加工用トマト果実の静圧荷重抵抗性と堆積厚さ の許容限界について

伊藤 憲弘・寺田 俊郎

(島根大学農学部)

The Load Resistivity to Static Pressure and the Permissible Limit of Heaping Height on the Tomato Fruit for Processing

Norihiro ITO and Toshiro TERADA

Faculty of Agriculture, Shimane University, Matsue, Shimane 690—11.

Summary

Load resistibility to static pressure and the permissible limit of heaping height were examined on the fruits of tomato for processing in order to rationalize a method for the handling of the fruits after harvest.

1. The behavior of fruits of static pressure resembled closely creep of four-element model in the visco-elastic body.

2. The hardness and elastic behavior of the fruits were high in the cultivars of 'AT 70/24' 'TE-30' and 'ES-58'.

A high correlation was observed between the creep character and the color tone (Hunter a/b ratio) of the fruits with the significant level of 0.1%, and the hardness and elastic behavior decreased with maturity.

3. The observed relations of the degree of fruit deformation to the magnitude of load and to the loading time showed that the extent of occurrence of lacerated wounds in the fruits was low in 'ES-58' 'TE-30' and 'AT 70/24' and high in 'H-1409' 'KG-127' and 'Kurikoma'. The limiting deformation rate beyond which the fruits were lacerated was highest (36.8%) for 'AT-70/24' and lowest (7.5%) for 'H-1409'.

4. The extent of fruit injury increased with an increase in heaping height of the fruits. Among the cultivars examined, 'H-1409' was injured most markedly, while 'TE-30' most slightly. The permissible limit of heaping height was very large for 'AT 70/24' 'ES-58' and 'TE-30' and low for 'H-1409' and 'KG-127'.

These observations indicate that the cultivars with high hardness and elastic behavior are also have the high load resistibility to static pressure. Among the cultivars examined, load resistibility to static pressure was very high for 'AT 70/24' 'TE-30' and 'ES-58'.

緒 言

一般に、ほ場で収穫されたトマト果実は直ちに加工工場に搬入し、加工処理工程に移送することをたてまえとする。したがって原料受入れ後の保管は簡易屋根を有する集積所か、集積群に雨よけのおおいをかぶせる程度で、本格的な原料倉庫は使用されていない。しかし最盛期には入荷が多く、滞荷現象となり、24～43 時間太陽の直射日光をあび、あるいは降雨にさらされる場合もある(14)。なお、輸送には 20 kg 入りプラスチック・コン

1981 年 6 月 5 日 受理

テナが用いられ、ほ場—集荷所—加工工場とトラック輸送されているのが現状である。

昨今、収穫段階における機械の開発研究が進みつつある。そこで、機械化の一貫した体系を考えてゆく上で、さらに収穫後の果実取り扱い法の合理化をはかることも重要であろう。すなわち滞荷の解消、貯蔵法の検討、輸送法の合理化などである。したがってアメリカなどでみられる大型コンテナによる輸送、あるいは大型トレラーによるバラ積み輸送法などの実用化が今後の課題となるう。

トマト果実はこのような収穫から加工処理工程に移送するまでのあらゆる過程で多様な荷重を受け、それが果実の損傷原因にもなっている。そしてこれらの果実損傷は加工品の品質低下はもとより、製造工程における洗浄効率、トリミング効率の著しい低下を招くことにもなる。果実の受ける損傷は直接果実が持つ特有の物理的性質に左右される。すなわち振動衝撃、落下衝撃、あるいは圧縮や堆積による静圧荷重などに対する抵抗性などが考えられる。

筆者らはさきにプランジャ圧縮による果実の貫入抵抗力測定から果実の硬さについて、あるいは落下衝撃による損傷果の発生状況から落下許容限界などについて検討し、その結果を報告した(3, 4)。さらに本報では収穫後の果実取り扱い、とくに貯蔵過程における静圧荷重下での果実の挙動をとりあげた。すなわち静圧荷重下における果実の抵抗性、および損傷果の発生からみた堆積厚さの許容限界などについて検討したので報告する。

材料及び方法

実験は1980年8月に実施した。供試トマト果実は島根大学農学部附属農場において栽培されたものから採取した。

供試品種は前報(3)を参考に、果実の形状、大きさの点で特徴を有する品種、系統を考慮して選定した。

試料の熟度は前報(2)に準じ、果実の着色状態をもって判定した。判定は直読デジタル測色色差計(日本電色工業製、ND-504DE)を用いた。

試料はまず色感によって熟度を5段階(I~V)に区分し、それぞれの色調は等色差表色系により、a/b値をもって表示した。なお、I, II, IIIは赤熟果、IV, Vは熟果に属し、熟果は各品種ともa/b値1.2以上を示した。

果実の形態的性質は形状、重量、体積、比重、および子室数について測定し、その方法は前報(3, 4)に準じた。

1. クリープ及び復元試験

果実の静圧荷重に対する力学的特性を知るため、クリープ及び復元試験を行った。

荷重処理は果実の側部及び果頂部の2方向から実施した。

供試品種は側部の場合、洋ナシ型品種の‘Chico’ ‘Super Roma VF’、長型品種の‘San Marzano’ ‘AT 70/24’、丸型品種の‘くりこま’ ‘TE-30’ ‘KG-127’、偏円型品種の‘ES-58’ ‘VF-145’ ‘H-1409’ ‘カゴメ 70’の11品種で、果頂部の場合、‘くりこま’ ‘TE-30’ ‘KG-127’ ‘ES-58’ ‘VF-145’ ‘H-1409’ ‘カゴメ 70’の7品種を用いた。なお、供試個体は各品種とも、25個体(未熟果15、熟果10)とした。

測定法は石橋ら(1)、河野ら(6)、小島(8)の報告を参考とした。すなわち試験機は万能引張り試験機(東洋ボールドウィン製、テンシロン UTM-II-20)に設置したクリープテストアダプタを用いて行った。

荷重は平板による垂直定荷重とし、ロードセル(共和電業製、LU-10 KA)で検出し、自動平衡指示計(東洋ボールドウィン製、SS-8D)で一定に制御した。

設定した静圧荷重は2kg、負荷時間は7分とし、その荷重下における果実の変形量を記録した。次いで荷重を除去(測定は0.1kg)した後、5分間、変形の復元状態を測定した。

測定時の果実温度は測定に供した果実が前日に収穫され、1日室内貯蔵されたものであったことから、供試個体間に大きな差異はないものとして取扱った。なお、測定時の室温は28.5~31.0℃であった。

第1図は塑性要素を直列に含む4要素模型とそのクリープ曲線を示したものである。

Fig. 1. Graphical and rheological models of creep and recovery test.

曲線 OABC は試料に一定荷重を加えた場合の変形量の経時変化である。

この曲線における時間と変形量の関係は次式で示される(10)。

$$D(t) = \frac{P}{r_1} + \frac{P}{r_2} (1 - e^{-r_2 \cdot t / \eta_2}) + \frac{P}{r_3} \cdot t \quad (1)$$

ここで、 D : 変形量 (mm)、 P : 荷重 (kg)、 r_1, r_2 : パネ定数 (kg/mm)、 η_2, η_3 : 粘性係数 (kg·h/mm)、 t : 時間 (h)。

右辺第1項は瞬間的弾性変形(OA)、第2項は遅延弾性変形(AB)、第3項は粘性流動(BC)である。そこでOA'を瞬間弾性変形量(以下、瞬間変形量と言う)、負荷7分後における変形量OC'を全変形量とした。

なお、パネ定数 r_1 はマグネステラ型の硬度計で得られる硬さに相当するものである。したがって r_1 の大きいものほど硬く、その値は①式より導びかれた次式に

よって求められる(6).

$$r_1 = \frac{P}{D_1} \quad (2)$$

曲線 CDE はある時刻 t_1 で荷重を取り除いた後、変形の回復過程を示すものである。そしてその関係は次式で示される(10)。

$$D(t) = \frac{P}{r_2} (1 - e^{-r_2 \cdot t / \eta_2}) e^{-r_2 / \eta_2 (t - t_1)} + \frac{P}{\eta_3} \cdot t_1 \quad (3)$$

この場合、CD は瞬間弾性変形の回復量（以下、瞬間回復量と言う）である。また、負荷除去5分後の変形回復量 C'E' を全回復量とした。なお、この回復過程にはクリープ回復が完全ではなく、永久に回復しない変形量 OE' を残す、そこでこれを残留変形量として取扱った。この残留変形量は荷重による変形のうち η_3 の動いた分に相当する。したがって粘性係数 η_3 は③式より導びかれた次式によって求められる。

$$\eta_3 = \frac{P \cdot t_1}{D_3} \quad (4)$$

変形率は試料の果径（荷重方向側部の場合は横径、果頂部の場合は縦径）に対する変形量の比率をもって示した。また、回復率は全変形量に対する回復量の比率をもって表した。

2. 荷重の大きさ、負荷時間と果実の変形量

供試品種は 'Chico' 'Super Roma VF' 'San Marzano' 'AT 70/24' 'くりこま' 'TE-30' 'KG-127' 'ES-58' 'VF-145' 'H-1409' 'カゴメ 70' の 11 品種を用い、各品種とも熟果のみを供試した。

供試個体は各品種 21 個体とし、それぞれ荷重処理に先立ち果径を測定した。

荷重処理は荷重の大きさ別に 3 果ずつ供試し、三星紋状にならべた。そしてその上へ 1 辺 300mm、厚さ 20mm の正三角形木製合板を乗せ、さらに合板の中央部には重錘を置いた。荷重の大きさは合板と重錘を加えた重量であり、1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 12.0 kg (1 果当たりの荷重はそれぞれ 1/3 になる) の 7 段階で実施した。

荷重処理方向はできれば果頂部、側部の両方向で調査すべきであるが、今回は品種ごとに果実の安定した定置姿勢を保つ方向を選定した。すなわち洋ナシ型、長型品種では側部、丸型、偏門型品種では果頂部方向である。変形率は荷重処理中、一定時間ごとに果径の変化率を測定し、処理前の果径との比率をもって示した。

3. バラ積みによる堆積厚さと果実の損傷

果実のバラ積みにおける堆積厚さの差と損傷果の発生状態を調査した。

堆積処理はプラスチック製 20 kg 入りコンテナ (48.5 cm×32.0 cm×30.0 cm) 及び木製箱 (45.0 cm×45.0 cm

×100 cm) を用いて行った。堆積時間はそれぞれ 24 時間とした。

供試品種はプラスチック・コンテナの場合、前述の実験で用いたのと同じ 11 品種、木製箱の場合、'H-1409' 'KG-127' 'カゴメ 70' 'TE-30' 'Super Roma VF' の 5 品種である。なお、各品種とも熟果のみを供試した。

供試個体は各品種 20 個体とし、プラスチック・コンテナの場合、堆積荷重が果実の側部及び果頂部から加わるようにそれぞれ 10 個体ずつ、コンテナ底部に設置した。なお、木製箱の場合は荷重方向を特別に考慮せず、自然の堆積状態で処理した。

堆積厚さは木製箱の場合、50, 75, 100 cm とし、コンテナの場合は底部である。

調査における損傷果の区分は前報(4)に準じた。すなわち第 1 表に示すように、形状不変、圧縮変形、内部損傷、裂開損傷、形状崩壊とし、それぞれ 0~8 の損傷指数をもって表示した。

Table 1. Classification of damaged fruits.

D. I.	Description
0	Externally unchanged fruit
1	Deformation of fruit shape (small)
2	Deformation of fruit shape (large)
3	Damage of internal tissue (small)
4	Damage of internal tissue (large)
5	Laceration (small)
6	Laceration (medium)
7	Laceration (large)
8	Collapse of fruit shape

D. I.: Damage index

結 果

1. クリープ及び復元試験

トマト果実を堆積するとき、底に近い果実にはクリー

Fig. 2. A recording example of creep and recovery test.

ブに似た現象がみられる。

第2図はトマト果実に平板を介して定荷重をかけ、ある一定時間の後、その荷重を除去した時に得られる果実の変形量を示す曲線である。

曲線における時間と変形量の関係は第1図に示すよう

な粘弾性体のうち4要素模型のクリープ現象に酷似した。

(1) 品種別クリープ特性

Table 2. Result of creep and recovery test on tomato fruits classified by cultivar and maturity (Flank).

Cultivar	My ^z	Instantaneous deformation		Total deformation		Instantaneous recovery		Total recovery		Elements ^w		Residual deformation	
		Quantity	Modulus	Quantity	Modulus	Quantity	Modulus	Quantity	Modulus	r_1	η_3	Quantity	Modulus
Chico	im ^y	mm 5.47	% 12.8	mm 6.71	% 15.6	mm 2.25	% 36.07	mm 2.63	% 42.13	0.44	4.69	mm 4.09	% 9.6
	ma	10.79	24.3	13.17	29.6	2.24	17.19	2.91	22.29	0.19	1.44	10.26	23.1
Super Roma VF	im	6.64	12.8	8.48	15.9	2.83	36.55	3.33	42.37	0.46	5.47	5.15	8.8
	ma ^x	10.61	25.0	13.89	29.6	1.62	12.50	2.30	17.55	0.19	1.48	11.59	23.9
San Marzano	im	4.81	12.8	6.09	16.1	2.33	39.07	2.96	45.86	0.44	4.78	3.13	8.7
	ma	7.55	20.0	9.44	25.0	2.37	25.13	2.91	30.85	0.27	2.21	6.53	17.2
AT 70/24	im	2.92	7.7	3.55	9.3	1.43	41.02	1.68	48.43	0.75	8.63	1.87	4.6
	ma	3.92	10.0	4.86	13.3	1.57	32.42	1.89	39.00	0.52	4.80	2.97	8.2
Kurikoma	im	4.15	8.3	5.23	10.5	2.03	39.45	2.41	43.61	0.55	5.95	2.82	5.6
	ma	7.18	14.7	8.88	17.9	3.21	36.12	3.69	41.70	0.28	2.75	5.19	10.4
TE-30	im	3.65	6.9	4.65	8.8	1.39	32.64	1.65	38.33	0.66	6.50	2.99	5.7
	ma	5.35	9.7	6.70	12.3	1.56	23.28	1.95	29.18	0.38	2.98	4.75	8.7
KG-127	im	5.38	13.3	6.77	16.7	2.30	35.93	2.67	41.62	0.40	4.12	4.07	10.2
	ma	7.02	15.8	8.39	18.9	2.46	29.16	2.91	34.58	0.29	2.57	5.48	12.3
ES-58	im	3.67	5.9	4.71	7.6	1.66	37.19	1.97	43.95	0.65	6.89	2.75	4.4
	ma	5.65	8.8	6.98	11.2	1.98	28.51	2.39	34.39	0.36	3.09	4.59	7.4
VF-145	im	4.54	7.6	5.80	9.7	2.13	38.43	2.53	45.52	0.50	5.25	3.27	5.5
	ma	7.62	12.2	9.84	15.8	2.41	24.87	3.11	31.90	0.27	2.15	6.73	10.8
H-1409	im	3.92	6.0	4.85	7.4	1.80	38.07	2.08	44.15	0.57	5.98	2.77	4.2
	ma	7.10	10.4	8.73	13.1	2.57	29.95	3.08	35.90	0.29	2.59	5.65	8.5
Kagome 70	im	4.87	9.3	5.93	11.4	1.99	35.91	2.33	41.73	0.48	5.10	3.60	6.9
	ma	6.84	12.9	8.14	15.6	2.33	28.58	2.77	33.93	0.29	2.59	5.37	10.2
L. S. D.	5%	0.83	2.28	0.44	2.71	0.64	3.64	0.34	4.21	0.06	0.78	1.15	2.8
	1%	1.11	3.06	0.58	3.62	0.86	4.88	0.45	5.64	0.08	1.04	1.54	3.7

z Maturity y Immature fruit x Mature fruit w Elements of four-element model

Table 3. Result of creep and recovery test on tomato fruits classified by cultivar and maturity (Top).

Cultivar	My ^z	Instantaneous deformation		Total deformation		Instantaneous recovery		Total recovery		Elements ^w		Residual deformation	
		Quantity	Modulus	Quantity	Modulus	Quantity	Modulus	Quantity	Modulus	r_1	η_3	Quantity	Modulus
Kurikoma	im ^y	mm 3.25	% 6.3	mm 3.89	% 7.8	mm 1.35	% 35.81	mm 1.60	% 43.02	0.78	8.12	mm 2.30	% 4.6
	ma ^x	5.25	11.9	6.59	14.7	2.28	34.54	2.72	41.26	0.37	3.61	3.87	8.6
TE-30	im	2.56	4.9	3.26	6.2	0.93	30.47	1.14	37.13	0.88	8.17	2.12	4.1
	ma	3.95	6.9	5.02	8.8	1.11	22.39	1.42	28.58	0.53	4.05	3.60	6.3
KG-127	im	4.44	9.2	5.57	11.7	1.65	32.18	1.99	38.49	0.51	4.90	3.58	7.5
	ma	6.41	13.2	8.01	16.5	2.45	30.67	2.92	36.52	0.32	2.80	5.09	11.8
ES-58	im	2.08	4.2	2.65	5.3	0.91	34.75	1.09	41.87	1.06	10.12	1.55	3.1
	ma	3.72	7.1	4.63	9.0	1.34	28.85	1.65	35.61	0.64	5.49	2.98	5.8
VF-145	im	3.33	6.2	4.19	7.9	1.31	33.67	1.60	40.80	0.82	8.28	2.59	4.9
	ma	5.43	10.4	6.98	13.3	1.83	26.39	2.30	33.16	0.38	3.11	4.68	8.9
H-1409	im	2.67	5.2	3.29	6.4	0.93	30.05	1.13	36.45	0.88	8.22	2.16	4.2
	ma	4.55	8.5	5.45	10.4	1.60	29.46	1.94	35.59	0.46	4.06	3.51	6.7
Kagome 70	im	3.47	7.9	4.27	9.7	1.43	34.59	1.71	41.65	0.73	7.35	2.55	5.8
	ma	5.59	13.2	6.79	16.1	2.02	29.90	2.47	36.55	0.36	3.23	4.32	10.3
L. S. D.	5%	0.52	1.34	0.71	1.53	0.27	3.44	0.29	4.15	0.12	1.14	0.54	1.2
	1%	0.71	1.82	0.96	2.21	0.36	4.66	0.39	5.62	0.17	1.54	0.72	1.6

z Maturity y Immature fruit x Mature fruit w Elements of four-element model

第2表、第3表はクリープ及び復元試験結果の品種間差を示したものである。

第2表において果実側部方向から荷重を加えた場合の変形量を熟果でみると、'Chico' 'Super Roma VF' が最も大きく、瞬間変形量 10.8, 10.6 mm, 全変形量 13.2, 13.9 mm であった。変形量の少ない品種は 'AT 70/24' (瞬間変形量 3.9 mm, 全変形量 4.9 mm), 'TE-30' 'ES-58' であった。

変形率は瞬間変形率、全変形率ともに 'Chico' 'Super Roma VF' が大きく、'TE-30' 'ES-58' 'H-1409' 'AT 70/24' に小さい傾向が認められた。

バネ定数 r_1 は 'AT 70/24' 'TE-30' 'ES-58' が大きい値を示した。これはさきの貫入抵抗力測定(3)においても、これらの品種が高い数値を示したことから考えて、 r_1 の大きい品種ほど荷重に対してひずみにくく、硬さは硬いと言える。すなわち河野らの報告(6)と同様な結果が得られた。

荷重除去後の回復状況を熟果でみると、瞬間回復率、全回復率ともに 'くりこま' 'AT 70/24' が大きく、'Chico' 'Super Roma VF' が小さい数値を示した。

瞬間回復量は各品種とも瞬間変形量に比べて少ない傾向を示した。したがって荷重除去後には永久に回復しない変形量が残る。そこで荷重除去5分後の残留変形率をみると、'Super Roma VF' 'Chico' が極端に大きく、'ES-58' 'AT 70/24' 'H-1409' 'TE-30' が小さかった。

粘性係数 η_3 の値は 'AT 70/24' が最も大きく、次いで 'ES-58' 'TE-30' であった。逆に 'Chico' 'Super Roma VF' の値は小さかった。すなわち η_3 の値が大き

い品種ほど荷重除去後に残る変形量は少ないと言える。

ある物質が弾性的であるか非弾性的であるかは、応力によって生じた弾性変形と永久変形の比できまる(10)。したがって η_3 の値が大きい 'AT 70/24' 'TE-30' 'ES-58' は弾性的な品種であると考えられる。

第2表及び第3表の結果から、荷重の加わる方向の差異による果実の変形状態を丸型及び偏円型品種について検討すると、変形量、回復量の値は側部が果頂部方向より幾分大きく、 r_1 , η_3 の数値は果頂部が大きい。すなわち果実は側部よりも果頂部が幾分硬く、弾性的挙動を示すものと考えられる。しかし荷重方向の差異にかかわらず変形率、回復率はともに 'TE-30' 'ES-58' が小さく、'KG-127' 'カゴメ70' 'くりこま' が大きい。また、 r_1 , η_3 の値は 'TE-30' 'ES-58' が大きい結果を示した。

このことから丸型及び偏円型品種におけるクリープ特性はある一方向の荷重下における測定値をもって代表されるようにも考えられる。

(2) 果実の形態的性質と変形

果実の形状、果実重、体積、比重及び子室数とクリープ試験結果の関係を示したのが第4表である。

果形指数と変形率、回復率との間に相関関係は認められず、果実の形状からみた静圧荷重に対する変形量の相違は確認できなかった。

果実重、体積、比重及び子室数と変形率との関係をみると、それぞれの間に負の相関関係が認められた。しかし果実重、体積、比重及び子室数と回復率との間に相関関係は存在しなかった。また、これらの形態的性質の調査項目と r_1 , η_3 の間に相関関係を認めることができな

Table 4. Correlations between some physical properties and creep characters of fruit in all cultivars tested (Mature fruit, Flank).

	I. D. M	T. D. M	I. R. M	T. R. M	Elements ²		R. D. M
					η_1	η_2	
Fruit shape ³	-0.530	-0.527	0.297	0.297	-0.184	-0.164	-0.505
Weight	-0.700*	-0.686*	0.233	0.263	0.148	0.110	-0.609*
Volume	-0.643*	-0.625*	0.141	0.180	0.095	0.045	-0.539
Specific weight	-0.848***	-0.852***	0.564	0.570	0.348	0.362	-0.822***
Locule ⁴	-0.715*	-0.702*	0.305	0.332	0.126	0.105	-0.642*

I. D. M: Instantaneous deformation modulus

T. D. M: Total deformation modulus

I. R. M: Instantaneous recovery modulus

T. R. M: Total recovery modulus

R. D. M: Residual deformation modulus

² Elements of four-element model

³ Fruit shape index = $\frac{\text{Diameter}}{\text{Length}}$

⁴ Number of locules

*, *** Significant at 5% and 0.1% level, respectively.

Table 5. Correlations between Hunter a/b ratio and creep characters of fruit in each cultivar (Flank).

Cultivar	I. D. M	T. D. M	I. R. M	T. R. M	Elements ²		R. D. M
					r_1	η_1	
Chico	0.836***	0.897***	-0.918***	-0.917***	-0.841***	-0.833***	0.908***
Super Roma VF	0.825***	0.826***	-0.939***	-0.935***	-0.858***	-0.883***	0.859***
San Marzano	0.920***	0.908***	-0.887***	-0.896***	-0.869***	-0.872***	0.940***
AT 70/24	0.792***	0.824***	-0.843***	-0.833***	-0.724***	-0.752***	0.875***
Kurikoma	0.904***	0.904***	-0.689***	-0.833***	-0.773***	-0.773***	0.915***
TE-30	0.703***	0.722***	-0.827***	-0.803***	-0.752***	-0.746***	0.751***
KG-127	0.667***	0.612***	-0.589**	-0.596**	-0.787***	-0.780***	0.597**
ES-58	0.815***	0.791***	-0.786***	-0.828***	-0.698***	-0.670***	0.816***
VF-145	0.842***	0.848***	-0.907***	-0.892***	-0.810***	-0.832***	0.857***
H-1409	0.745***	0.984***	-0.781***	-0.807***	-0.864***	-0.847***	0.898***
Kagome 70	0.796***	0.802***	-0.825***	-0.829***	-0.815***	-0.803***	0.991***

I. D. M : Instantaneous deformation modulus

T. D. M : Total deformation modulus

I. R. M : Instantaneous recovery modulus

T. R. M : Total recovery modulus

R. D. M : Residual deformation modulus

² Elements of four-element model

*, ** , *** Significant at 1% and 0.1% level, respectively.

Table 6. Correlations between Hunter a/b ratio and creep characters of fruit in each cultivar (Top).

Cultivar	I. D. M	T. D. M	I. R. M	T. R. M	Elements ²		R. D. M
					r_1	η_3	
Kurikoma	0.904***	0.908***	-0.257	-0.239	-0.756***	-0.706***	0.818***
TE-30	0.730***	0.745***	-0.843***	-0.788***	-0.787***	-0.794***	0.775***
KG-127	0.854***	0.862***	-0.547**	-0.559**	-0.843***	-0.821***	0.828***
ES-58	0.848***	0.912***	-0.673***	-0.665***	-0.829***	-0.860***	0.922***
VF-145	0.888***	0.882***	-0.846***	-0.829***	-0.806***	-0.781***	0.885***
H-1409	0.904***	0.901***	-0.418*	-0.396	-0.846***	-0.809***	0.853***
Kagome 70	0.839***	0.829***	-0.759***	-0.716***	-0.748***	-0.746***	0.815***

I. D. M : Instantaneous deformation modulus

T. D. M : Total deformation modulus

I. R. M : Instantaneous recovery modulus

T. R. M : Total recovery modulus

R. D. M : Residual deformation modulus

² Elements of four-element model

*, **, *** Significant at 5%, 1%, and 0.1% level, respectively.

かった。

これらのことから果実の形態的性質とクリープ特性との間に明確な関係を把握することはできなかった。しかし静圧荷重下における果実の変形率は子室数が多く、果実の大きい、比重の大きいものほど小さいと言える。したがって子室数が少なく、比重の小さい‘Chico’ ‘Super Roma VF’ の変形が大きく、比重の大きい ‘ES-58’ ‘TE-30’ ‘AT 70/24’ などに変形量の少ないことが理解される。

(3) 果実成熟度の差異と変形

果実の色調とクリープ試験結果との関係から、成熟度

の差異による果実の変形状態を第3図、第5表及び第6表に示した。

第3図は ‘くりこまに’ おける熟度区分別のクリープ曲線を示したものである。

果実が成熟するに伴い瞬間変形量、全変形量は順次高く推移した。なお、図示は省略したが、このような傾向は供試した全品種において確認された。すなわち第5表、第6表に示したように、熟度と変形率との関係は瞬間変形率、全変形率ともに0.1%水準下で正の相関関係にあった。また、熟度と r_1 との間には負の相関関係が認められた。

Fig. 3. Creep and recovery curves of the fruits in different stages of maturity (Flank).

このことは果実が成熟に伴い、漸次軟化することを意味しており、前報の貫入抵抗力測定(3)と同様な結果が得られた。

荷重除去後の変形回復状況をみると、熟度と回復率及び η_3 との間に高い負の相関関係が認められた。したがって残留変形率は全供試品種とも、熟度との間に高い正の相関関係があった。

これは果実が成熟に伴い、漸次回復率は小さくなり、ひいては弾性的挙動の低下することを意味している。しかし荷重方向果頂部の実験結果において‘くりこま’‘H-1409’など、成熟に伴う回復率低下の傾向が明確でない品種も存在していた。したがってさらに詳細な調査が必要であろう。

2. 荷重の大きさ、荷重時間と果実の変形量

荷重の大きさ別にみた荷重時間と変形率との関係から第4図に示すような一次の回帰直線が得られた。

果実の変形率は各品種とも、荷重の大きさにかかわらず、荷重時間が長くなるほど増大した。すなわちクリープ現象が認められた。なお、変形率は荷重の大きいほど高い位置を推移し、時間に対する直線の勾配は急であった。

荷重の大きさに対する変形状況を供試品種間でみると、‘Chico’‘Super Roma VF’‘San Marzano’‘くりこま’‘KG-127’などの変形率が大きい傾向を示した。なお、‘Chico’‘Super Roma VF’‘San Marzano’においては荷重方向が側部であったことも幾分影響しているものと考えられる。

変形率の小さい品種は‘ES-58’‘TE-30’であり、荷重時間との直線勾配も緩慢であった。また、‘AT 70/24’は荷重方向が側部であったにもかかわらず、変形率は比

較的に低く推移した。

各荷重における裂開損傷の発生した荷重時間をみると、‘KG-127’‘くりこま’‘H-1409’が比較的早く裂開損傷に達した。

荷重を加えた直後、瞬時に裂開した品種及び荷重の大きさは‘San Marzano’が2.0 kg以上、‘KG-127’‘Super Roma VF’‘H-1409’が2.5 kg以上であった。なお、裂開損傷発生の低い品種は‘ES-58’‘TE-30’‘AT 70/24’であった。すなわち本実験の最高荷重(4.0 kg/個)を加えた場合の裂開損傷発生の荷重時間は‘ES-58’で50.5時間、‘TE-30’で32.7時間、‘AT 70/24’で2.0時間であった。

これらの結果から、さきのクリープ試験結果において弾性的品種であろうと考えられた‘ES-58’‘TE-30’‘AT 70/24’が静圧荷重に対する抵抗性の高い品種と見受けられた。

3. バラ積みによる堆積厚さと果実の損傷

バラ積み堆積処理による果実の損傷程度を第5図、第6図に示した。

第5図は現在貯蔵、輸送に使用されているプラスチック・コンテナを用い、20 kgの果実を充填し、24時間放置した後の調査結果である。

充填果実の堆積厚さは各品種22.0~25.0 cmであり、品種間に顕著な差は認められなかった。

損傷損度は供試品種のなかで‘H-1409’が最も大きく、平均損傷指数値は3~4を示した。これは内部組織が一部破壊された押し傷の状態である。しかしその損傷程度の変異は大きく、なかには果皮に裂傷の及ぶ果実も認められた。

‘TE-30’の損傷程度は比較的低い傾向を示した。なお、その他の品種では全般に指数値2~3を示し、顕著な差は認められなかった。

荷重方向の差から損傷の程度をみると、一部その傾向を示さない品種はみられるものの、一般に果頂部よりも果実側部方向からの荷重に対して、損傷は大きい傾向がみられた。また、さきのクリープ試験においても、果実は側部よりも果頂部が幾分硬いという結果を示した。これは荷重方向が果頂部は果軸の方向、側部は果軸に対して直角の方向であることから考え、果実の内部構造に起因するものであると思われる。

第6図は堆積厚さ別の損傷程度を示したものである。各品種ともに堆積厚さが厚くなるほど、損傷指数は高い値を示した。

品種別に比較すると‘H-1409’が最も高い損傷指数値を示した。また、その損傷程度の変異も大きかった。次

Fig. 4. Relationship of the degree of fruit deformation to the magnitude of load and to the loaded time in each cultivar.

-----: Limiting deformation modulus

La: Laceration in a moment

(): Loaded time beyond which the fruits were lacerated.

Fig. 5. Damage index of fruit after heaping practice with container for 24 hours.

—○—: Load from the top of the fruit
--○--: Load from the flank of the fruit

Fig. 6. Relationship between heaping height and damage index in each cultivar.

(): Sinking rate of heaping height after heaping practice for 24 hours.

いで「カゴメ 70」の損傷程度が幾分大きい傾向にあった。

堆積厚さ 100 cm において、24 時間堆積後の沈下率は「H-1409」が 13.0% を示し、供試品種中では最も大きかった。なお、「TE-30」の沈下率は 5.0% にすぎなかった。

これらの結果は、前述の試験結果からも認められるように「H-1409」の静圧荷重抵抗性は低く、「TE-30」における抵抗性の高いことを示唆している。

考 察

一般に固体材料はすべてある応力限度以下、ある観察時間内では十分な精度をもって弾性体とみなされる(11)。

静圧荷重下における加工用トマト果実の挙動について考えると、果実は荷重によって瞬間的に変形してしまわず、第 2 図の曲線にみられるような変形速度を保つ。そ

して荷重を取り除いたとき、変形は完全に元に戻ることはなく、永久変形を残す。これは粘弾性体のうち第 1 図に示すような 4 要素模型のクリープ現象に酷似した。このような傾向は河野ら(6)も認めている。また、石橋ら(1)は生食トマトで、Mohsenin ら(9)はリンゴで、中馬ら(12)は温州ミカンで、小島らはリンゴ(7)、キュウリ(8)でも同様な傾向を認めている。

クリープ試験結果から、供試品種では「AT 70/24」「TE-30」「ES-58」が静圧荷重に対する変形率は小さく、 r_1 は大きい値を示した。また、 η_3 値が大きく、残留変形率は著しく小さかった。すなわちこれらの品種の果実は硬く、さらに弾性的であろうと考えられた。

なお、さきに河野ら(6)は η_3 の大きい果実ほど耐振動性が高いと報告した。これは果実の弾性によるものと理解される。

静圧荷重に対する抵抗性について、果実の形態的性質との関係から考察すると、子室数が多く、空洞の少ない、比重の重い「TE-30」「ES-58」などの荷重に対する変形量は少なかった。すなわち果実の構造からみて、中果皮が厚く、胎座の発達が良く、子室に空洞がなく、ゼラチン様の内容物で十分に満たされている果実ほど、概して変形量は少ないと言える。

成熟に伴って果実の硬さは漸次柔らかくなるのが既に明らかにされている(3, 5)。本実験でも同様な結果が得られた。また、成熟に伴い η_3 の値は小さくなり、変形回復率も順次小さくなる。すなわち果実は熟果ほど弾性的挙動が劣るものと考えられる。

荷重の大きさ別にみた負荷時間と果実変形量の関係から、果実の裂開損傷発生状況をみると、「ES-58」「TE-30」「AT 70/24」の発生は少なく、「H-1409」「KG-127」「くりこま」に多い傾向が認められた。すなわち果実が硬く、弾性的挙動を示す品種ほど裂開損傷発生が少ないことが確認される。

第 4 図に示した直線の関係式から、荷重の大きさ別に果実の裂開時点における変形率を算出し、その平均値を限界変形率と定めた。各品種別の限界変形率は第 4 図中に破線で示した。

限界変形率は「H-1409」が著しく小さい値を示し、7.5% 程度の変形率で裂開損傷に達するものと考えられる。したがって供試品種中では最も静圧荷重に対する抵抗性の低い品種と言える。また、限界変形率の大きい品種は「AT 70/24」「Super Roma VF」「TE-30」「Chico」であった。これを「AT 70/24」「TE-30」が静圧荷重に対する変形量の少ない品種であったことと併せ考えると、この「AT 70/24」「TE-30」における静圧荷重抵抗性は非

常に高いと推察される。

次にこれらの実験結果から果実をバラ積みする場合の安全な堆積厚さが問題となる。

堆積した果実の自重が下層にかかる荷重について、静水力学的に考察すると、次式で示される(11, 13)。

堆積による圧力は容器の形状及び大きさには無関係であり、その厚さと単位体積の重さの積に等しい。いま、堆積下層の果実1個に加わる荷重を L (kg)、最下層果実上までの堆積厚さ h (cm) とすると、①式が成り立つ。ここに r は単位体積の重さであり、果実1個の平均重量 W (kg)、果実の平均直径 D (cm) とすれば②となる。②を①に代入し③を導く。③の移項式③'に最下層果実の平均径を加え、バラ積み堆積厚さ H (cm) は④式となる。

$$L = h \cdot r \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$r = \frac{W}{D} \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$L = h \cdot \frac{W}{D} \quad \cdots \cdots \textcircled{3}$$

$$h = \frac{L \cdot D}{W} \quad \cdots \cdots \textcircled{3'}$$

$$H = \frac{L \cdot D}{W} + D \quad \cdots \cdots \textcircled{4}$$

ここに堆積時間を 20~24 時間と仮定し、第4図から果実の裂開荷重を読みとり、上式によって果実の裂開しない堆積厚さの許容限界を試算すると、第7表に示すように推定される。

Table 7. The permissible limit of heaping height.

Cultivar	Load ²	Diameter	Weight	Heaping height
	kg	cm	kg	cm
Chico	1.0—1.5	4.39	0.054	85.69—126.33
Super Roma VF	1.5	4.23	0.054	121.73
San Marzano	1.5	3.81	0.047	125.41
AT 70/24	3.0—3.5	3.68	0.055	202.74—235.92
Kurikoma	1.0	4.96	0.064	82.46
TE-30	3.5	5.86	0.107	197.54
KG-127	0.5	4.38	0.051	47.32
ES-58	4.0	6.19	0.110	231.28
VF-145	2.0—2.5	6.06	0.098	129.73—160.65
H-1409	0.5	6.49	0.126	32.24
Kagome 70	2.0	5.21	0.066	163.09

² the magnitude of load beyond which the fruit was lacerated

堆積許容限界厚さはさきの実験結果において、弾性的な挙動を示した 'AT 70/24' 'ES-58' 'TE-30' が著しく大きい値を示した。すなわちこの結果からも、これらの

品種における静圧荷重抵抗性の非常に高いことが立証される。一方、'H-1409' は 32.2 cm、'KG-127' は 47.3 cm の許容限界厚さであり、これらの抵抗性は著しく低いものと考えられる。なお、この堆積厚さ許容限界の推定結果は実際にコンテナを用い、あるいは層別に 24 時間堆積処理した後の果実損傷度の調査結果からも同様な傾向を伺うことができた。

以上の試験結果から、果実貯蔵法の合理化、すなわち大型コンテナ、バラ積み法などの導入を考える上で、滞荷の回避は当然のことながら、今後、硬くて、弾性的な果実を有する品種の開発、育成が望まれる。本実験では 'AT 70/24' 'TE-30' 'ES-58' などの品種が育種素材としての有用性を具備しているように思われた。なお、果実の硬さは果皮強度、果肉硬度及び果肉率と密接な関係が認められている(未発表, 5)。したがって果肉率は子室数、隔壁の厚さなども当然関連している。しかし本実験結果では果形指数、果重、体積、比重及び子室数などの形質と弾性との間に明確な関係を把握することができなかった。さらに弾性に関与する果実形質について解析し、育種目標を明確にしてゆく必要がある。

今回、果実の静圧荷重抵抗性から堆積による貯蔵の適応性を考察した。しかし収穫された果実が製造工程へ移送される過程で果実は静圧荷重だけではなく、同時に動荷重をも受けるのが現状である。今後、収穫後の果実取扱法について検討する上で、さらに動荷重、とくに衝撃荷重下における果実の挙動について究明する必要がある。

摘 要

加工用トマトにおける収穫後の果実取扱法について検討するため、果実の静圧荷重抵抗性と堆積厚さの許容限界について試験を行った。

1. 一定の静圧荷重下における加工用トマトの挙動は粘弾性体のうち、4要素模型のクリープ現象に酷似した。
2. クリープ試験結果から、'AT 70/24' 'TE-30' 'ES-58' の果実は硬く、しかも弾性的挙動を示す品種と考えられた。

果実のクリープ特性と色調(a/b値)との間には、0.1%水準で高い相関関係があり、果実の硬さ及び弾性的挙動は成熟に伴い漸次低下することが確認された。

3. 荷重の大きさ、負荷時間と果実変形量の関係から、果実の裂開損傷の発生は 'ES-58' 'TE-30' 'AT 70/24' で少なく、'H-1409' 'KG-127' 'くりこま' に多い傾向が認められた。

裂開損傷に達する限界の変形率は 'AT 70/24' が最も大きく、'H-1409' が最も小さい値を示した。

4. 堆積厚さと果実の損傷程度との関係は堆積厚さが厚くなるほど、損傷が大きかった。

供試品種における果実損傷の発生程度は‘H-1409’が最も大きく、‘TE-30’が小さい結果を示した。

堆積許容限界厚さは‘AT 70/24’‘ES-58’‘TE-30’が大きい値を示し、‘H-1409’‘KG-127’が小さかった。

以上の結果から、果実が硬く、さらに弾性的挙動に富む品種ほど、静圧荷重に対する抵抗性は高いものと考えられた。なお、供試品種中では‘AT 70/24’‘TE-30’‘ES-58’などが、抵抗性品種育成のための育種素材を具備しているように思われた。

引用文献

1. 石橋真人・小島孝之, 1970. 農産食品の力学的性質に関する研究(第2報). トマトの生育, 成熟および貯蔵中における機械的強度変化. 農機誌. 32: 59—64.
2. 伊藤憲弘・寺田俊郎, 1977. 加工用トマト果実の物理的性質に関する研究. 果実の色調について. 島根大農研報. 11: 5—11.
3. 伊藤憲弘・寺田俊郎・高橋亮正, 1979. 加工用トマト果実の物理的性質に関する研究. 果実の形態的性質と貫入抵抗力について. 島根大農研報. 13: 12—20.
4. 伊藤憲弘・寺田俊郎, 1981. 加工用トマト果実の物理的性質に関する研究. 果実の落下衝撃抵抗性について. 園学雑. 49: 592—600.
5. 上村昭二・吉川宏昭・伊藤喜三男, 1973. トマト果実の堅さ性に関する育種学的研究. 第1報. 果

実の堅さの測定法と堅さを支配する果実形質. 園試報告. C8: 13—25.

6. 河野澄夫・岩元睦夫・早川 昭・二宮英治・小林一夫・木村 進, 1980. 加工用トマトの品種別輸送耐性について. 食工誌. 27: 143—148.
7. 小島孝之・石橋真人, 1970. 農産食品の力学的性質に関する研究(第3報). リンゴ, ナシおよびモモの収穫後の強度変化. 農機誌. 32: 145—149.
8. 小島孝之, 1975. 園芸生産物の物性に関する研究(第1報). 久留米H型キュウリの形状および力学的性質. 農機誌. 36: 549—554.
9. MOHSENIN, N. N. and GÖHLICH, H. 1962. Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. J. Agric. Engng. Res. 7: 200—315.
10. 中川鶴太郎・神戸博太郎, 1959. レオロジー. pp. 271, 391—392. みすず書房. 東京.
11. 日本機械学会編, 1968. 機械工学便覧. 第4編. p. 7, 第8編. p. 4. 日本機械学会. 東京.
12. 中馬 豊・岩元睦夫・志賀 徹, 1971. 温州みかんの流通技術改善に関する研究(第3報). 早生温州の力学的性質とバラ輸送問題への適応. 農機誌. 33: 304—311.
13. 山下重良・森本純平・宇田 弘, 1979. 温州ミカンの選果荷造過程における損傷要因と損傷防止に関する研究(第4報). 果実に対する静圧荷重と堆積厚さの許容限界. 園学雑. 48: 367—373.
14. 全国トマト工業会, 1971. 加工原料用トマトの検査体制確立に関する実態調査. pp. 77—79.