

# リンゴの力学的特性と貯蔵性について

小嶋和雄・木本行雄

(農学部 農業機械学研究室)

## Studies on the Dynamic Property and Preservative Property of Apples

Kazuo KOJIMA and Yukio KIMOTO

*Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture*

**Abstract** : Varying the preserving temperature and preserving days, the authors investigated the dynamic property and the preservation of apples.

The results were as follows :

(1) There were not very much change of the dynamic property and the freshness of apples when preserved at a temperature 2°C during 25 days.

Considering the freshness, it seems that the superior limit of preserving days were 15 days at a temperature 20°C and 5 days at a temperature 30°C.

(2) There was the difference of intensity at the part of an apple.

The calyx end was most strong, the stem end and the cheek followed this.

(3) The elastic modulus of apples decreased with increase of preserving days, and with increase of preserving temperature.

(4) The volume of injury of apples that are caused by impact increased in proportion to height of the ram. The Volume of injury ( $V \text{ cm}^3$ ) was related to the absorbed energy by apples ( $E \text{ g} \cdot \text{cm}$ ) as follows :

$$V = 0.305E - 0.058$$

$$(2 \times 297 \leq E \leq 10 \times 297)$$

(5) No particular volume change of injury that are caused by impact was recognized for long time.

### 緒 言

生鮮野菜、果菜類の理工学的特性に関する研究は、遠距離輸送、長期貯蔵、コールドチェーンなど流通様式の変遷にともなって最近取り上げられるようになった。比較的新しい課題であるが数多くの成績が見受けられる。

国内においては中馬らによる生鮮農産物の輸送損傷に関する研究を始めとする力学的、また熱工学的研究、石橋らによる農産食品の力学的性質、貯蔵法また熱工学的研究、田原らによる鮮度判定法などが農産機械工学の分野でなされている。

当研究はリンゴについてその力学的特性が貯蔵温度、日数などによっていかに影響されるか、外力を受けた後の貯蔵温度、日数などの貯蔵条件と損傷の変化の関係はいかになるかなどの調査を主目的とした。

当研究結果が今後のリンゴの輸送、貯蔵方法改善の一助ともなれば幸である。この実験を行なうに当たってご指導いただいた高知大学農学部果樹園芸学研究室吉村不二男教授に深謝の意を表する次第である。

## I 静的圧縮試験 (その1, プランジャ試験)

## (1) 実験目的

リンゴ自体の硬度の測定は2~3行なわれているが、貯蔵温度、日数によって硬度がどのように変化するかなどについての報告は見当たらない。そこで鉄製プランジャを果肉内に押し込み応力-変形曲線を求めて硬度を算出することにした。

生産地、収穫日、熟度が異なるとかような実験では結果の比較がむづかしい。高知県のようにリンゴの生産地でないところでは収穫日、熟度が同じ供試体を求めることは不可能に近いが、出来るだけ収穫日が近いものを市場に指示して購入した。

輸送条件や貯蔵条件などは生産地より消費地市場までの間、市場より店頭までの間、店頭から消費者までの間など種々の場合が考えられるが、本実験では市場から消費者にわたる間の放置日数、環境温度の影響を知るのを主眼点とするので、収穫日の多少の相違は無視してもよいと思われる。

## (2) 実験方法

リンゴの硬度を当実験ではプランジャを押し込んで測定しようとするものであるが、測定装置としては Fig. 1 に示すように一軸圧縮試験機(丸東製作所, KL-100-728型 100kgW)のリングにゲージを貼付し、またプランジャの変位置測定用のポテンショメータを取り付け、それぞれ自動平衡式記録計に接続し力と変位置を同時に連続的に記録した。

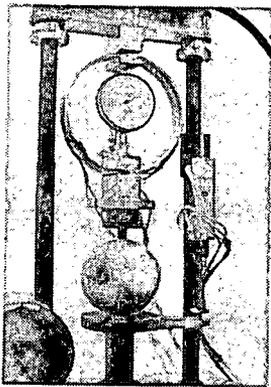


Fig. 1 Device of plunger test.

プランジャの直径は  $5/16$  inch<sup>1)</sup>,  $7/16$  inch<sup>2)</sup>,  $1/4$  inch<sup>3)</sup> など実験者により異なる。本実験では直径6, 8, 10mmの3種類の鉄製プランジャを作製し、予備実験した結果10mmのものが生物降伏点(Bioyield point), 破壊点(Rupture point)を最も明確にあらわしたのでこれを採用した。

プランジャは0.1~0.15 mm/sの速度で果底部、果腹部、果頂部に果皮が破れるまで(破壊点)まで押し込んだ。

硬度の測定は2, 20, 30°Cの定温状態に各5, 10, 15, 20, 25日間貯蔵した後行なった。

2°Cは低温貯蔵, 20, 30°Cはそれぞれ温和期, 暑期の気温下においた場合を想定したものである。定温貯蔵装置としては, 2°Cの場合は家庭用電気冷蔵庫を, 20, 30°Cの場合は電気定温乾燥機を使用した。上記冷蔵庫, 乾燥機内には水を入れた容器を置いて各温度とも相対湿度が等しくなるようにした。温度は汎用記録計により記録したが, サーモスタットの作用のため一定温度範囲内で周期的に変化した。冷蔵庫は40~60分周期で1.0°C~2.2°C平均1.6°C, 乾燥機で20°Cの場合は90~120分周期で18.2°C~20.7°C平均19.5°C, 30°Cの場合は30~60分周期で28.7°C~30.2°C平均29.5°Cであった。温度変動幅は小さく実験結果には影響しないと考えられる。

リンゴの品種は紅玉, 長野県篠之井および青森県南津軽郡平賀町の産で昭和45年10月中旬~下旬に収穫し高知中央市場に出荷されたものである。

## (3) 実験結果および考察

各試験に4個のリンゴを用い, 1個につき2~3箇所測定しこれらを平均した。

プランジャの変位置とそれにかかる力を記録紙より読み取り応力-変形曲線を求めた。Fig. 2は各温度状態に置く前のリンゴの果頂, 果腹, 果底部についての測定結果である。図中の○印の点は

外皮の損傷はなく内部組織が損傷をうける点として C. W. Nelson ら<sup>4)</sup> の例にならって生物降伏点 (Bioyield point, 以下降伏点と略称する) とした。降伏点まで加圧するとその部分の果肉が褐色変化していた。即ちこの点を細胞構造の初期挫傷点とみることができる。降伏点以下では褐色変化は生じなかった。●点はプランジャが果皮を破り果肉に貫入を開始する点であり破壊点 (Rupture point) とよぶことにする。

Fig. 2 によるとリンゴは果頂部が強く、次いで果底部、果腹部の順となっている。このことは貯蔵、輸送の際の詰め方に注意する必要がある。つまり強度的に最も弱い果腹部に力がかからないように置くべきである。長谷川ら<sup>5)</sup> もリンゴを横向きにして詰めた場合最も損傷が多かったと報じている。

Fig. 3, 4, 5 は降伏点以下の応力-変形曲線の貯蔵日数による変化を各温度ごとにとまとめたものである。貯蔵日数が少ないもの程応力と変位量の関係が直線的で、しかも傾斜が急である。すなわち弾性的性質が強いといえる。

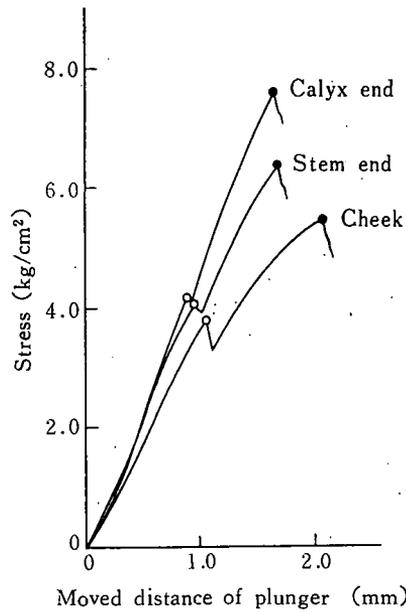


Fig. 2 Stress vs. moved distance of plunger.

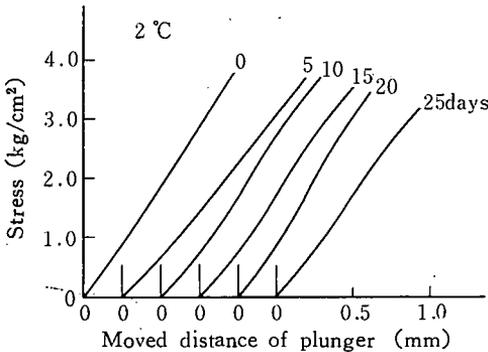


Fig. 3 Change of stress-deformation curve due to preserving days (Temp. 2°C).

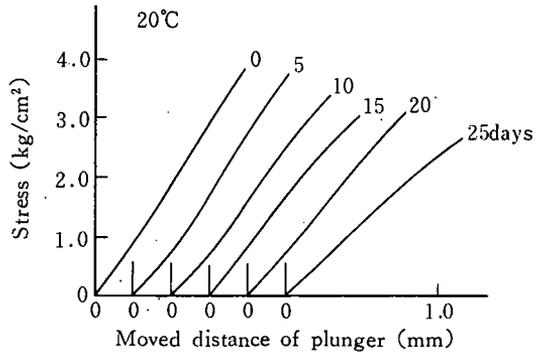


Fig. 4 Change of stress-deformation curve due to preserving days (Temp. 20°C).

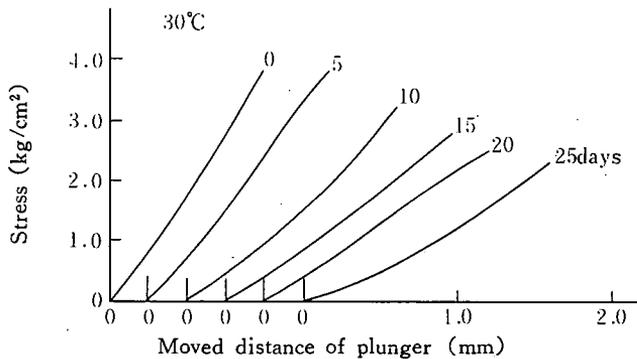


Fig. 5 Change of stress-deformation curve due to preserving days (Temp. 30°C).

2°C状態に置かれたものは25日間経過してもほとんど変化がない。20°C状態に置かれたものは日数とともに少しずつ傾斜が緩くなっている。30°C状態に置かれたものは10日間で同じ力に対し貯蔵開始時の2倍近い変位量を生じた。

Fig. 6, 7, 8は貯蔵日数による硬度の変化を果腹, 果頂, 果底部ごとにまとめたものである。各

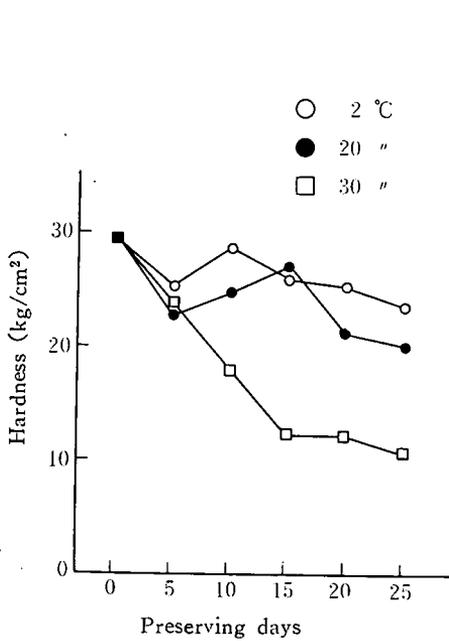


Fig. 6 Hardness of the cheek vs. preserving days.

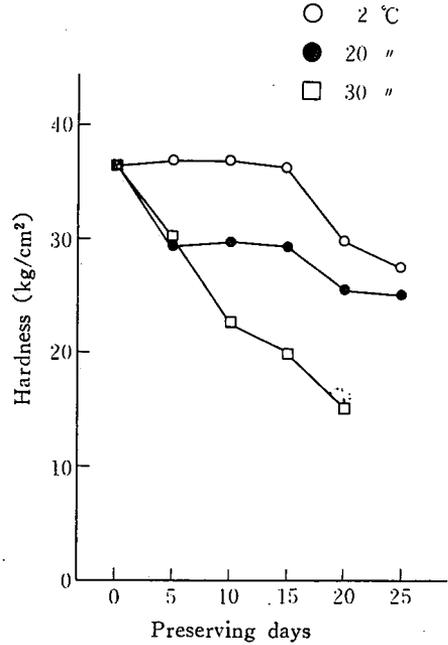


Fig. 7 Hardness of the calyx end vs. preserving days.

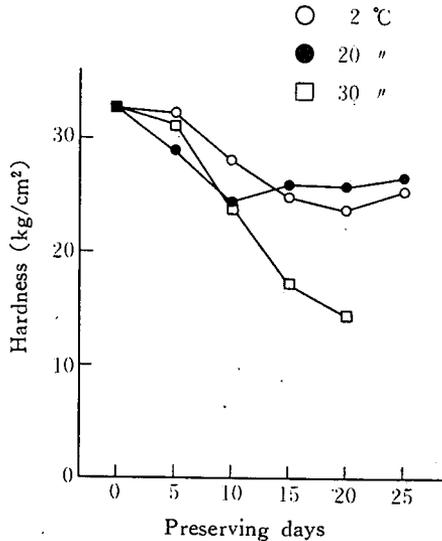


Fig. 8 Hardness of the stem end vs. preserving days.

部とも日数の経過とともに硬度が減少している。30°Cの状態に置かれたものは、2、20°Cのものにくらべ硬度の低下が著しく約2週間後には当初の半分ぐらいになる。2°Cと20°Cのものは硬度の低下に大差はない。このことから貯蔵、輸送に当っては、20°C以下であれば極端な低温にし

なくても良いといえる。なお硬度としては、果実の硬さの一般的表現法としてC. W. Nelsonら<sup>4)</sup>が提案した次式によった。

$$H = p/e \cdot \frac{1}{2} a$$

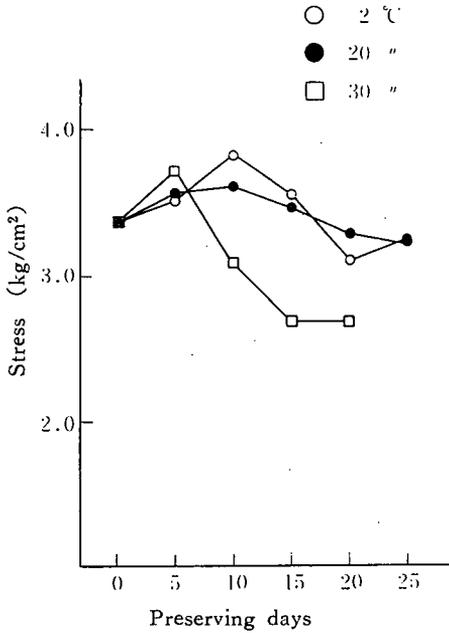


Fig. 9 Stress of the bioyield point vs. preserving days.

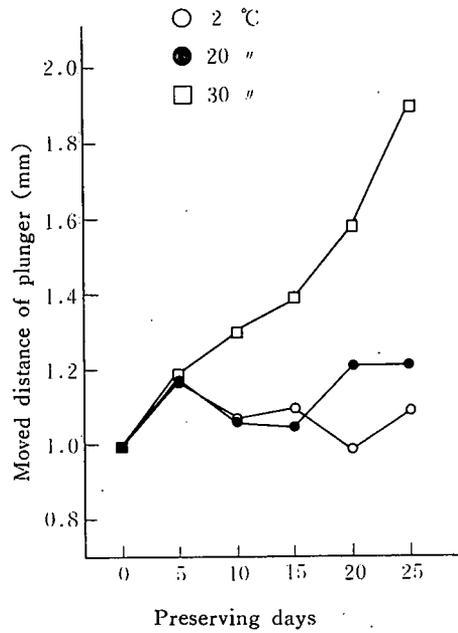


Fig. 10 Moved distance of plunger up to the bioyield point vs. preserving days.

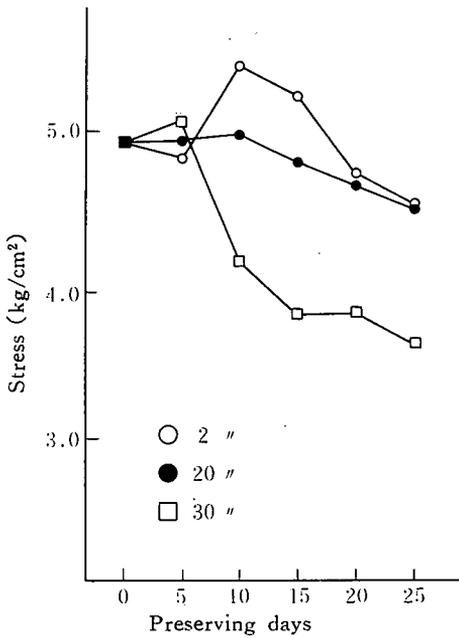


Fig. 11 Stress of the rupture point vs. preserving days.

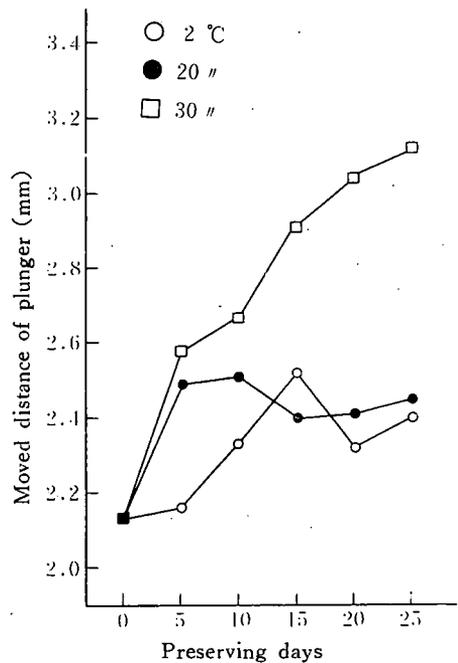


Fig. 12 Moved distance of plunger up to the rupture point vs. preserving days.

ここで  $H$ : 硬度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $p$ : プランジャにかかる力 ( $\text{kg}$ ),  $e$ : 変位量 ( $\text{cm}$ ),  $a$ : プランジャの半径 ( $\text{cm}$ )

Fig. 9 は果腹部における降伏点の応力の経日変化を貯蔵温度をパラメータとして表わしたものである。上述の硬度の場合と同じような傾向がみられるが、5日以下の貯蔵では $30^\circ\text{C}$ でも降伏点応力は低下しない。

Fig. 10 は果腹部において降伏点に達するまでのプランジャの変位量と貯蔵日数の関係をあらわしたもので、 $30^\circ\text{C}$ の貯蔵は変位の増大が著るしい。このことは内部組織が変形、破壊しやすくなっていることを示している。

Fig. 11, 12 は果腹部の破壊応力および破壊点に達するまでのプランジャの変位量の経日変化である。降伏点の場合と同じような傾向であるが、ここに示す値は果皮と果肉の強度の組み合わせられたもので、詳細な結果をうるためには果皮だけについてさらに実験をする必要がある。

## II 静的圧縮試験 (その2, 平板試験)

### (1) 実験目的

当実験はリンゴの弾性係数と貯蔵性の関係を調査するものである。さらに弾性係数は固有振動数を決定するための重要因子であり、果実類の振動による輸送損傷の究明のために知る必要がある。

### (2) 実験方法

Fig 13に示すような $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ の平板とその変位量を読み取るダイヤルゲージを取り付けた加重装置を製作した。

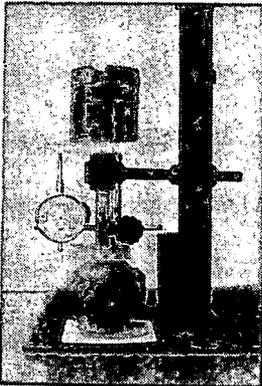


Fig. 13 Device of plate test.

測定方法はリンゴの上にアクリル樹脂平板を置き一定の静荷重をかけ、変形が止まるまでの変位量をダイヤルゲージで読み取った。接触面積はリンゴにタイプ印刷用インクを塗り、平板とリンゴの間に白紙を置いてこれに写しとりプランメータで測定した。

リンゴの半径 ( $R$ ) は R. B. Fridley ら<sup>9)</sup> にならって L型尺上にリンゴを置き、L型尺の縦尺に果腹部が接する点の高さをもって  $R$  とした。なお貯蔵方法は前項の場合と同様である。

### (3) 実験結果および考察

リンゴの弾性係数は次のようにして求めた。リンゴを平板で圧縮した場合、圧縮面上のたわみは周辺部が小さく応力は一様でない。そこでリンゴを弾性体として計算するため次のような仮定をする。

- i) リンゴは球状とする。
- ii) 垂直方向の圧縮にともなう水平方向の膨長は無視する。
- iii) リンゴの内容物は等質とみなす。
- iv) 平板に接する部分の変形は上下とも等しいとする。

Fig. 14 においてリンゴの圧縮歪  $\epsilon$  は次式であらわされる。

$$\epsilon = \sqrt{R^2 - r^2} - (R - \delta) / \sqrt{R^2 - r^2}$$

ここで  $R$ : リンゴの半径,  $r$ : 圧縮面の半径,  $\delta$ : リンゴの一方の側の圧縮歪,  $r_m$ : 圧縮面の最大半径

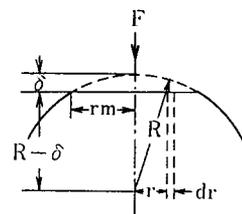


Fig. 14

$$dA = 2\pi r \cdot dr$$

圧縮圧力  $F$  は

$$F = \int_A \epsilon \cdot E \cdot dA = E \int_0^{r^m} \frac{\sqrt{R^2 - r^2} - (R - \delta)}{\sqrt{R^2 - r^2}} 2\pi r \cdot dr$$

$$\therefore E = F / \int_0^{r^m} \frac{\sqrt{R^2 - r^2} - (R - \delta)}{\sqrt{R^2 - r^2}} 2r\pi \cdot dr$$

上式により弾性係数を求め貯蔵日数との関係を求めると Fig. 15 のようである。弾性係数は貯蔵日数の増加とともに低下し、温度が高い程その低下の傾向が著るしい。

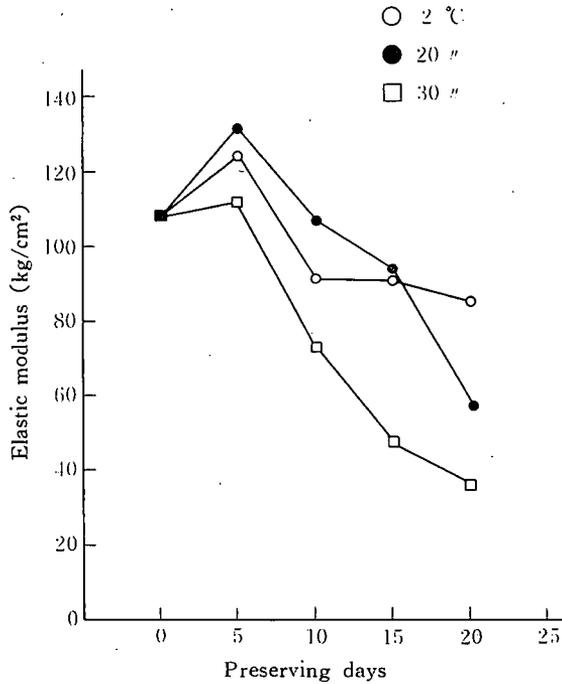


Fig. 15 Elastic modulus vs. preserving daya.

### III 衝撃試験

#### (1) 実験目的

荷扱いの際の投げ、落下などによる衝撃によって生じた損傷が、貯蔵によって如何に変化するかを知らうとするものである。

#### (2) 実験方法

衝撃試験には Fig. 16 のような装置を用いた。直径 16 mm、長さ 190 mm、重量 297 g の軟鋼棒が電磁石である高さに固定され、スイッチを切るとリンゴ上に落下するようになっている。落下高はリンゴ最上面と軟鋼棒の下端面との距離をとり 2, 4, 6, 8, 10cm の 5 段階とした。

衝撃を加えた後直ちに貯蔵し規定の日数経過後、受傷面の中心を垂直に切断し褐色に変化した部

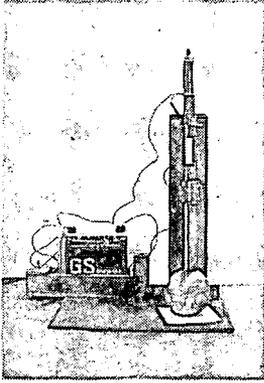


Fig. 16 Device of impact test.

分の体積をしらべた。褐変した部分の形は一般に割球状をなすので、褐変部分の直径と深さを測定し次式により算出した。

$$V = \pi h(c^2/8 + h^2/6)$$

ここで  $V$  : 損傷体積 ( $\text{cm}^3$ )

$h$  : 損傷部分の深さ ( $\text{cm}$ )

$c$  : 損傷部分の直径 ( $\text{cm}$ )

本実験では損傷体積の評価として変色部分の体積を測定したが、視覚的には変色していない部分でも生理的には死滅していることも考えられる。そこで組織細胞の生活力の有無を判別するため 2, 3, 5-Triphenyl tetrazolium chloride ( $\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{N}_4\text{Cl}$ ) (TTC 液)<sup>7)</sup> を使用したが明ら

かな結果は得られなかった。

### (3) 実験結果および考察

リンゴ 1 個当たり 3 ケ所に鋼棒を落下させてその損傷体積を平均した。

衝撃荷重はリンゴの吸収エネルギーであらわし、鋼棒の有する位置のエネルギーは全てリンゴに吸収されるものとし、鋼棒落下の際のベアリング摩擦などによる損失は無視した。

吸収エネルギーは次式であらわされる。

$$E = W \cdot H$$

ここで  $E$  : リンゴの吸収エネルギー ( $\text{g} \cdot \text{cm}$ ),  $W$  : 鋼棒重量 ( $\text{g}$ ),  $H$  : 鋼棒の落下高さ ( $\text{cm}$ )

Fig. 17 は吸収エネルギーと損傷体積の関係を示したものである。吸収エネルギーが大きくなると損

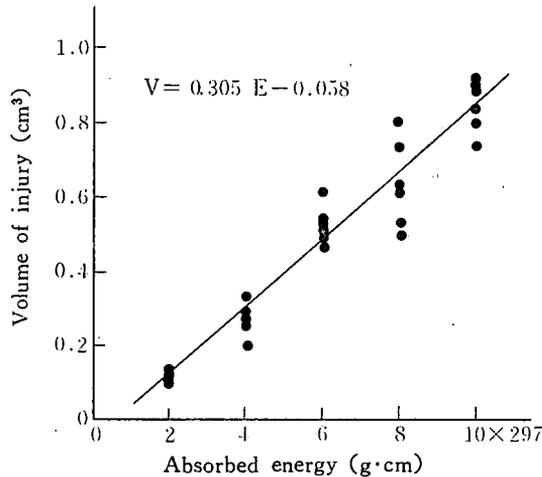


Fig. 17 Volume of injury vs. absorbed energy.

傷体積もほぼ比例して大きくなる傾向がある。最小自乗法により関係式を求めると次のようになった。

$$V = 0.305 E - 0.058$$

ただし ( $2 \times 297 \leq E \leq 10 \times 297$ )

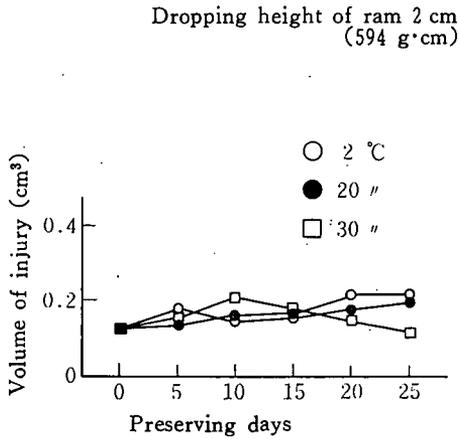


Fig. 18 Volume of injury vs. preserving days

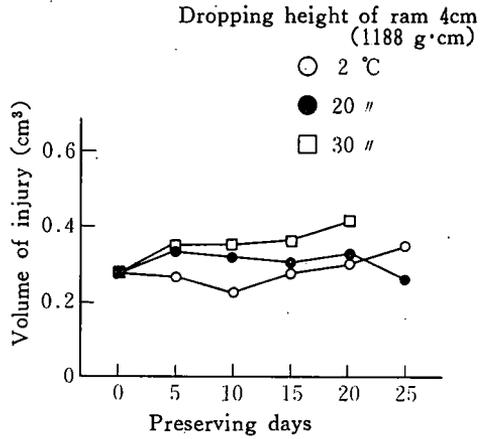


Fig. 19 Volume of injury vs. preserving days.

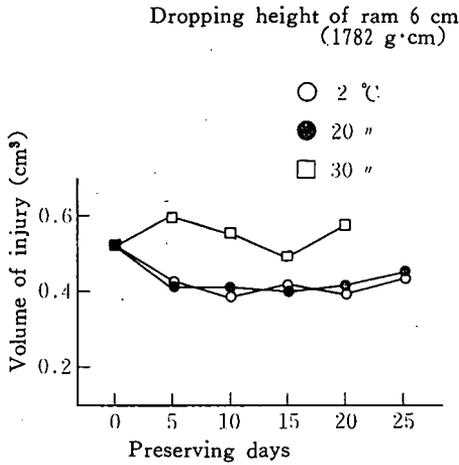


Fig. 20 Volume of injury vs. preserving days

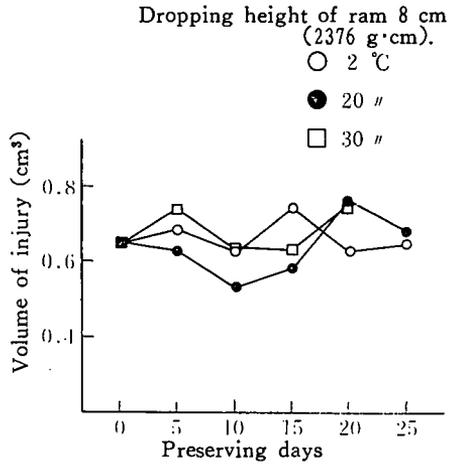


Fig. 21 Volume of injury vs. preserving days.

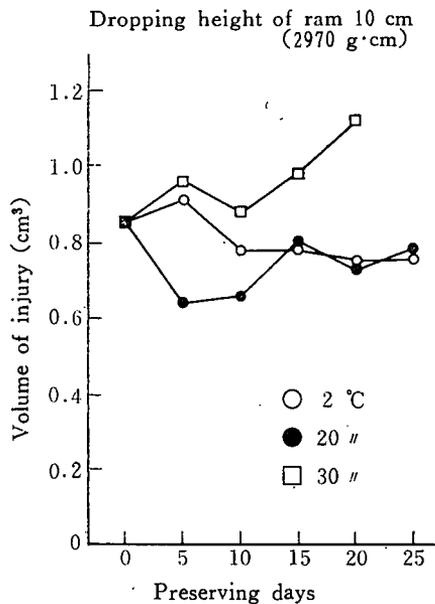


Fig. 22 Volume of injury vs. preserving days.

ここに  $V$  : 損傷体積 ( $\text{cm}^3$ ),  $E$  : 吸収エネルギー ( $\text{g} \cdot \text{cm}$ )

Fig. 18, 19, 20, 21, 22 は鋼棒の落下高さごとに貯蔵日数と損傷体積の関係をまとめたものである。これによると貯蔵日数による損傷体積の変化はあまりみられない。つまり衝撃による損傷は周囲に伝播するものではないといえる。

小島ら<sup>8)</sup>はこの褐変現象は細胞壁の破裂とともに細胞内容物が飛び出し、細胞間に存する酸素にふれて酸化したためと考えられ、その意味では褐変部分が周囲に伝播するものではないと述べている。このことは上述の結果と一致する。

Tab. 1 は 5, 10, 15, 20, 25日間各温度下に置いたリンゴ20個のうち腐食を生じたものの個数を

Tab. 1 Number of injured apples

Days Temp.	5	10	15	20	25
2°C	0	0	1	0	0
20°C	1	2(1)	1	3(1)	9(5)
30°C	4(3)	7(6)	8(5)	15(11)	15(12)

を示したものである。なお ( ) 内に示した数字は腐食を生じたもののうち $\frac{1}{2}$ 以上腐食していると判定したものの個数を示した。本実験では褐色変化した部分だけを損傷体積として測定したため数値上では温度による差がたいしてみられないが、リンゴ全体の腐食の発生状況より考えて20°Cでは貯蔵は15日間が、30°Cでは5日間が最大限度と思われる。

### 摘 要

貯蔵温度、貯蔵日数を変えて、リンゴの力学的特性および貯蔵性をしらべたが、その結果は次のようである。

- 1) 2°Cの温度下では25日間置いてもリンゴの力学的特性、鮮度の変化は少ない。鮮度の点からみると、20°Cでは15日間、30°Cでは5日間が貯蔵期間の最大限度のようであった。
- 2) 同一果実でも部分によって強度差があり果頂部が最も強く、次いで果底部、果腹部の順であった。
- 3) リンゴの弾性係数は貯蔵日数の経過とともに小さくなるが、貯蔵温度が高いほど低下が急である。
- 4) 衝撃によるリンゴの損傷部の大きさは、荷重の落下高さに比例して大きくなる。リンゴが吸収したエネルギーと損傷体積との間に次の関係式を得た。

$$V=0.305E-0.058$$

- 5) 衝撃によるリンゴの損傷部体積の時間的变化は認められなかった。

### 参 考 文 献

- 1) N. F. Sommer, F. G. Mitchell, R. Guillon and D. A. Luvisi: Fresh Fruit Temperature and Transit Injury, Proceeding of the A S H S, Vol. 76 p. 156~162 (1960)
- 2) Horold A. Sghomer and Kenneth L. Olsen: A Mechanical Thumb for Determining Firmness of Apples, Proceeding of the A S H S, Vol. 81 p. 61~66 (1962)
- 3) Nuri Mohsenin, Horst Goehlich and Loren D. Tuhey: Mechanical Behavior of Apple Fruits as Related to Bruising, Proceeding of the A S H S, Vol. 81, p. 231~236 (1962)
- 4) G. W. Nelson and N. N. Mohsenin: Maximun Allowable Static and Dynamic Loads and Effect of Temperature for Mechanical Injury in Apples, J. Agric. Engng. Res. Vol. 13, No. 4, p. 305~317 (1968)
- 5) 長谷川良雄, 中川政雄, 井藤正一, 宮礼三郎: りんごの荷造, 輸送ならびに取扱い (第3報), 鉄達技術

- 研究報告, 第34号, 車両編, 第5号, p. 1~22 (1958)
- 6) R. B. Fridley, R. A. Bradey, J. W. Rumsey and P. A. Adriani: Some Aspects of Elastic Behavior of Selected Fruits, Trans. A S A E, Vol. 11, No. 1 (1968)
  - 7) Irving L. Eahs: Techniques to Evaluate Injury to Citrus Fruit from Handling practices, Proceeding of the A S H S, Vol. 78, p. 190~196 (1961)
  - 8) 小島孝之, 石橋貞人: 農産食品の力学的性質に関する研究 (第3報), 農機誌, 第33巻, 第2号, p. 145~149 (1970)

(昭和47年 9月30日 受理)

