

セイヨウナシ ‘ル・レクチェ’ における低温貯蔵中の弾性指標と水分消失との関係

知野秀次¹・松本辰也²・徳田美佳子³・二木明日香³・
太田祐樹¹・齋藤洋太郎¹・坂井 優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

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

³新潟大学農学部 950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町

Relationship between Elasticity Index and Water Loss in ‘Le Lectier’ Paers during Low-temperature Storage

Shuji Chino¹, Tatsuya Matsumoto², Mikako Tokuda³, Asuka Futatsugi³,
Yuuki Ohta¹, Yotaro Saito¹, Yu Sakai¹ and Kiyohide Kojima^{1*}

¹Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata 950-2181

²Horticultural Research Center, Niigata Agricultural Research Institute, Mano, Seiro, Niigata 957-0111

³Faculty of Agriculture, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata 950-2181

Abstract

The present study aimed to clarify the relation between elasticity index and water loss. Fruit ripeness was maintained by low-temperature storage without changing the physical properties of the fruit, although the water content changed due to low-humidity. ‘Le Lectier’ pears harvested at a commercial maturity were stored in a simplified snow storeroom at 2–3°C with 95% or more relative humidity or in a refrigerator at 2°C with 10% relative humidity. The amount of water loss, flesh firmness and elasticity index of the fruit stored in the simplified snow storeroom did not change during storage. However, the amount of water loss and elasticity index of the fruit stored at 2°C with a 10% relative humidity markedly decreased, and flesh firmness decreased slightly due to water loss. A significant correlation between the amount of water loss and elasticity index was apparent in the low-humidity processing. However, the correlation between the water content and elasticity index in high humidity processing was not apparent because the application width was small. These findings indicate that the decrease in the elasticity index of ‘Le Lectier’ pears was caused by fruit softening and water loss.

Key Words : flesh firmness, relative humidity, resonant frequency, snow storeroom, water content

キーワード : 含水率, 果肉硬度, 共鳴周波数, 相対湿度, 雪室

緒 言

セイヨウナシ ‘ル・レクチェ’ は、収穫後に追熟を必要とする(知野ら, 2008)。果肉は追熟の進行に伴って軟化し、メルティング質となる(古田・浅野, 1991; Murayamaら, 1995)。さらに、‘ル・レクチェ’の果皮は追熟中に緑色から黄色に変化する(知野ら, 2007; 古田・浅野, 1991)。

‘ル・レクチェ’果実の適食期の推定には、果皮色や収穫後の積算温度(新潟県, 2006)が有効とされている。しかしながら、外観品質から熟度を正確に評価することが難しいため、生産現場では“試し切り”(果肉の硬さ、肉質や糖度の簡易食味調査)が行われている。追熟中の果実の熟度

は、果皮色や積算温度の結果に加え、実際の簡易食味調査の結果から総合的に判断・推定されている。しかし、調査に使用した果実は商品価値を失うため、生産者にとっては損失となってしまう。

品質調査による損出の削減には、非破壊計測技術による熟度推定が有効である。近年、音響振動法を利用した非破壊計測技術(桜井, 2003; Taniwaki・Sakurai, 2010)の研究が進み、農産物の熟度推定が可能となった。キウイフルーツ(Terasakiら, 2001b)、セイヨウナシ(Murayamaら, 2006b; Taniwakiら, 2009; Terasakiら, 2006)およびリンゴ(元村ら, 2004)では、レーザードップラー振動計で計測した共鳴周波数から算出した弾性指標(硬さの指標)と果肉硬度との間に高い相関が認められている。

さらに、簡易型の振動計が開発され、カキ(神田ら, 2010)、トマト(中野ら, 2008)、メロン(Kurokiら, 2006)およびニホンナシ(門脇ら, 2010)の熟度評価に関する研究に応用されている。著者らも、簡易型の振動計を利用したセイヨウナシ ‘ル・レクチェ’の熟度推定に関する研究

2010年4月9日 受付. 2010年10月26日 受理.

本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「雪室活用の西洋ナシの追熟制御と日本ナシの長期貯蔵の技術開発(課題番号2026)」により実施した。

本報告の一部は平成21年度園芸学会秋季大会で発表した。

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

(知野ら, 2009, 2010) を行い, その過程で, 弾性指標が追熟の進行とともに低下すること, ならびに弾性指標と相対新鮮重 (収穫時の果実重を基準にした相対値) との間には強い相関があることを明らかにした. しかし, 今までの調査において, 弾性指標と果肉硬度との間に有意な相関は得られていない.

相対新鮮重の低下は水分の損失と推定される. 弾性指標と相対新鮮重との相関を考慮すると, 弾性指標の低下には水分損失の関与が示唆される. 従って, 弾性指標から 'ル・レクチュ' 果実の熟度を推定するためには, ある一定の熟度を維持させたまま水分のみを変動させ, その指標と水分損失との関係を明らかにしなければならない.

そこで本研究は, 弾性指標を利用したセイヨウナシ 'ル・レクチュ' 果実の熟度推定に関する基礎的な研究として, 低温高湿条件の簡易雪室または低温低湿条件の家庭用冷蔵庫に果実を貯蔵し, 果実の水分損失量と弾性指標との関係を調査した.

材料および方法

1. 植物材料

試験材料のセイヨウナシ 'ル・レクチュ' の果実は, 新潟県園芸研究センターに植栽されている樹齢14年の樹から採取した. 果実の採取は, 収穫適期である2007年10月27日に行った. 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.

2. 貯蔵方法

採取した果実は, 低温高湿度の簡易雪室または低温低湿の家庭用冷蔵庫で保存した. 簡易雪室は前報告 (知野ら, 2010) と同様のものを使用し, 氷を利用することによって2~3°Cの温度で95%以上の相対湿度の条件を維持した. 一方, 家庭用冷蔵庫の温度は2°C, 相対湿度は10%であった. 低温処理14, 24, 34, 44, 54および64日後に果実を取り出し, 果実特性を調査した. 各測定日には4果を供試した.

3. 方法

1) 非破壊調査

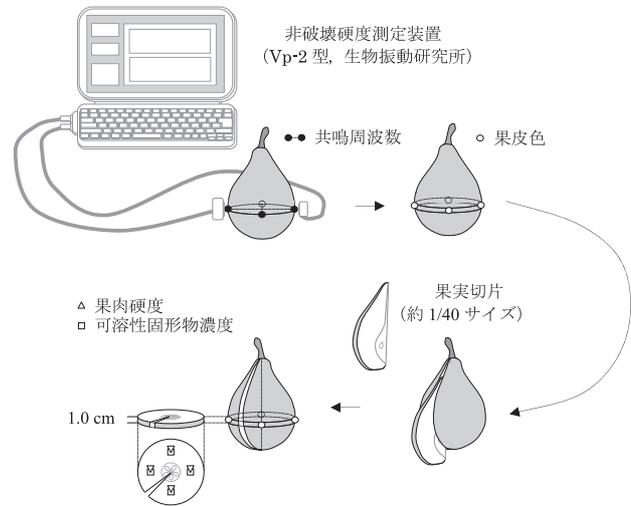
(1) 弾性指標

Cooke (1972) および Terasaki ら (2001a) の報告に従い, 弾性指標 (EI) を共鳴周波数 (f_n) と果実重 (m) から算出した. 弾性指標の算出に利用する共鳴周波数は非破壊硬度測定装置 (Vp-2型, 生物振動研究所) を使用し, 果実の赤道部 (2か所) を計測した (第1図). 第2共鳴周波数 (f_2), 第3共鳴周波数 (f_3) または第4共鳴周波数 (f_4) と果実重 (m) から算出した弾性指標は, それぞれ EI (f_2m), EI (f_3m) または EI (f_4m) と定義した. 弾性指標 ($f_n m$) は以下の式 [1] から算出した.

$$EI(f_n m) = f_n^2 \cdot m^{2/3} \quad [1]$$

(2) 相対新鮮重

相対新鮮重は以前の報告 (知野ら, 2010) と同様に, 以下の式 [2] から算出した.



第1図 果実特性の調査方法および測定部位の模式図

$$\text{相対新鮮重 (\%)} = \text{FFW}_n / \text{FFW}_0 \times 100 \quad [2]$$

FFW_n: 調査時の果実重

FFW₀: 収穫時の果実重

(3) 果皮色

果皮色は 'ル・レクチュ' カラーチャート (新潟大学農業情報工学研究室および新潟県園芸研究センター) を用い, 果実の赤道部の4か所を測定した (第1図).

2) 破壊調査

(1) 果肉硬度

果肉硬度はFUDOH レオメーター (RT-1002A・D, レオテック) で測定し, 測定方法は Kojima ら (1994) の方法を一部変更して行った. 果実の赤道部から10 mmの果肉切片を切り出し, 果皮と果心線の中央部の果肉にあたる4か所を測定した (第1図). レオメーターには60°の円錐型のプランジャーを取り付け, 貫入速度は10 cm・min⁻¹とした. プランジャーの貫入深度 (圧縮距離) は4.3 mmとし, その時の最大応力を果肉硬度とした.

(2) 可溶性固形物濃度

可溶性固形物濃度は, 屈折糖度計 (N-1E, ATAGO) で測定した. 測定部位は果肉硬度を測定した果肉とし, 4つの果肉ブロック (約1.0 cm³) を調整し, それぞれの果汁の可溶性固形物濃度を測定した (第1図).

(3) 乾物率, 含水率, 相対乾重量および相対含水量

乾物率の調査は, Kojima ら (1994) の報告を一部変更して行った. 第1図のように約1/40の果実切片をナイフで切り出し, 70°Cの送風定温乾燥器 (WFO-600ND, 東京理化学器械) 内で72時間乾燥させた. 乾物率 (%) は以下の式 [3] から算出し, 得られた乾物率から含水率 (%) を算出した. 含水率は以下の式 [4] から算出した. さらに, 収穫時の果実重を基準とした相対乾重量 (%) および相対含水量 (%) を, 以下の式 [5] および [6] から算出した.

$$\text{乾物率 (\%)} = \text{SDW}_n / \text{SFW}_n \times 100 \quad [3]$$

$$\text{含水率 (\%)} = 100 - (\text{SDW}_n / \text{SFW}_n \times 100) \quad [4]$$

相対乾重量 (%)

$$= \text{SDW}_n / \text{SFW}_n \times \text{FFW}_0 / \text{FFW}_n \times 100 \quad [5]$$

相対含水量 (%)

$$= 100 - (\text{SDW}_n / \text{SFW}_n \times \text{FFW}_0 / \text{FFW}_n \times 100) \quad [6]$$

FFW_n : 調査時の果実重
 FFW₀ : 収穫時の果実重
 SFW_n : 調査時の切片の生重量
 SDW_n : 調査時の切片の乾重量

3. 低温貯蔵終了時の果実品質ならびに追熟後の果実品質

1) 低温貯蔵終了時の外観品質

果実の外観品質として、果柄の萎縮および果皮のしわを目視にて確認した。

2) 追熟後の果実品質

低温貯蔵後の果実の追熟は、以前の報告(知野ら, 2009)と同様に10°Cで行った。追熟開始後40日に果実特性を調査した。低温貯蔵中の果実と同様に、果皮色、果肉硬度および可溶性固形物濃度の調査を行った。

結 果

1. 低温貯蔵中の果実特性の変化

1) 非破壊調査

(1) 弾性指標 (EI)

低湿区の第2, 第3および第4共鳴周波数から算出したEI (f_{2m}), EI (f_{3m}) および EI (f_{4m}) は貯蔵中に有意に低下したが、高湿区の各弾性指標は変化しなかった(第2図)。

(2) 相対新鮮重

貯蔵開始後64日における低湿区の相対新鮮重は89.2%であったが、高湿区は99.8%であった(第3図A)。高湿区の相対新鮮重は貯蔵期間中に変化しなかったが、低湿区は有意に低下した。

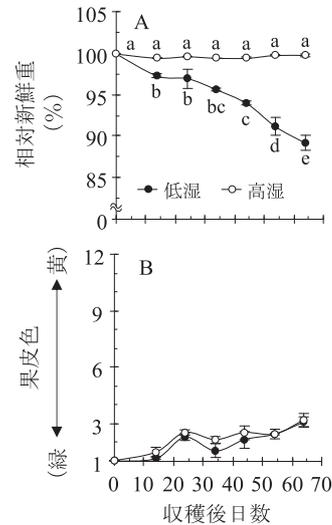
(3) 果皮色

低湿および高湿区の果皮色値は貯蔵期間中に増加したが、統計的に有意差は認められなかった(第3図B)。

2) 破壊調査

(1) 果肉硬度

収穫時の果肉硬度は13.7 Nであり、貯蔵開始後64日の値は11.2 N(低湿区)および12.5 N(高湿区)であった(第



第3図 低温貯蔵中の果実における相対新鮮重(A)および果皮色(B)の変化

図Aの異なるアルファベット間には5%水準の有意差があることを示す (Tukeyの多重検定)

垂線は標準誤差を示す (n=4)

4図A)。両区の果肉硬度は低温貯蔵中に低下する傾向が認められたが、収穫時の値を基準とすると統計的に有意な差は認められなかった。しかしながら、低温貯蔵開始後64日の低湿区の果肉はゴム質となった。

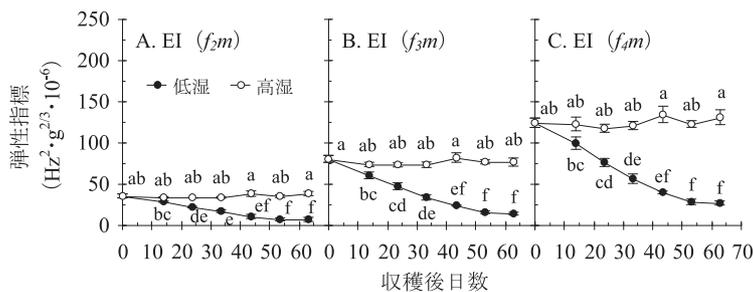
(2) 可溶性固形物濃度

収穫時の可溶性固形物濃度は14.7 Brix%であり、貯蔵中に増加し、貯蔵開始後64日の値は16.4 Brix%(低湿区)および15.9 Brix%(高湿区)であった(第4図B)。両区の可溶性固形物濃度は低温貯蔵期間中に上昇したが、有意差は認められなかった。

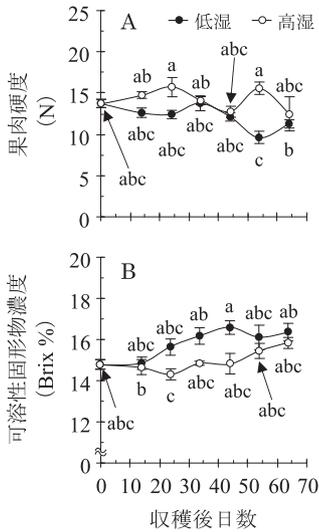
(3) 乾物率, 含水率, 相対乾重量および相対含水量

果実の含水率(乾物率)において、低温貯蔵開始後24および34日に処理間で有意差が認められた(第5図)。しかし、収穫時と低温貯蔵開始後64日の含水率(乾物率)を比較した場合、統計的に有意な差は認められなかった。

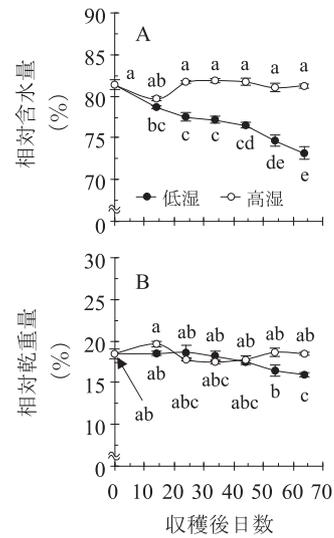
収穫時の果実重を基準とした高湿区の相対含水量および相対乾重量は、貯蔵期間中に変化しなかった(第6図)。一方、



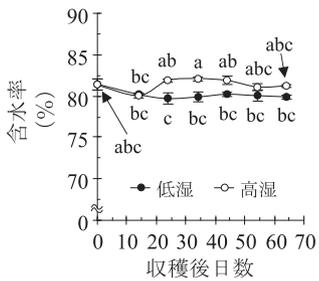
第2図 低温貯蔵中の果実における弾性指標 f_{2m} (A), f_{3m} (B) および f_{4m} (C) の変化
 各図内の異なるアルファベット間には5%水準の有意差があることを示す (Tukeyの多重検定)
 垂線は標準誤差を示す (n=4)



第4図 低温貯蔵中の果実における果肉硬度 (A) および可溶性固形物濃度の変化 (B)
各図内の異なるアルファベット間には5%水準の有意差があることを示す (Tukey の多重検定)
垂線は標準誤差を示す (n = 4)



第6図 収穫時の果実重を基準とした相対含水量 (A) および相対乾重量 (B) の変化
各図内の異なるアルファベット間には5%水準の有意差があることを示す (Tukey の多重検定)
垂線は標準誤差を示す (n = 4)



第5図 貯蔵期間中の果実における含水率の変化
図内の異なるアルファベット間には5%水準の有意差があることを示す (Tukey の多重検定)
垂線は標準誤差を示す (n = 4)

収穫時と低温貯蔵開始後64日の相対含水量および相対乾重量を比較した場合、低湿度区では有意な低下が認められた。

2. 低温貯蔵中の弾性指標と果実特性との関係

1) 弾性指標と相対新鮮重との関係

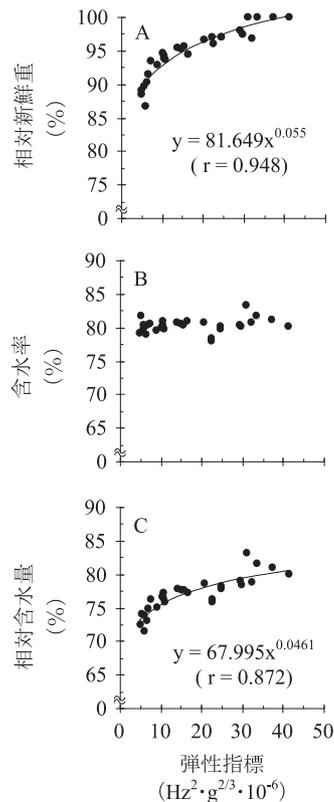
高湿度区の EI (f_2m) と相対新鮮重との間には、有意な相関が認められなかった (データ略)。一方、低湿度区の EI (f_2m) と相対新鮮重との間には、強い相関が認められた (第7図A)。同様に、低湿度区の EI (f_3m) および EI (f_4m) についても強い相関が認められた (データ略)。

2) 弾性指標と含水率との関係

高湿度区の EI (f_2m) と含水率との間には、相関が認められなかった (データ略)。同様に、低湿度区でも相関が認められなかった (第7図B)。

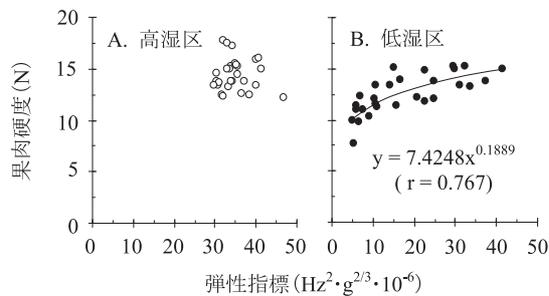
3) 弾性指標と相対含水量との関係

高湿度区の EI (f_2m) と収穫時の果実重を基準とした含水量との間には、相関が認められなかった (データ略)。一方、低湿度区の EI (f_2m) と収穫時の果実重を基準とした含水量と



第7図 低温低湿度条件下で貯蔵した果実における弾性指標 (f_2m) と相対新鮮重 (A)、含水率 (B) または相対含水量 (C) との関係

の間には、強い相関が認められた (第7図C)。低湿度区の EI (f_3m) および EI (f_4m) についても、EI (f_2m) と同様に強い相関が認められた (データ略)。



第8図 低温貯蔵中の果実における弾性指標 (f_2m) と果肉硬度との関係

4) 弾性指標と果肉硬度との関係

高湿度区の EI (f_2m) と果実硬度との間には相関が認められなかったが、低湿度区ではやや強い相関が認められた (第8図)。

3. 低温貯蔵終了時の果実品質ならびに追熟後の果実品質

1) 低温貯蔵終了時の果実品質

高湿度区の果実の果柄や果皮にはしわはなく、収穫時のレベルを維持していた。低湿度区の果実にはしわが確認でき、果実全体が萎縮していた。

2) 追熟後の果実品質

両区の多くの果実は追熟中に果柄側から腐敗し、正常に追熟しなかった。

考 察

レーザードップラー振動計で計測したセイヨウナシ‘ラ・フランス’の弾性指標は、果肉の軟化に伴って低下する (Murayama ら, 2006b; Taniwaki ら, 2009; Terasaki ら, 2006)。同様に、簡易計測器でモニタリングした‘ル・レクチェ’の弾性指標も追熟中に低下する (知野ら, 2009, 2010)。低温処理 (5°C・10日間) 後に 10°C で‘ル・レクチェ’果実を追熟させた場合、果実は 15 Hz²・m^{2/3}・10⁻⁶ 前後の弾性指標 (f_2m) で適食状態を迎える (知野ら, 2009)。一方、本試験の低湿度区における貯蔵開始後 34 日の果実では、弾性指標 (f_2m) が 17 Hz²・m^{2/3}・10⁻⁶ まで低下しても、果肉硬度は収穫時とほぼ同レベルであった (第2図)。その時の相対新鮮重は約 95.5%であった (第3図A)。これらの結果は、弾性指標の低下には追熟過程でおこる果肉の軟化に加え、蒸散による水分損失が関与していることを示している。つまり、適食状態の果実の含水量が変化すれば、弾性指標も変動することを示唆する。

25°C の低湿度条件下でカキ果実を保存した場合、果実の弾性指標は、高湿度条件下の果実よりも低く推移することが Sakurai ら (2005) によって報告されている。しかし、低温で一定の熟度を維持した本試験においても、低湿度条件の果実の弾性指標は高湿度よりも低く推移し、以前の報告と同様の傾向を示した (第2図)。低湿度条件により果実の弾性指標だけでなく、相対新鮮重も有意に低下した (第3図)。このとき、含水率 (乾物率) はほとんど変化せず (第5図)、相

対含水量および相対乾重量が貯蔵期間中に一定の割合で低下した (第6図)。従って、相対新鮮重の低下には水分および乾物の低下が関与しており、弾性指標の低下には水分と乾物の損失が影響していることが示唆された。

また、一般的に相対新鮮重が低下すると膨圧も減少する (Doi ら, 2000)。このことから、弾性指標の低下には水分損失による細胞の膨圧の減少も関与している可能性が示唆された。相対含水量および相対含水率の結果を考慮すると、乾物損失に由来する弾性指標の低下幅は10%以内であることが推察された。

キウイフルーツ (Terasaki ら, 2001b)、セイヨウナシ (Murayama ら, 2006b; Taniwaki ら, 2009) およびリンゴ (元村ら, 2004) において、レーザードップラー振動計で計測した弾性指標と果肉硬度との間には、高い相関が認められている。本試験の低温低湿度条件下で貯蔵した果実においても、弾性指標 (f_2m) と果肉硬度との間に相関が認められた (第8図B)。また、第3共鳴周波数または第4共鳴周波数から算出した弾性指数 (f_2m) および弾性指数 (f_2m) についても、同様の傾向が認められた (データ略)。しかしながら、含水量の変動を抑制した高湿度条件の果実では、弾性指標と果肉硬度との間には相関が認められなかった (第8図A)。この原因の詳細は不明であるが、測定値の散布幅、果実の果形、ならびに果肉硬度の測定位置などの要因が関与していると推察された。弾性指標と果形または果肉硬度の測定位置との関係については、今後、検証しなければならない。また、各共鳴周波数から算出した弾性指標と測定位置との関係を明らかにすることにより、推定精度が向上するかもしれない。

‘ル・レクチェ’果実の場合、収穫後の予冷 (低温処理) および追熟完了果の貯蔵には 0°C が望ましく (古田, 1998; 児島, 2008)、追熟は低湿度によって阻害される (Murayama ら, 1995)。以上の報告を考慮すると、‘ル・レクチェ’果実を長期間貯蔵する方法としては、低温高湿度条件が望ましいと考えられる。しかしながら、収穫後の果実を低温高湿度条件で貯蔵しても、正常な軟化能力は失われる (知野ら, 2010)。同様の結果は、本試験の高湿度区の果実で再確認された。Murayama ら (2002) は、長期低温貯蔵した‘ラ・フランス’果実の細胞壁多糖類を調査し、低温処理後の果実ではペクチン含量が減少することを報告している。さらに、長期貯蔵後の果実のテクスチャーには、ペクチンやヘミセルロース多糖類の解重合が関連することが Murayama ら (2006a) によって示されている。このことから、長期低温貯蔵した‘ル・レクチェ’の正常な軟化能力の喪失も、細胞壁多糖類の分解に由来すると考えられる。さらに、低温貯蔵中の果実の水分損失が、正常な軟化能力の喪失を促進させる要因であると推察された。

摘 要

本研究は、‘ル・レクチェ’果実の水分損失と弾性指標と

の関係の解明を目的とし、果実の熟度を低温貯蔵によって維持しつつ、果実内の水分を湿度によって変化させた。収穫適期に収穫した‘ル・レクチェ’果実は、相対湿度95%以上で2~3°Cの簡易雪室、もしくは相対湿度10%で2°Cの冷蔵庫で保存した。簡易雪室を使用した高湿度区の果実における水分損失量、果肉硬度および弾性指標は、貯蔵期間中にほとんど変化しなかった。一方、低湿度区の果実の水分損失量および弾性指標は大幅に低下し、果肉硬度は水分損失によってわずかに低下した。水分損失量と弾性指標との間の有意な相関は、低湿度区で認められた。しかし、高湿度区の水分損失量と弾性指標との間の相関は、散布幅が小さいために認められなかった。‘ル・レクチェ’果実の弾性指標の低下には果肉の軟化に加え、水分損失量が関与することが明らかになった。

謝 辞 本研究の実施ならびに取りまとめにあたり、新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程2年荒木瑞穂さんに多大なるご協力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表す。

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・レクチェ’の追熟過程に及ぼす影響. 園学研. 6: 295-299.
- 知野秀次・松本辰也・太田祐樹・児島清秀. 2009. 追熟中のセイヨウナシ‘ル・レクチェ’における非破壊法による果実特性の評価. 園学研. 8: 109-114.
- 知野秀次・大石智美・徳田美佳子・小式澤一博・太田祐樹・松本辰也・児島清秀. 2008. 追熟前のセイヨウナシ‘ル・レクチェ’における弾性指標と果肉硬度の関係. 園学研. 7(別1): 455.
- 知野秀次・徳田美佳子・大石智美・小式澤一博・太田祐樹・松本辰也・児島清秀. 2010. 低温処理期間の違いが追熟中のセイヨウナシ‘ル・レクチェ’の果実特性に及ぼす影響. 園学研. 9: 235-241.
- Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruit and vegetables. *Trans. ASAE* 15: 1075-1080.
- Doi, M., Y. Hu and H. Imanishi. 2000. Water relations of cut roses as influenced by vapor pressure deficits and temperatures. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 69: 584-589.
- 古田道夫. 1998. 低温および包材活用による果実等の流通技術開発. *食品保蔵科学*. 24: 125-133.
- 古田道夫・浅野 聡. 1991. 西洋ナシ(‘ル・レクチェ’)の追熟特性. *新潟食研報*. 26: 1-5.
- 門脇 稔・永島 進・櫻井直樹. 2010. 振動法を応用した日本なし‘幸水’芯腐れ症果実の非破壊判定法. *園学研*. 9(別1): 234.
- 神田巳樹夫・谷脇 満・櫻井直樹. 2010. 形態型振動硬度計によるカキ‘西条’の収穫適期予測法. *園学研*. 9(別1): 233.
- 児島清秀. 2008. 西洋ナシの「ル・レクチェ」—果実の成熟生理と追熟—. *農及園*. 83: 1069-1073.
- 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. *食科工誌*. 51: 483-490.
- 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., T. Katsumata, O. Horiuchi and T. Fukushima. 2002. Relationship between fruit softening and cell wall polysaccharides in pears after different storage periods. *Postharvest Biol. Technol.* 26: 15-21.
- 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 on ripening of ‘Le Lectier’ pear fruit. *Acta Hort.* 398: 187-193.
- 中野有加・桜井直樹・藤路 陽・堀江秀樹・中野明正・鈴木克己. 2008. 弾性指標を用いたスライスマットの果肉硬度の非破壊評価. *園学研*. 7: 543-547.
- 新潟県. 2006. 3 西洋ナシ. p. 149-178. 新潟県農林水産部農産園芸課編. 果樹指導指針. 新潟県農林水産部農産園芸課. 新潟.
- 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. *日本バイオロロジ学会誌*. 17: 92-97.
- Sakurai, N., S. Iwatani, S. Terasaki and R. Yamamoto. 2005. Evaluation of ‘Fuyu’ persimmon texture by a new parameter, “Sharpness index”. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74: 150-158.
- Taniwaki, M., T. Hanada, M. Tohro and N. Sakurai. 2009. Non-destructive determination of the optimum eating ripeness of pears and their texture measurements using acoustical vibration techniques. *Postharvest Biol. Technol.* 51: 305-310.
- Taniwaki, M. and N. Sakurai. 2010. Evaluation of the internal quality of agricultural products using acoustic vibration techniques. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 79: 113-128.

- Terasaki, S., N. Sakurai, R. Yamamoto N. Wada and D. J. Nevins. 2001a. 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. 2001b. Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser Doppler vibrometer. *Trans. ASAE* 44: 81–87.