.3 (E_m) であった。さらに、処理後40日の弾性指標 E_d は試験1 (20.8) とほぼ一致した。このことから、低温処理 (5°C・10日間) を施した果実は、弾性指標が21 (E_d) または14 (E_m) で可食状態になることが明らかになった。

弾性指標と果肉硬度との相関図は2つのグループに分かれており、相関係数の調査ができなかった。この原因は弾

性指標と果肉硬度の低下パターンの違いにあり、処理後10～20日にかけて果肉硬度が急激に低下することに起因する。弾性指標と果肉硬度との関係を示すには測定間隔を狭め、さらに調査しなければならない。

弾性指標と可溶性固形物濃度との相関についてはキウイフルーツ (Terasaki ら, 2001c) で報告されており、本試験においても有意な相関が認められた。可溶性固形物濃度の上昇にはデンプンの糖化や細胞壁成分の可溶化が関与しており、それらの成分は追熟中に低分子化する (Kojima ら, 1994)。さらに、細胞壁成分の可溶化は果肉の軟化にも関与していることから (Kojima ら, 1994; Murayama ら, 1998, 2006a; Terasaki ら, 2001b), 弾性指標と可溶性固形物濃度との間には相関が見られたと考えられる。

果実重の割合は追熟中に減少し、処理後50日までに5%の減少が認められた。弾性指標と果実重の割合の間には1%水準の有意な相関が認められ、相関係数は可溶性固形物濃度よりも高かった。果実重の割合の減少は水分の消失と考えられるため、水分が可溶性固形物濃度よりも弾性指標と密接な関係にあることが示唆された。

弾性指標 E_d と各果実特性の相関係数は、弾性指標 E_m と各果実特性との係数とほぼ同様であった。さらに、弾性指標 E_d と弾性指標 E_m との間には1%水準の有意な相関 ($r = 0.985$) が認められ、2つの弾性指標はほぼ一致する関係にあった。このことから、追熟中の‘ル・レクチェ’果実の弾性指標の算出には、直径または果実重のどちらを使用しても問題がないことが明らかになった。しかしながら、セイヨウナシ‘ル・レクチェ’の果形はびん形であり、直径は測定位置によって変化し、誤差が生じやすい。従って、このような果実の弾性指標の算出には果実重を用いることが有効である。

以上のことから、追熟過程の‘ル・レクチェ’の可食期は弾性指標から推定できることが示唆された。可食期の評価基準となる果肉硬度と弾性指標との関係は現時点では不明であるが、収穫時と調査時の果実重から算出した果実重の割合 (含水率) および可溶性固形物濃度が弾性指標に関連することが本試験の結果から示唆された。今後、弾性指標と果肉硬度の関係を調査するとともに、含水率や可溶性固形物濃度が弾性指標に及ぼす影響を明らかにすることによって、弾性指標による熟度の推定精度が向上すると考えられる。また、近赤外線による可溶性固形物濃度の非破壊計測も有効とされていることから、これらの技術の併用により、個々の果実の非破壊計測が可能になると考えられる。

摘 要

セイヨウナシ‘ル・レクチェ’における追熟中の果実の第2共鳴周波数および弾性指標 (振動応答技術によって測定された剪断係数の相対値) を新規の非破壊測定装置でモニターした。さらに、果実重、果肉硬度および可溶性固形物濃度の変化を測定し、弾性指標と果実特性との関係を示

した。収穫時の果実の弾性指標は $48 \sim 65 (\times 10^6)$ であり、追熟中に低下した。弾性指標の低下パターンは果実によって異なり、処理後 40 日に可食状態に達した時の弾性指標は $18 \sim 25 (\times 10^6)$ であった。個々の果実おける物性の変化を弾性指標によって連続的に追跡でき、収穫時の果実の品質や追熟中の軟化パターンの違いが完熟時(処理後 40 日)における熟度のばらつきの原因になることが示唆された。果実重および果肉硬度は追熟中に低下したが、可溶性固形物濃度は上昇し、これらの果実特性は弾性指標と相関があった。これらの結果は、追熟中の 'ル・レクチエ' 果実の可食期を弾性指標によって推定でき、その弾性指標は含水率と可溶性固形物濃度の影響を受けることを示唆している。

引用文献

- 知野秀次・松本辰也・児島清秀. 2007. エチレンあるいは低温処理がセイヨウナシ 'ル・レクチエ' の追熟過程に及ぼす影響. 園学研. 6: 295-299.
- 古田道夫・浅野 聡. 1991. 西洋ナシ(ル・レクチエ)の追熟特性. 新潟食研報. 26: 1-5.
- Kojima, K., N. Sakurai and S. Kuraishi. 1994. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. *Physiol. Plant.* 90: 772-778.
- Kuroki, S., M. Tohro and N. Sakurai. 2006. Monitoring of the elasticity index of melon fruit in a greenhouse. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75: 415-420.
- 元村佳恵・長尾多実子・桜井直樹. 2004. 6品種のリンゴ果実硬度のレーザー・ドップラー法による非破壊・非接触測定. *食科工.* 51: 483-490.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, N. Wada, R. Yamamoto, T. Takahara, T. Ogata, K. Tanaka, T. Asakura, Y. Ishikawa-Takano and D. J. Nevins. 1999a. Evaluation of fruit tissue and internal disorders by laser Doppler detection. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 83-88.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, N. Wada, R. Yamamoto, K. Tanaka, T. Asakura, Y. Ishikawa-Takano and D. J. Nevins. 1997a. Critical comparison of an accelerometer and a laser Doppler vibrometer for measuring fruit firmness. *HortTechnology* 7: 434-438.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, N. Wada, R. Yamamoto, K. Tanaka, T. Asakura, Y. Ishikawa-Takano and D. J. Nevins. 1999b. Remote sensing of fruit textural changes with a laser Doppler vibrometer. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125: 120-127.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, R. Yamamoto, D. J. Nevins, T. Takahara and T. Ogata. 1997b. Comparison of a non-destructive acoustic method with an intrusive method for firmness measurement of kiwifruit. *Postharvest Biol. Technol.* 12: 221-228.
- Murayama, H., T. Katsumata, H. Endou, T. Fukushima and N. Sakurai. 2006a. Effect of storage period on the molecular-mass distribution profile of pectic and hemicellulosic polysaccharides on pears. *Postharvest Biol. Technol.* 40: 141-148.
- Murayama, H., I. Konno, S. Terasaki, R. Yamamoto and N. Sakurai. 2006b. Nondestructive method for measuring fruit ripening of 'La France' pears using a laser Doppler vibrometer. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75: 79-84.
- Murayama, H., D. Satoh, Y. Ohta and T. Fukushima. 1995. Effect of relative humidity in ripening of 'Le Lectier' pear fruit. *Acta Hort.* 398: 187-193.
- Murayama, H., T. Takahashi, R. Honda and T. Fukushima. 1998. Cell wall changes in pear fruit softening on and off the tree. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 143-149.
- 長内敬明・元村佳恵・桜井直樹. 2003. 無袋リンゴ「ふじ」果実の臭化メチル処理が内部褐変の発生、果肉硬度、果肉の弾性に及ぼす影響. *食科工.* 50: 254-258.
- 桜井直樹. 2003. レーザードップラー装置による果実の非破壊的粘弾性測定. *日本バイオレオロジー学会誌.* 17: 92-97.
- 桜井直樹. 2004. 果実の硬さで食べ頃・取り頃を知る技術. *農及園.* 17: 1286-1292.
- Terasaki, S., N. Sakurai, N. Wada, T. Yamanishi, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2001a. Analysis of the vibration mode of apple tissue using electronic speckle pattern interferometry. *Transactions of ASAE* 44: 1697-1705.
- Terasaki, S., N. Sakurai, R. Yamamoto, N. Wada and D. J. Nevins. 2001b. Changes in cell wall polysaccharides of kiwifruit and the visco-elastic properties detected by a laser Doppler method. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70: 572-580.
- Terasaki, S., N. Sakurai, J. Zebrowski, H. Murayama, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2006. Laser Doppler vibrometer analysis of changes in elastic properties of ripening 'La France' pears after postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 42: 198-207.
- Terasaki, S., N. Wada, N. Sakurai, N. Muramatsu, R. Yamamoto and D. J. Nevins. 2001c. Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser doppler vibrometer. *Transactions of ASAE* 44: 81-87.