果実の機械的傷害に関する研究(第1報)

モモ果実の熟度, 大きさ, 果肉部位と受傷程度との関係について

塚 本 正 秋

(島根大学 教育学部)

Studies on the Mechanical Injury of Fruit

I. Degree of Bruising in Peach Fruits as Related to Maturity, Size of Fruit and Location Damaged

Masaaki TSUKAMOTO

Faculty of Education, University of Shimane, Matsue, Shimane 690

Summary

Effects of size, maturity, and impact position of fruit on the severity of mechanical injury of peaches were studied. The results obtained are summarized as follows:

1. In both impact and compression treatments, the severity of injuries was closely correlated with fruit maturity. With respect to impulsive collisions, the flesh firmness allowable for resisting mechanical injuries could be determined. When 'Sunago-wase' peach fruits were dropped onto a hard board 2.7cm thick from a height of 20cm, the allowable flesh firmness was about 21b. by the Magness-Taylor pressure tester.

2. Even in mature fruit, fleshy tissues subjacent immediately to the skin were not injured by conventional handling. In the overripe fruit, however, such subjacent tissues became very sensitive to bruising. Most lesions belonged to the shape pattern of either 'ship's bottom' or 'inverted triangle'.

3. No correlations were observed between fruit weight and severity of bruising, although small fruits (32 fruits to a packing frame) seemed relatively sensitive to compressive loads.

4. Bruises occurred most frequently at the stem end of fruit. However, there were no significant differences in flesh firmness among different locations on the fruit.

緒 言

近年, 果実の増産に伴い, 収穫後の処理や長距離輸送の技術も進歩し, それと同時に果実が機械的傷害を受ける機会も増えている。しかしながら, この方面での研究を園芸学的見地から行なった例は極めて少なく, 傷害に対する防備策は経験に頼っているのが実情である。

園芸学的見地からの研究が少ない理由としては, 非常に多量の生の果実が実験に必要なことも一因であろうが, 傷のうけ易さを左右する要因が限定されておらず, 従って実験手法が確立されていないところに最大の原因があるように思われる。本報告はモモを材料として, まず果実の熟度, 大きさ, 果肉部位に着目し, それらと受傷程度との関係を調査し, モモ果実の受傷程度に影響を

及ぼす要因についての基礎資料を提供しようとしたものである。

材料及び方法

1) 熟度と衝撃抵抗性との関係

東大二宮果樹園で栽培されている砂子早生を 1972 年 6 月 29 日に収穫し, ①早もぎ果 (手でもぐ時に相当の力を要する果実), ②適もぎ果 (手でもぐ時にわずかの力で済む果実) で地色が緑色のもの, ③適もぎ果で地色が黄色のもの, ④それを 1 日室内に放置し追熟させたものの 4 処理区を設け, それぞれ 20 個体ずつ大きさをそろえて選び, 衝撃を与えて受傷程度を比較した。衝撃は 1 個体につき果実の赤道部に 2 か所, 合計 40 か所に 20 cm の高さから厚さ 2.7cm のまな板上に自然落下させることによって与えた。硬度は被衝撃部附近をはく皮後,

1978 年 12 月 2 日 受理

φ 5/12 inch のプランジャーをつけたマグネステラー硬度計で測定した。

2) 熟度と圧縮抵抗性との関係

1972 年 7 月 17 日に二宮果樹園で収穫した白鳳をその日のうちにバイオトロンに運び、4°C で 9 日間貯蔵した後 20°C の部屋に移し、果実温を 20°C にし、万能型引張試験機 UTM-Ⅲ を用いて圧縮試験を行なった。早もぎ果と適もぎ果各々 10 個体ずつ大きさをそろえて選び、1 mm/min の速度で 1 kgW まで荷重をかけ受傷程度を比較した。

また 1972 年 7 月 27 日に二宮果樹園で収穫した大久保をバイオトロンの 20°C の部屋で追熟させ、適もぎ果は収穫翌日、4 日目、6 日目に、早もぎ果は収穫翌日、6 日目に 10 個体ずつ大きさをそろえて取り出し、2 mm/sec の速度で 2 kgW まで圧縮して受傷状態を比較し、追熟日数がモモの圧縮抵抗性に及ぼす影響を検討した。速度を 2 mm/sec に速めたのは時間を節約する為だけに他に理由はない。

3) 傷が果実の熟度に及ぼす影響

1972 年 8 月 25 日に福島湯野産の白桃を小売店より購入し、そのうち 15 個を用いて購入当日の熟度を調べたあと 65 個の果実を 50cm の高さよりコンクリート上に落下させ、縫合線裏側の赤道部に傷をつけ、健全果と共に 20°C の部屋で追熟させ、貯蔵 2 日目、4 日目、6 日目、10 日目に 10 個ずつ取り出して健全果と受傷果の熟度を比較した。熟度の指標としては、φ 7/12 inch マグネステラー硬度計で測定した果肉硬度と、縫合線両側のはく皮状態を用いた。果肉硬度は縫合線より 90° ずれた赤道部 2 か所を測定して平均をとった。はく皮状態は梶浦らの方法(3)に準じ、果頂部、果底部両側より手ではく皮した際、①全くむけない果実、②半分までむける果実③全部むける果実、の 3 段階に分け、それぞれ 0 点、1 点、2 点と配点し、平均値を求めた。①と②、②と③の中間段階の果実には、それぞれ 0.5 点、1.5 点を与えた。

4) 果実の大きさ、果肉部位と受傷程度との関係

前述の砂子早生を用い、収穫翌日に地色が黄色で重さが 160~400g の果実 50 個体を選び、果頂部、赤道部、果底部の 3 か所にハンマー打ちで同エネルギーの衝撃を与え、果肉部位別、大きさ別に受傷程度を調査した。ハンマーの重さは 530.6g (柄を含む) であり、その装置は第 1 図に示されている。地上から 13cm の高さまでハンマーの振り子を持ち上げ、手を離して衝撃を与えたわけだが、水平に置いたマグネステラー硬度計の先端にこのハンマーで衝撃を与え衝撃の強さを測定してみる

Fig. 1. Impact test apparatus.

と 2.5 ポンドを示していた。

また、前述の白鳳の適もぎ果の中から 32 個詰バック用 (平均重量 100g)、28 個詰バック用 (同 135g)、25 個詰バック用 (同 165g) の果実を 10 個体ずつ選び、万能引張試験機により 1 mm/min. の速度で 1 kgW まで荷重をかけて受傷程度を比較した。

また、1977 年 7 月 19 日に島根県江津産の大久保を小売店より購入し、購入当日、3 日目、5 日目、7 日目に果肉硬度の 1 つの指標となりうるヤング率を、果頂部、赤道部、果底部について調査した。各果肉部位より中心部に向かって φ 7 mm のコルクボーラーで打ち抜き、果皮より約 2 mm 離れた場所から長さ 1.2 cm に切断し、重量を測定 (全て 1.55g 前後であった) 後、Dynamic young's modulus Meter model CT-7 (日本電子測器株式会社製) を用い第 1 次共鳴振動数を求め、公式に従ってヤング率に換算した。換算公式は次の通りである。

$$E = 408 \times 10^{-5} \times L \times W \times W \times f_1^2 / A \quad (\text{g/cm}^2)$$

ここで L は材料の長さ (1.2 cm)

W は 〃 重さ (1.55g 前後)

f_1 は第 1 次共鳴振動数

A は材料の断面積 ($0.35^2 \pi \text{ cm}^2$)

1 度の実験に供試する果実は 3 個であり、1 果実につき各部位より 2 か所、計 6 か所をサンプルとして用いた。維管束の影響であろうか、同じ果肉切庁でもピックアップを接触させる場所によって値に多少の差が生じた。従って各果肉切庁について少なくとも 3 か所を測定し、測定値が近似している場合はその中央値をとり、最低と最高が 50 Hz 以上あった場合は 5~10 回測定し、その中央値又は平均値をもって、その果肉切庁の固有振動数とし

た。また切断後の経過時間による誤差を出来るだけ少なくする為、果頂部、赤道部、果底部、果頂部、……と18個のサンプルを順に1個ずつ測定していった。コルクボーラーで打ち抜き、切断、秤量し、測定を開始するまでの時間は約30分、測定を全部終了するまでの時間も約30分であった。同じ赤道部でも縦方向と横方向とではヤング率に違いがあるかも知れないので、購入2日目に果実5個を供試し、1個につき赤道部より縦方向、横方向各々2か所ずつ計10個ずつのサンプルをとり、同方法で測定した。

5) 受傷程度の調査

圧縮あるいは衝撃を与えた後、果実を1日室内に放置し、変色の進行が停止してから果実を切断し、透明ビニールをかぶせて受傷部をマジックインキで写し取り、更にそれをトレーシングペーパーに写し取る。そのコピーを取ったコピー用紙から断面図をハサミで切りとり、表示用びんで重さを量り、面積に換算した。

受傷程度の表示法としては、各処理区ごとに傷の断面積の平均を算出するとともに、無傷の果実の比重を大きくする為に受傷しないものを0点、断面積が50mm²以下の傷を1点、100mm²以下の傷を2点というふうに、

Fig.2. Bruises on 'HAKUHO' peach fruits dropped onto a hard board from the height of 20cm.

50mm² きざみで傷に評点をつけ、その平均を傷害評点として表示した。

実験結果

a) 傷の形態

モモが衝撃を受けた場合の傷が第2図に示されている。品種は白鳳であるが、品種間で大差はみられなかった。モモの場合、写真右側に見られるように、表皮直下の部分は受傷せず、表皮から数mm離れた場所に傷がつくのが普通であるが、過熟果になると写真左側に見られるように、表皮直下の細胞まで容易に破壊され、果皮が破れる果実もみられた。どの程度熟度が進行すれば果皮直下まで破壊されるのかについては今回は調査していない。受傷部の外観は黒ずんでいた。また果実を切断した場合、傷の中央部の変色程度が低い果実がかなり見られた。

圧縮を受けた場合の傷は衝撃傷に較べて細長い(圧縮方向に垂直な方向に)傷がつくのが一般的であった。

b) 熟度と傷の関係

早もぎ果、適もぎ果で地色が緑色のもの、適もぎ果で地色が黄色のもの、それを1日追熟させたもの、と果実の熟度が進むにつれて受傷率は15%、32%、67%、67%と増加し、又受傷部平均断面積も30、34、107、118mm²と増大した(第1表)。これは結局、熟度の進行に伴う平均果肉硬度の低下によるものであり、どの処理区でも果肉硬度が2lb以上の果実は受傷しなかった。果肉硬度と受傷率との関係を見ると、0.5lbでは86.2%、1.0lbでは77.6%、1.5lbでは58.8%となり、果肉硬度が高くなると、受傷率が低くなる傾向が認められた。なお、硬度が2lb以上の果実では受傷果は無く(0/65)、また早もぎ果で地色が緑色の果実は1m高さから落下させても受傷しない程の衝撃抵抗力を持っていた。

Table 1. Effect of maturity on impact bruise of 'SUNAGOWASE' peach fruit.

Maturity*	Fruit weight (g)	Flesh firmness (lbs.)	% of bruised fruits	Cross-sectional area of bruised area. (mm ²)	Injury score**
Premature fruit	218	8.0	15	30	0.38 a***
Mature-green fruit	211	6.8	32	34	0.50 a
Mature-yellow fruit	222	1.6	67	107	1.23 b
Mature-yellow fruit after-ripened for one day	217	1.0	67	118	1.43 b

Fruits were dropped onto the board from the height of 20cm.

* Premature fruit means the fruit having some difficulty to be picked with hand.

Mature-green fruit means the fruit easy to be picked with hand and the ground color of which is greenish.

Mature-yellow fruit means the fruit easy to be picked with hand and the ground color of which is yellowish.

** Injury score = (0·GI + 1·GII + 2·GIII + 3·GIV + ……)/100

GI = % fruit without bruise. GII = % fruit with 1-50mm² bruise.

GIII = % fruit with 51-100mm² bruise. GIV = % fruit with 101-150mm² bruise.

*** Means in a column followed by the same small letters are not significantly different at the 5% level by Duncan multiple range grouping test.

Table 2. Relation of flesh firmness to bruise of 'SUNAGOWASE' peach.

Maturity		Flesh firmness(lbs.)				Total
		0.5	1.0	1.5	≥2	
Premature fruit	Number of fruits treated	1	3	4	32	40
	Number th fruits bruised	1	2	3	0	6
Mature-green fruit	Number of fruits treated	0	10	4	26	40
	Number of fruits bruised	0	9	4	0	13
Mature-yellow fruit	Number of fruits treated	7	24	5	4	40
	Number of fruits bruised	7	17	3	0	27
Mature-yellow fruit after-ripened for one day	Number of fruits treated	21	12	4	3	40
	Number of fruits bruised	17	10	0	0	27
Total	Number of fruits treated	29	49	17	65	160
	Number of fruits bruised	25	38	10	0	73
	Percentage of bruised fruits	86.2	77.6	58.5	0	45.6
	Cross-sectional area of bruised area in mm ²	64.2	64.5	40.1	0	

Table 3. Effects of storage period on the resistivity of 'OKUBO' peach fruit to compression.

	Days after harvest	Fruit weight (g)	Fruit stiffness (kg/mm)	% of plastic deformation	Compression** (×980 erg)	% of bruised fruits	Cross-sectional area of bruised area (mm ²)	Injury*** score
Mature fruit	1	215	1.6	65	304	42	57	1.3 abc***
	3	229	0.9	75	472	85	118	2.8 bc
	5	220	1.0	74	402	85	119	2.8 cd
Premature fruit	1	213	3.0	57	168	15	9	0.3 a
	5	223	0.9	79	452	85	146	3.3 b

Fruits were stored at 20°C and loaded to 2kgw at a speed of 2mm/min.

* Percentage of plastic deformation means the ratio of plastic deformation to the sum of elastic and plastic deformation.

** Compression energy means the area under the loading curve (stress-deformation curve).

*** See Table 1.

**** See Table 1.

また、大久保を用いて圧縮力に対する熟度の影響を調査した結果が第3表に示されている。適もぎ果と早もぎ果とを比較すると、収穫翌日には大きな差があり、早もぎ果の方が硬度（前述のマグネステラー硬度計による硬度は、測定部位の果皮をはく皮した後φ5/12 inchのプランジャーが標線まで果肉部まで侵入して果肉を破壊するのに要する力=Flesh Firmnessであるが、この硬度は、果皮をつけたままの果実を平板圧縮をする際単位長さ当り変形させるのに必要な力=Fruit Stiffnessである。）は大きく、圧縮エネルギーは小さく、永久変形率も小さく受傷しにくかった。しかしながら収穫5日後になると硬度、永久変形率、圧縮エネルギーに差はなくなり、受傷程度はむしろ早もぎ果の方が上まわっている状態であった。適もぎ果で、追熟日数ごとに比較してみると、収穫翌日に1.6 kg/mmあった硬度が3日後には

0.9 kg/mmと減少し、それに伴って受傷率、傷害評点はそれぞれ58%から15%、0.9から1.9と変化し、受傷程度が大きくなっていた。しかし3日後と5日後とは全く差は認められなかった。本実験における5処理区の硬度と受傷率は、適もぎ果1日追熟区1.6 kg/mm、42%、3日追熟区で0.9 kg/mm、85%、5日追熟区で1.0 kg/mm、85%、早もぎ果1日追熟で3.0 kg/mm、15%、5日追熟区で0.9 kg/mm、85%あり、圧縮においても硬度と受傷率は密接な関係を持っていることがわかる。

c) 傷が熟度に及ぼす影響

各調査に用いた果実15個ずつの単純平均をとったところ、50cmの高さからコンクリート上に落下衝撃を受けた為に健全部の果肉硬度の軟化が進むということは無かったが、はく皮指数には差があった。被衝撃果は健全

Table 4. Effect of impact on the maturity of 'HAKUTO' peach.

		Before treatment	Days after harvest			
			1	3	5	9
Flesh firmness (lbs.)	Dropped fruit	1.92	1.35	0.82	0.73	0.68
	Untreated fruit		1.28	0.98	0.67	0.68
Peeling* index	Dropped fruit	0.20	0.43	1.30	1.80	1.93
	Untreated fruit		0.37	0.87	1.63	1.93

Impact was given to the fruit by dropping onto concrete floor from the height of 50cm. Fruits were then stored in the room at 20°C.

* Peeling index = $(0 \cdot GI + 1 \cdot GII + 2 \cdot GIII) / 100$

GI = % unpeeled fruit GII = % fruit peeled by half

GIII = % fruit peeled completely

Table 5. Degree of impact bruises at three locations.

	Flesh firmness (lbs)	% of bruised fruits	Cross-sectional area of bruised area (mm ²)	Injury* score
Calyx end	0.7	26	15	0.42 a**
Cheek	0.7	32	15	0.50 ab
Stem end	0.8	52	23	0.74 b

Impact was given to 'SUNAGOWASE' peach fruit by impact test apparatus with 500g hammer.

* See in Table 1.

** See in Table 1.

果に較べて果皮が除々にむけ易くなり、処理3日後にその差が最大となった後再び差が縮まっていた。(第4表)

d) 果肉部位別傷害比較

第5表に示されている通り、果底部、赤道部、果頂部の順に受傷程度は大きかった。表中の受傷部断面積は、無傷の果実をも含めた平均で示してあるが、受傷部のみの平均では果頂部 44 mm²、赤道部 47 mm²、果底部 58 mm² であった。

果肉部位別のヤング率を見ると、果底部、果頂部、赤道部の順に小さい傾向があり、又同じ赤道部でも横方向より縦方向の方がわずかに小さかったが、いずれも有意差は認められなかった。(第6表、第7表)

e) 果実の重量と受傷程度との関係

果実重量と受傷程度との関係が、第3図及び第8表に示されている。第3図は衝撃を受けた場合、第8表は圧縮を受けた場合である。衝撃の場合、果実重量と受傷程度には全く関係が認められなかった。圧縮の場合も一定の関係はなかったが、32個詰パック用の小さい果実が最も受傷しにくく受傷部の断面積も小さかった。

考 察

一般にモモでは硬度と受傷程度との関係は密接であるといわれているが、本実験に於いてもそうであり、衝撃

Table 6. Young's modulus (g/cm²) at three locations.

Days after purchase	Calyx end	Cheek	Stem end	Average
0	4,282	11,511	5,182	6,992
2	8,023	6,656	5,728	6,802
4	6,173	7,059	5,716	6,316
6	4,518	5,763	4,510	4,930
Average	5,749	7,747	5,284	NS*

Disks 12mm thick and 7mm diameter were cut from three locations in 'OKUBO' peach fruit and used for measuring young's modulus.

* NS: Not significantly different among three locations and among testing days.

Table 7. Young's modulus in two directions at cheek location. (g/cm²)

Vertical direction	Horizontal direction	
4,226	5,028	NS*

Disks 12mm thick and 7mm diameter were cut from 'OKUBO' peach fruits stored for 1 day after purchase and used for measuring young's modulus.

* NS: Not significantly different between two directions.

試験、圧縮試験とともに硬度 (Flesh firmness, Fruit stiffness) と受傷率との間に密接な関係が認められた。そして衝撃試験の場合、その関係は一次関数的な関係ではなく、ある硬度以上では受傷しないという受傷限界硬度が存在するように思われた。210~220g の砂子早生を 20cm の高さから厚さ 2.7cm のまな板の上に落下させるという限定条件下では、その受傷限界硬度は ϕ 5/12 inch マグネステレー硬度計で 2 lb であった。

モモは通常、衝撃あるいは圧縮を受けた果皮直下の果肉部は受傷しない。この理由として Fridley ら (1) は果肉の細胞配列に注目し、果皮直下の細胞は小さく細胞壁も厚いためであろうと推察した。本実験に於いては、熟度が進むと果皮直下も容易に受傷したが、このことは果実の熟度によって果皮直下の細胞群の強度が異なっていることを推定させる。細胞群の強度を決定する要因としては、細胞の大小や細胞壁の厚さの他に、細胞群密度、細胞間結合力、細胞構成成分や細胞の膨圧に基づく細胞自体の強度などが考えられているが、これらに関与すると言われているペクチン質、リグニン、セルロース、水分含量などが、モモでは果皮直下に多く分布し、熟度の進行につれて減少するという事も考えられ、より詳細な検討が必要であると考えられる。

果実が衝撃や圧縮を受けた場合、その応力は中心部に近い程大きく、またその果実の内部が均一であれば、その方向は圧縮面に対して垂直である (4)。従って傷の形状としては、果皮直下が受傷するしないにかかわらず、

Fig.3. The relationships of peach bruises and fruit weights in SUNAGOWASE variety at the calyx end cheek and stem end locations. (Impact bruise by 500g hammer).

船底型(○)あるいは逆三角形(▽)になると思われるが本実験に於いても大体これに近い傷がついた。

果肉部位別の受傷程度では果底部が最大であった。その原因としてまず考えられることは、果肉部位による硬度差であるが、実験に用いた果実には果肉部位別硬度差は認められず、又別の果実を用いて果肉部位別に測定したヤング率でも、傾向としては果底部が低い有意差は認められない。次に考えられる可能性としては曲率半径の相違があげられるが、これととも、経験的、実験的に

認められている事実、すなわち、リンゴに於いては赤道部が最も受傷し易く、受傷程度も大きいという事実(2, 5)と矛盾する。これについてはより詳細な検討が必要と思われる。

摘 要

モモを材料として、果実の熟度、大きさ、果肉部位と受傷程度との関係を調査した。

1. 衝撃の場合も圧縮の場合も、受傷程度と熟度とは密接な関係を持っていた。特に衝撃試験に於いては、果

Table 8. Effect of fruit size on the resistivity of 'HAKUHO' peach fruit to compression.

No. of fruits/packing	Fruit weight (g)	Fruit stiffness (kg/mm)	% of* plastic deformation	Compression** (×980 erg)	% of bruised fruits	Cross-sectional area of bruised area (mm²)	Injury*** score
32	100	0.36	64	145	75	46	0.9
28	135	0.37	71	139	95	63	1.7
25	165	0.38	70	133	85	64	1.6

Fruits were loaded to 1 kgw at a speed of 1mm/min.

* See Table 3.

** See Table 3.

*** See Table 1.

実の受傷する限界硬度が見出され、砂子早生を 20cm の高さから厚さ 2.7cm のまな板上に落下させた場合にはその限界硬度は ϕ 5/12 inch マグネステラー硬度計で 2lb であった。

2. モモは通常、果皮直下の果肉部は受傷しなかったが、熟度が進むと果皮直下まで容易に受傷した。傷の形状は大体船底型あるいは逆三角形であった。

3. 果実の重量と受傷程度には関係が認められなかった。ただ、圧縮した場合、個詰バック用の小果実は受傷しやすかった。

4. 果肉部位別では果底部が最も受傷しやすかったが、調査果実の果肉部位別硬度差は認められなかった。

謝 辞 本実験を行うに当たり、一貫して御指導頂きました元東京大学農学部園芸第一研究室杉山直儀教授、更に有益な御助言を頂きました同研究室岩田正利教授始め皆様、更には実験材料の提供並びに御尽力、御助言頂きました同大学附属二宮果樹園佐藤幹夫先生に深謝致

します。

引用文献

1. FRIDLEY, R. B. and P. A. ADRIAN. 1966. Mechanical properties of peaches, pears, apricots and apples. Trans. ASAE. 9 (1) : 135—138, 142.
2. 井藤正一・宮礼二郎・長谷川良雄・中川政雄. 1958. リンゴの荷造り輸送ならびに取扱い (第3報). 鉄道技術研究報告. No. 34 : 82—83.
3. 梶浦一郎・岩田正利. 1971. 果実に及ぼすガス濃度の影響 (第2報). 白肉桃大久保果実に及ぼす酸素濃度の影響. 園学雑. 40 (4) : 85—93.
4. O'BRIEN M, J. P. GENTRY and B. C. GIBSON. 1965. Vibrating characteristics of fruits as related to in-transit injury. Trans. ASAE. 8 (2) : 241—243.
5. 土屋功位・斎藤峰次郎・中山公福. 1971. リンゴ果実の打撃損傷について. 山形農林学会報. 28 : 67—70.