

輸送中に生ずるリンゴの損傷に関する研究

小嶋 和雄・木本 行雄

(農学部 農業機械学研究室)

Studies on the In-transit Injury of Apples

Kazuo KOJIMA, Yukio KIMOTO

Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture

Abstract : The authors investigated the in-transit injury of apples that are caused by vibration and impact.

The results were as follows :

(1) The hardness of apples decreased with increase of the acceleration of vibration. The hardness of apples (F kg/cm²) was related to the acceleration of vibration (G) by the following equation.

$$F = 27.1 - 5.14 G$$

(2) The hardness of apples decreased with increase of the amplitude and the frequency, this tendency was clear on the cheek.

(3) The acceleration of vibration of apples in carton box increased rapidly when the frequency exceeded 5.8 Hz, and increased the injury of apples.

(4) The carbonic acid gas that are caused by breath of apples increased temporarily, when apples were vibrated or received the impact.

緒 言

青果類や果菜類を輸送する場合問題となるものの一つは、車両から受ける振動、衝撃による損傷である。

輸送中に生ずる損傷としては中馬らが梨¹⁾、温州みかん²⁾ さらに鶏卵³⁾ などについて報告している。またリンゴ⁴⁾ について衝撃加速度と損傷の関係などを調査している。

当実験では輸送中に生ずるとと思われる振動、衝撃をリンゴに加え損傷程度、力学的特性の変化について調べさらにダンボール箱内のリンゴの挙動をしらべた。

実験に当りご指導頂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。

I. 振 動 試 験

(1) 実験目的

輸送中に生ずる振動現象はリンゴに直接的損傷を与えるほか、リンゴ自体が二次運動を発生して複雑な動きを行なって損傷が拡大されると考えられる。そこで振動と損傷の関係を種々の面から調査することにした。

(2) 実験方法

(i) 加振装置

各種の輸送車両の振動衝撃値⁵⁾⁻⁸⁾ を参考にし、振動数、加速度を任意に発生できる Fig. 1 のような加振装置を製作した。振幅は偏心カムを取り替えることにより4種類(1, 3, 5, 7 mm)に、偏心カムの回転数も電気動力計により 180~850 rpm に任意に変えることができる。したがって振幅 (A) と振動数 (f) の組み合わせにより次の関係によって任意の振動加速度を得ることができる。

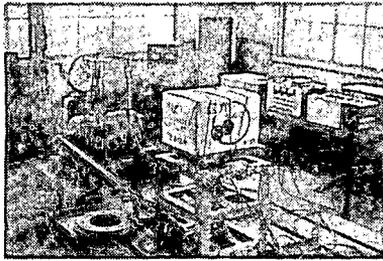


Fig. 1 Vibrator.

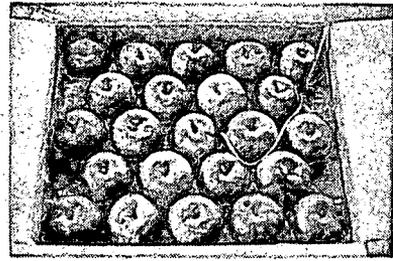


Fig. 2 Apples in carton box.

角速度： $\omega = 2\pi f$, 変位： $X = A \sin \omega t$, 速度： $\frac{dX}{dt} = A\omega \cos \omega t$, 加速度： $\frac{d^2X}{dt^2} = A\omega^2 \sin(\omega t + \pi)$, 最大加速度： $\left[\frac{d^2X}{dt^2}\right]_{max} = A\omega^2 = A(2\pi f)^2/g$

加振機の加速度は加振台の裏に加速度計を取り付け、リンゴの加速度は果腹部中央をくり抜きこれに加速度計を押し込み固定した。このリンゴをダンボール箱中の測定を行なう層の中央部に置いた。(Fig. 2 参照) 測定を行なう層は箱の底から数えて1, 2, 4層で、加速度と硬度変化および損傷の関係は各層から4個ずつ取り出して測定し平均値を求めた(1箱中のリンゴの数は92個でこれを23個ずつ4層に重ね、上下にダンボール紙が詰めてある)。加振は加速度が0.045~1.59Gの範囲内で30分間行なった。中馬ら⁹⁾は O'Brien によると peach を0.25 Gで10分間強制振動(振幅0.05インチ, 10 cps)させると、損傷は100マイル(約160 km)の輸送損傷に相当すると紹介している。これを参考にすると上記の加振は大体 500 km の輸送に相当するとみてよいであろう。

(ii) リンゴの硬度および損傷の測定

一定の振動条件で加振し終わったリンゴは 20°C に調節された定温機内に貯蔵し、5日毎に取り出して硬度と損傷程度を測定した。当実験では褐色変化による判定が困難であったので、機械的障害を受けると呼吸作用が促進されるということを利用して、リンゴから排出される CO₂ ガスの発生量を測定して損傷程度を判定することにした。

(iii) CO₂ ガス発生量の測定

Fig. 3 は CO₂ ガス発生量測定装置である。

操作順序はまず新鮮な外気を空気圧縮機で装置内に送り込む。空気中に含まれているCO₂ を除去するためには10%KOH 溶液とソーダライム中を通過させる。CO₂ を除去した空気は一度空気槽に送り込みここから試料を入れたウイットろ過器(試料容器)に導く。リンゴの呼吸によって吐き出された CO₂ を含むガスは分析装置に取り付けられたポンプによって吸い出さ

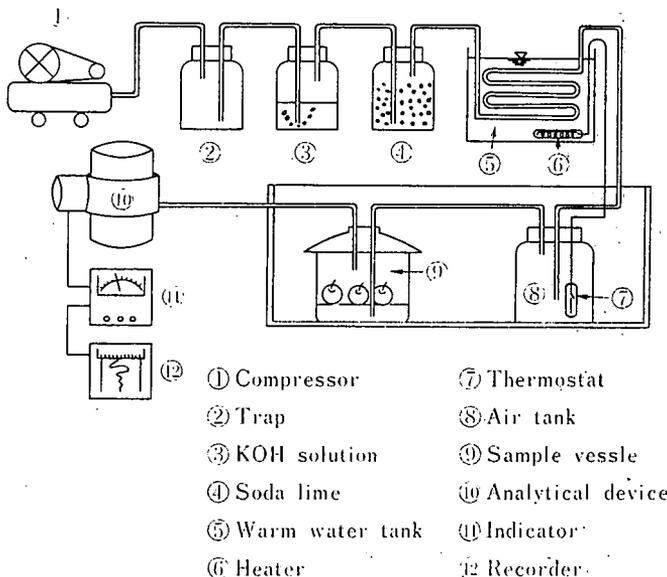


Fig. 3 Measuring device of quantity of CO₂.

れ、一定流量 (300 ml/min) だけ赤外線分析計に送り込まれる。指示計が作動し CO₂ 濃度が記録される。

呼吸量は温度の影響を非常に受けるので測定中は温度を一定と保つ必要がある。そこで本実験ではソーダライムから空気槽までのビニールパイプを長くし、温水中に浸して空気が定温を保つようにした。空気槽中には空気温度が定温 (20°C) を保つようにサーモスタットを装着した。空気槽および試料容器は外気温の影響を少なくするために内部に発泡スチロールをはった箱中に入れた。実験中は試料容器内の温度を記録したが、常に20±1°Cを保った。

(3) 実験結果および考察

Fig. 4 はダンボール箱に詰めたリンゴを 0.045~1.59 G の範囲で30分間振動を与えた後、20°C に調節した定温機内に5日間貯蔵した後の果腹部の硬度である。硬度は C. W. Nelsonis ら¹⁰⁾ による次式で算出した。

$$\text{硬度} = P/e \times \frac{1}{2} a \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

これによると振動加速度の増加とともに硬度は直線的に減少していることがわかる。最小自乗法により関係式を求めると次のようになる。

$$F = 27.1 - 5.14 G$$

ここで F : 果腹部の硬度 (kg/cm²)
 G : 振動加速度値 (G)

この相関係数は $r = -0.64$ で、 t 検定を行なった結果、母相関係数 $\rho = 0$ と 1%水準で有意差が存在した。

Fig. 5 は 3.3~8.3 Hz の振動を加え 20°C で 5 日間貯蔵した後の果腹部における硬度変化をあらわしたものである。振幅が 1, 3 mm の場合には振動数による硬度の低下はみられないが、5 mm 以上になると振動数の増加とともに低下している。特に 6.7 Hz 以上でその傾向が強くあらわれている。これは振動数が 6.7 Hz 以上になると詰め

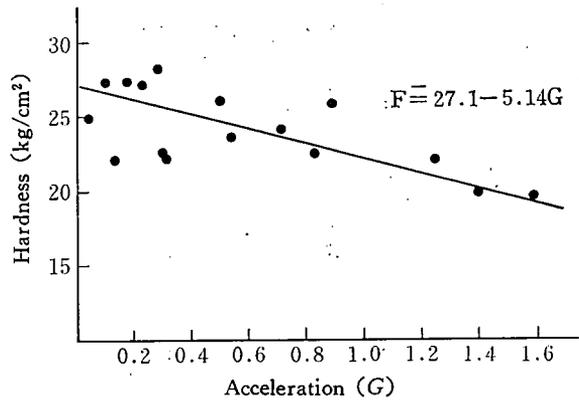


Fig. 4 Acceleration vs. hardness.

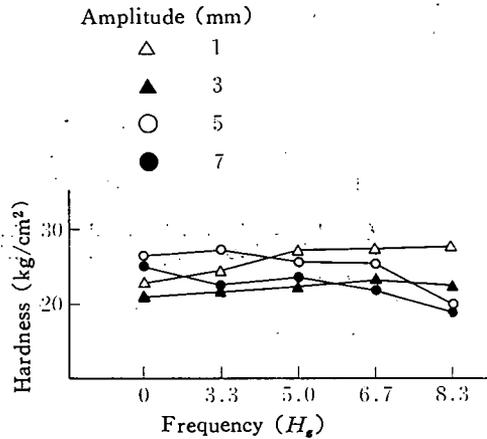


Fig. 5 Frequency vs. hardness.

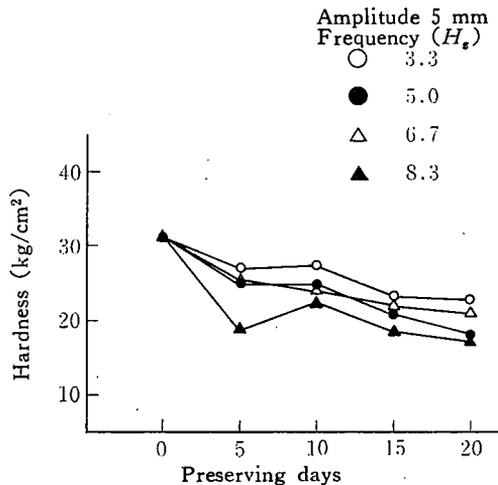


Fig. 6 Preserving days vs. hardness.

こみ現象を生じ、このためダンボール箱の上部に空間ができ、リングが複雑な運動を起し損傷を受けた結果ではないかと考えられる。

Fig. 6は振幅5mmで加振した場合の貯蔵日数と果腹部における硬度変化についてあらわしたものである(貯蔵温度は 20°C)。硬度は貯蔵日数とともに低下しているが、その低下の割合は振動数の高いものほど大きい。このことは高い振動数で加振されたものほど損傷が多く、鮮度も落ちやすいことを意味する。果底部、果頂部の硬度は果腹部におけるように明らかな低下はみられなかった。果腹部は強度的に最も弱く振動の影響を最も受けやすいといえる。

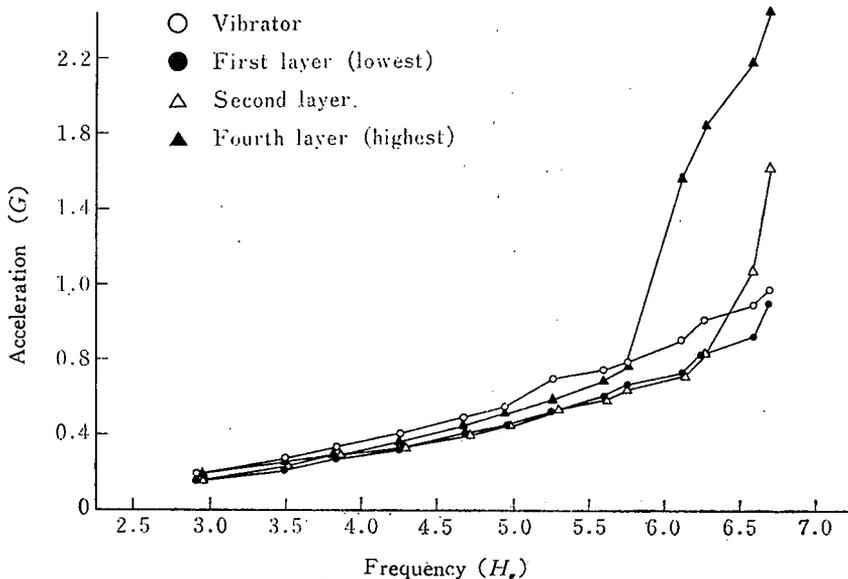


Fig. 7 Frequency vs. acceleration of apples at each layer in carton box.

Fig. 7は振幅5mmで振動数を2.9~6.7 Hzまで変化させた時の加振台およびダンボール箱内の各段におけるリングの加速度をあらわしたものである。図にみられるように加振台の加速度値は、 $G = A(2\pi f)^2/g$ の式の通り振動数の増加とともに2次曲線的に増加しているが、4段目、2段目、1段目はそれぞれ5.8, 6.3, 6.4 Hz付近から急激に増加している。また5.8 Hz以下においても4段目の加速度は下の2段より大きい。これは4段目は最上段であり下段のリングにくらべ上部空間が広く、しかも束縛力が少ないため可動しやすいといえる。事実、最上段に損傷を受けたリングが最も多かった。したがって上部空間に緩衝材を詰めリングの動きを押えることが必要である。Fig. 5において振動数が6.7 Hz以上になると硬度が低下しているが、これも上記の結果から了解できる。リングの損傷程度を知るためCO₂ガスの発生量を測定した。なおCO₂ガス発生量は20°Cにおける値であり、6.7, 8.3 Hzの振動を与えた場合の結果は計器に不良の箇所があったので削除した。

Fig. 8, 9, 10, 11において同一の振幅においては振動数が多いほどCO₂の発生は多い。CO₂は加振直後から次第に増加し、加振後約6~7時間でピークに達しその後は次第に減少し一定濃度に近づく。このことはリングの細胞が振動によって一時的に刺激され呼吸が活発化したためと思われる。この呼吸の活発化は、それだけ品質の低下を早めることを意味するので避けなければならない。なおCO₂ガスの発生量はリングの単位重量当りのppmであらわした。

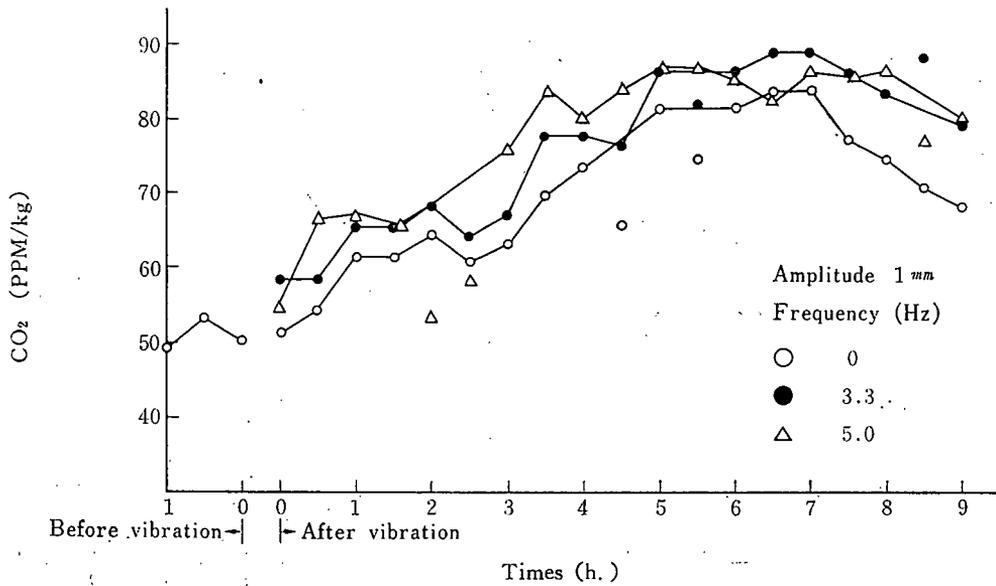


Fig. 8 CO₂ made on breath when apples were vibrated.

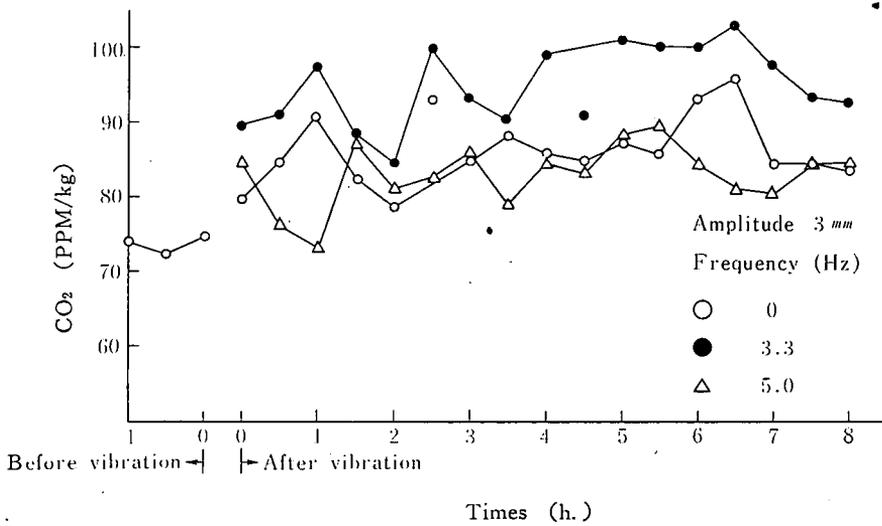


Fig. 9 CO₂ made on breath when apples were vibrated.

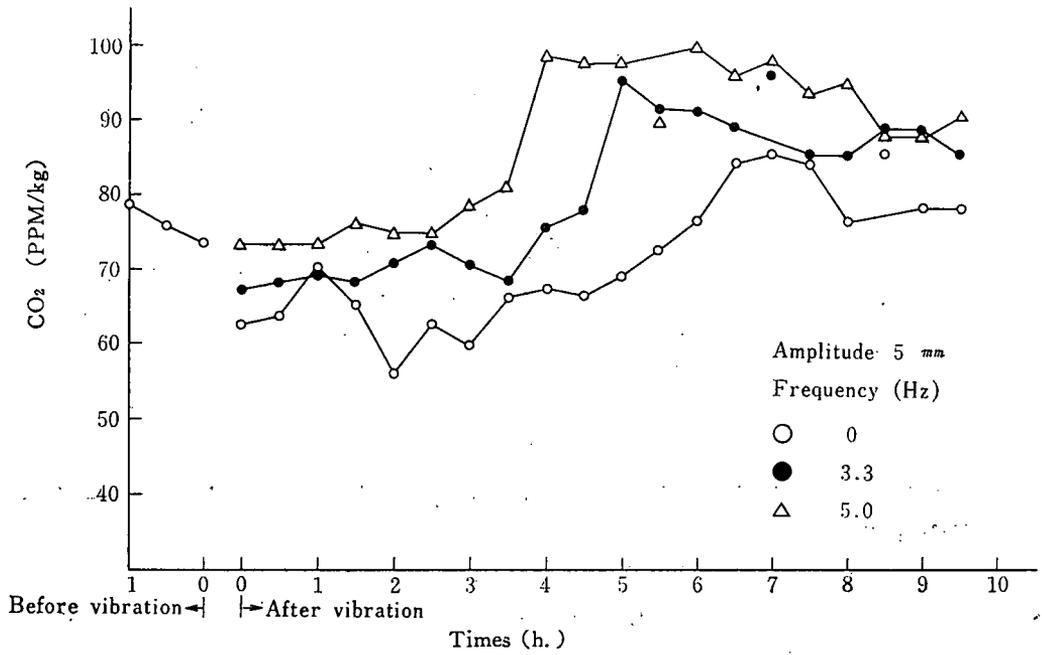


Fig. 10 CO₂ made on breath when apples were vibrated.

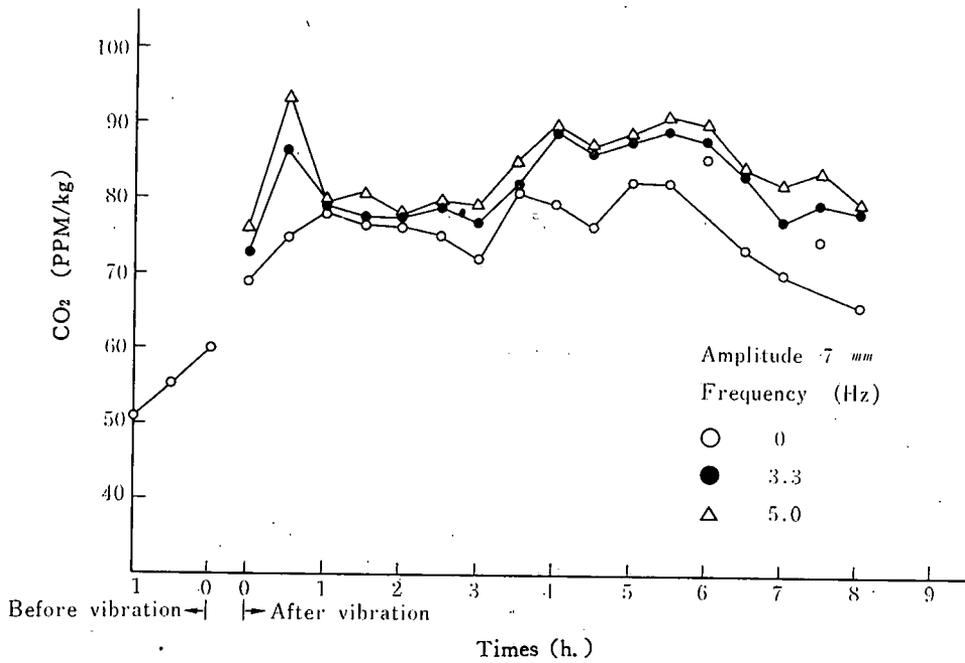


Fig. 11 CO₂ made on breath when apples were vibrated.

II. 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はリンゴに直接的な損傷を与える。そこで衝撃によって生じた損傷と CO₂ の発生量の関係をしらべた。

(2) 実験方法

直径 16 mm, 長さ 190 mm, 重量 297 g の軟鋼棒を 2, 4, 8 cm の高さより落下させ、リンゴ 1 個当り 3 箇所衝撃損傷を加えた。

CO₂ の発生量の測定方法は前項の振動試験の場合と同じである。

(3) 実験結果および考察

落下高 6, 8 cm の場合は計器に不良箇所があったので成績から削除した。

Fig. 12 に示すように落下高が高くなると、つまり損傷体積が増加するほど CO₂ の量は多くなっ

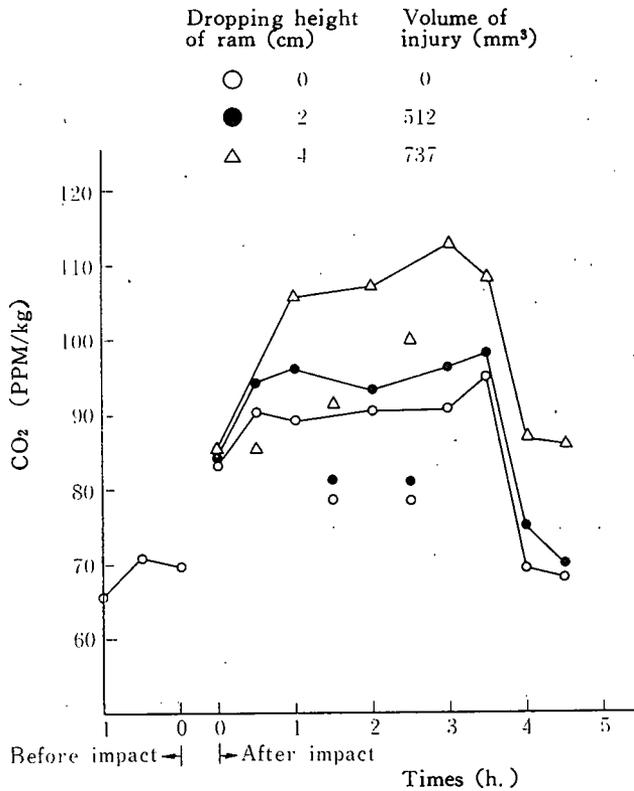


Fig. 12 CO₂ made on breath when apples received the impact.

ている。CO₂ の量は衝撃直後から増加し約 3 時間後ピークに達し、その後急激に低下している。なお損傷体積は褐色に変化した部分を割球とみなして算出した。

以上のように細胞が破壊されると呼吸が促進され、酸化酵素が活性化し果肉の褐色変化が進み腐敗を招くことになる。輸送、貯蔵中は緩衝材などを用いて機械的損傷を防がねばならない。

摘 要

輸送中に生ずる振動、衝撃がリンゴにいかなる損傷を与えるかを調査した。その結果は次のようである。

(1) 振動加速度 (G) の増加とともにリンゴの硬度 F (kg/cm^2) は低下した。その関係は次式のようになる。

$$F=27.1-5.14 G$$

(2) 振幅、振動数の増加とともに硬度は低下するが、果腹部においてその傾向が強かった。

(3) ダンボール箱内のリンゴは振動数が $5.8 H$ 程度以上になると急激に振動加速度が増加し、損傷がひどくなる。

(4) 振動、衝撃を加えたことにより一時的にリンゴの呼吸による CO_2 の発生量が増加する。

参 考 文 献

- 1) 中馬 豊, 村田 敏, 安部武美, 早川 功: 生鮮農産物の輸送損傷に関する研究, 農機誌, 第29巻, 第2号, p. 82~87. (1967)
- 2) 中馬 豊, 泉 裕己, 松岡孝尚: 温州みかんの輸送損傷に関する研究, 農機誌, 第29巻, 第2号, p. 104~108. (1967)
- 3) 中馬 豊, 岩元陸夫: 鶏卵の輸送損傷に関する研究, 農機誌, 第29巻, 第2号, p. 98~103. (1969)
- 4) 中馬 豊, 村田 敏, 紀伊富夫: りんごの衝撃加速度の測定と解析, 農機誌, 第32巻, 第1号, p. 47~52. (1970)
- 5) 星野茂雄, 豊田 実: 緩衝包装設計ハンドブック, 日本生産性本部, p. 717~719. (1969)
- 6) 長谷川良雄, 倉持八重: りんごの輸送—輸送中の振動および衝撃の影響—鉄道業務研究資料, 第13巻, 第9号, p. 252~258. (1956)
- 7) 長谷川良雄, 小川 正: 貨物輸送中の衝撃 (第6報) —果実輸送中の衝撃— 鉄道技術研究所速報, No. 63~333, p. 1~9. (1963)
- 8) 中馬 豊: 流通技術改善に資する果実, 野菜の理工学的諸特性, コールドチェーン技術, Vol. 1, p. 73~75. (1971) および Vol. 3, p. 52. (1971)
- 9) 中馬 豊, 泉 裕己, 松岡孝尚: 温州みかんの輸送損傷—外力による表皮損傷と呼吸変化—農機誌, 第29巻, 第2号, p. 104~108. (1967)
- 10) C. W. Nelson, N. N. Mohsenin: Maximum 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)

(昭和47年9月30日受理)