

青果物の物性に関する研究

—— トマト果梗の振り強さ ——

岩尾 俊男*・藤浦 建史*・竹山 光一*

Studies of Torsional Resistance of a Tomato Peduncle

Toshio IWAO, Tateshi FUJIURA and Koichi TAKEYAMA

The objective of the work reported here was to study on the subject of detaching torsional resistance among some properties (tension, torsion and cutting) taking part in detaching of tomatoes in the case of harvesting operation. And as the factors to represent the detaching torsional resistance, the torsional moment and the total twisting angle of tomato peduncle was used in order to facilitate for study. The kinds of tomatoes used were Chico and H1370. As the main experimental results, the maximum torsional moment (T_{max}) and the total twisting angle (ϕ_{T0}) were considerably influenced by the kinds of tomatoes, and those values of H1370 were slightly larger than those of Chico. The values of a/b never had a really large influence upon the values of T_{max} and ϕ_{T0} , but the weight of tomatoes was proportional to the values of T_{max} and ϕ_{T0} . It is clear that it is necessary to give a rotary movement with about 550 degree in order to harvest tomatoes.

I. 緒言

近年果実等の収穫機としてロボットによる収穫に関する研究が、実用化に向けて脚光を浴び、注目の集るところとなっている。

しかし、青果物等の収穫機の開発研究には、収穫に当り果実を傷めず、敏速に収穫するためにも、果実の物性を明らかにすることは不可欠なことである。

特に、木より果実を引き離すために、果実の収穫に当り、果梗より果実を引張り、振り及び切断作用が伴うものである。

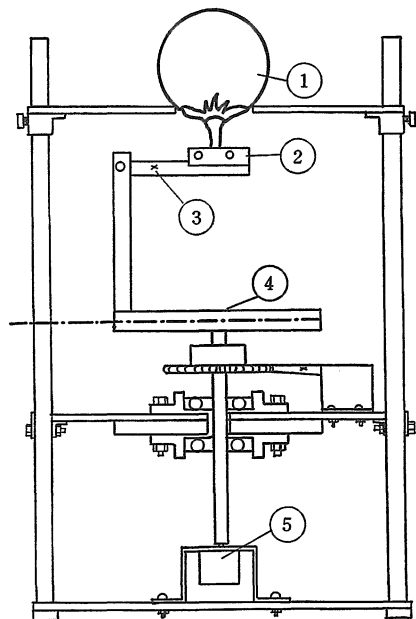
これらのことから、本研究は、トマトの振り抵抗力について、明らかにすることを目的とした。

したがって、この研究は、トマトの果実重量、果梗の形状、振り角度、熟度及び品種と果梗の振り脱離抵抗力との関係を実験的に調べたものである。

II. 実験方法

1. 実験装置

第1図は、果梗の振り実験装置を示す。実験装置は、



第1図 振り抵抗測定装置

- ① 供試トマト
- ② 果梗固定部
- ③ ストレインゲージ
- ④ 振り回転板
- ⑤ ポテンションメータ

* 農林システム学講座

果梗掴み部、振り部、振り角測定部より成る。振りの測定は、果実①を取付台に果梗を下に置き、果梗は回転円板④に固定の果梗掴み部②で固定される。果梗の振りは、円板に巻いたひもを巻き取りにより、果梗取付部が回転し振りが与えられる。振りモーメントは果梗取付アームに貼ったストレインゲージにより、一方、振り角はポテンショメータ⑤により測定される。円板の回転角速度は0.5~1.5 rad/sec である。

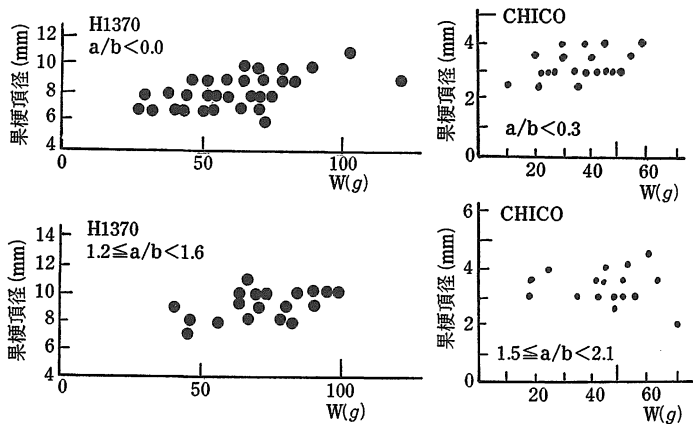
また、表色の測定に用いた測色計は、測色色差計 ND-K 5 型（日本電色）である。

2. 供試材料

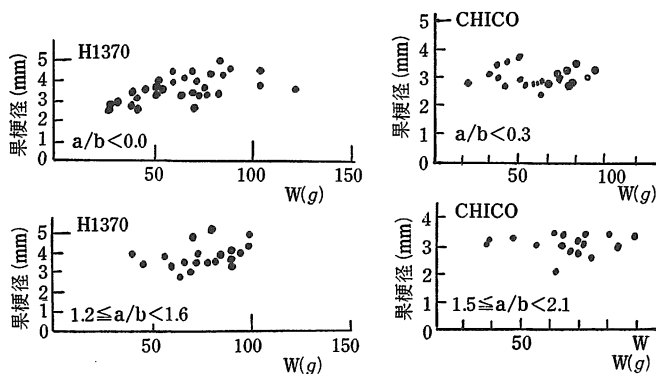
供試トマトは、丸形 H 1370 と細長形の CHICO である。トマトは緑熟期から完熟期までのものである。従って、熟度の基準として果実の表色を用い、測色表示には、Hunter の L, a, b 表示に従い、一般によく用いられる a/b 値を用いた。¹⁾²⁾

III. 実験結果及び考察

1. 果梗直径と果実重量



第2図 果梗頂径と果実重量 (W) との関係



第3図 果梗径と果実重量 (W) との関係

第2図は果梗頂径と果実重量との関係である。また、第3図は果梗径と果実重量との関係である。

果梗頂径と果実重量との関係において、丸形、細長種共に熟度に関係なく、相関関係のあることが認められた。果梗径は果実重量の増加と共に大となる傾向がある。

また、果梗径と果実重量との関係においても果梗頂径の場合と同様に果実重量の増加と共に漸次増大の傾向となる。これらのことから、果実の重量を支持するために、果梗径が大きくなったものと考えられるが、果梗の間節長と重量の間には相関が認められなかった。

この結果より、果実重量は、果梗頂径、果梗径に関係があることから、トマトの振れ抵抗力を調べる場合の一つの基準になり得るものと考えた。

2. トマトの振り抵抗

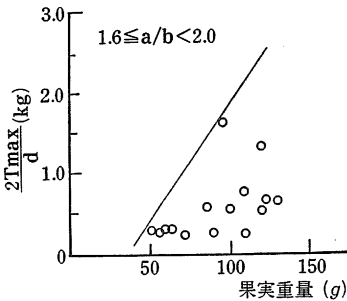
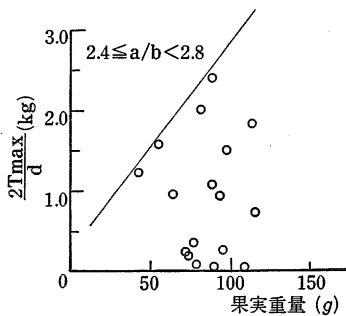
最大振りモーメントと全振り角は、振りモーメント-時間 ($T-t$) 曲線、振れ角-時間 ($\phi-t$) 曲線より求めた値である。また外縁振り応力-振れ角 ($\tau_1-\phi$) 曲線は、 $T-t$, $\phi-t$ 曲線より得たものである。

1) 最大果実円周脱離力

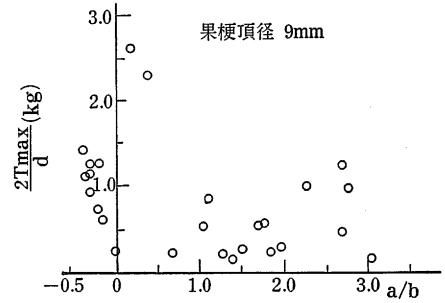
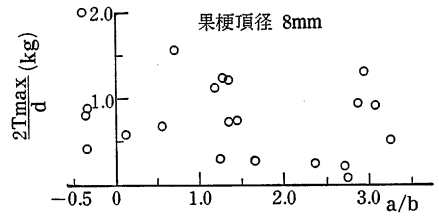
ここに、最大果実円周脱離力とは、最大振りモーメントを果実の半径で除した値である。すなわち、果実の接線方向に加えた力により、果梗と果実が脱離するに要する抵抗の最大値である。

第4図は、最大果実円周脱離力 (F_d) と果重との関係である。 a/b 値の増大、すなわち重量の増加と共に F_d の値は増大の傾向となる。

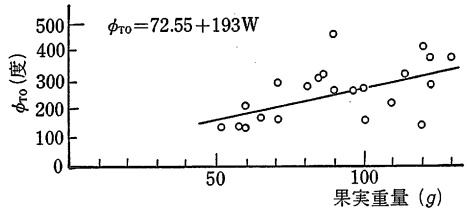
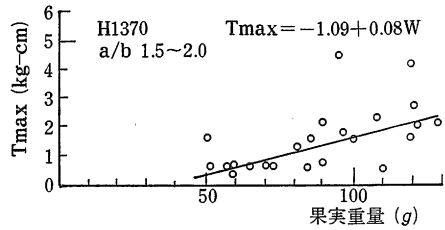
一般に、果実重量が大きくなれば、果梗径も大となり、振り抵抗力も増大する筈であるが、完熟に近いトマトにおいては、 a/b 値が2.4~2.8の範囲で、果実重量が100gのものについても、 F_d は0に近い値から2.5kg程度



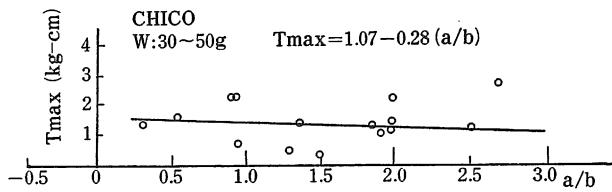
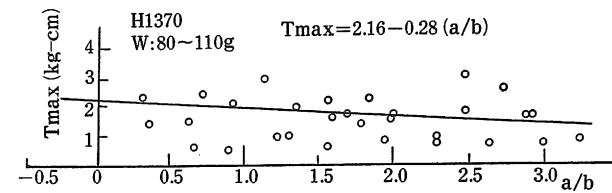
第4図 最大果実円周脱離力と果実重量との関係



第5図 最大果実円周脱離力と a/b との関係



第6図 果実重量と T_{max} , ϕ_{ro} との関係



第7図 a/b と T_{max} との関係

の範囲に及ぶことは、それぞれの果梗の組織の特性に依存するであろうと考える。

第5図は、 F_a と a/b 値との関係である。 F_a は a/b 値の変化、すなわち、熟度の変化の影響はほとんど受けないものと考えられる。 F_a の値は、0.05~2.65 kg の範囲にある。

これらの結果から、トマト果実の収穫に際して、果実の接線方向に 3 kg 程度の力を加えることにより、果実と果梗の脱離が行なえることが推定される。

2) 最大振りモーメント (T_{max}) と全振り角 (ϕ_{ro})

全振り角 (ϕ_{ro}) は、果実の振り始めから脱離するまでの全振り角である。

第6図は、H 1370 について、 a/b 値が1.5~2.0の範囲の果実重量と T_{max} , ϕ_{ro} との関係である。

T_{max} と ϕ_{ro} は、重量に比例し増加の傾向がある。これは、重量が大きい場合には、果梗頂径も大きいことによるものと考えられる。その関係は、 $T_{max} = -1.09 + 0.08W$, $\phi_{ro} = 72.55 + 193W$ で表わされる。ここに W は果実重量である。

第7, 8図は、H 1370 種 (果実重量 80~100 g) と CHICO (果実重量 30~50 g) 別の a/b 値と T_{max} , ϕ_{ro} との関係である。

T_{max} は、両品種共に a/b の増加と共に多少減少の傾向となり、その傾向は、ほぼ直線的関係で示される。H 1370 では、 $T_{max} = 2.16 - 0.28(a/b)$ であり、 T_{max} が 0.5~4 kg·cm の範囲にある。一方、CHICO では、 $T_{max} = 1.70 - 0.28(a/b)$ となる。その範囲は 0.2~3.0 kg·cm である。すなわち、 T_{max} と a/b との関係では、 T_{max} は a/b 値による大きな変化のないことが明らかとなった。また、品種別の適熟期 (a/b) 1.5~2.0について、両品種を比較すると、H 1370 は、1.7 kg·cm、CHICO は 1.3 kg·cm となり、CHICO の方が

小さい低い値で脱離することが明らかである。すなわち、 T_{max} の値は、 a/b 値と共に品種により影響されるものと考えられる。

ϕ_{ro} は、H 1370 では、 ϕ_{ro} が50~500度の範囲にあり、 a/b 値の増加に対してもほぼ一定の値となる。その関係は、 $\phi_{ro} = 269.1 - 1.68(a/b)$ で表わされる。

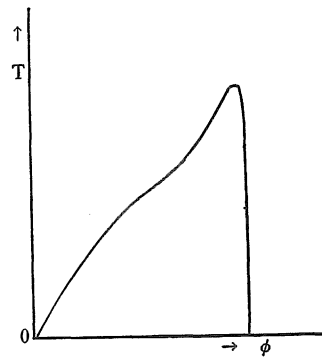
一方、CHICO では、 ϕ_{ro} が30~250度の範囲にあり、その関係は、 $\phi_{ro} = 145.0 + 8.6(a/b)$ として表わされる。 ϕ_{ro} は a/b の値の増加に従い、僅かに増加の傾向となる。また、品種別の適熟期 (a/b) 1.5~2.0における ϕ_{ro} の値では、H 1370 は270度、CHICO は160度であり、110度の振り角度差が認められた。

これらのことから、品種による振り抵抗力、脱離振り角度の異なることが明らかとなった。

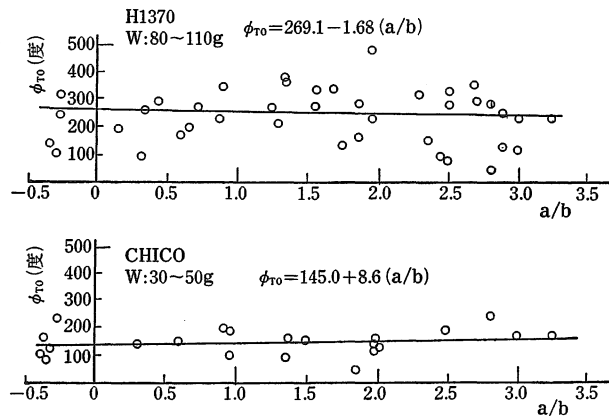
3) 果梗頂外縁振り応力

トマトの果実と果梗を振る場合に、果梗にかかる外周応力を知ることは、収穫操作を前提にした場合のトマトの物性を知る上で必要なことである。

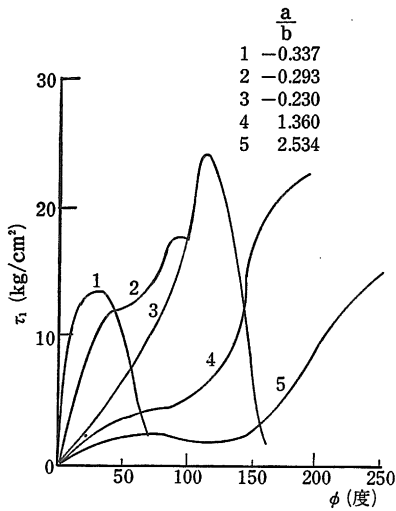
一般に、トマトの果実を振った場合の振りモーメント



第9図 T- ϕ 曲線の1例 (トマト)



第8図 a/b と ϕ_{ro} との関係



第10図 $\tau_1-\phi$ 曲線

(T) と捩れ角 (ϕ) との関係は、第9図に示す曲線的関係となる。

いま、フックの法則に従わない軸の外縁捩り応力は、 $T-\phi$ 曲線より求められる。いま、捩り応力を τ_1 、剪断歪を γ 、外縁剪断歪を γ_1 とすれば、

$$T = \frac{2\pi}{\phi^3} \int_0^{\gamma_1} \tau r^2 d\gamma = \frac{2\pi}{\phi^3} \int_0^{\gamma_1} f(\gamma) r^2 d\gamma \quad (1)$$

ここに、 T 及び ϕ を外縁剪断歪 γ_1 の関数として、微分すると、

$$\tau_1 \gamma_1^2 = \frac{1}{2\pi} \left(3\phi^2 T + \phi^3 \frac{dT}{d\phi} \right) \frac{d\phi}{d\gamma_1} \quad (2)$$

一方、外縁剪断歪 γ_1 を軸の半径 r と捩れ角 ϕ を用いて表し、②式に代入すると

$$\tau_1 r^2 \phi^2 = \frac{1}{2\pi r} \left(3\phi^2 T + \phi^3 \frac{dT}{d\phi} \right)$$

これより外縁捩り応力 τ_1 は、

$$\tau_1 = \frac{1}{2\pi r^3} \left(3T + \phi \frac{dT}{d\phi} \right) \quad (3)$$

③式より、与えられた $T-\phi$ 曲線より T 及び $dT/d\phi$

を求めることにより、 T に対する丸軸の外縁捩り応力 τ_1 を求めることができる。

第10図は、熟度別の τ_1 と ϕ との関係を示す。この場合は、果実重量が 80~89 g の範囲の H 1370 である。

最大捩り応力は a/b が -0.34, -0.29, -0.23, 1.35, 2.53 ではそれぞれ 13.7, 18.0, 23.2, 22.7, 15.5 kg/cm² となる。

一方、立ち上り角は、 a/b 値が増大するに従い漸次減少の傾向となる。これは、トマトの熟度の進行と共に、果梗頂の外周が柔軟になることによるものであるだろう。

IV. 結 言

この研究は、トマトを収穫する場合に、引張、捩り、切断等による収穫操作の中で、捩り操作による収穫を前提とした場合のトマトの捩り抵抗力について、捩りモーメント、捩り角の点から、丸形 H 1370 と細長形 CHICO の2品種について実験的に調べたものである。

実験結果の主なものは次の通りである。

(1) 果実の重量と果梗径、果梗頂径とは相関関係が認められ、果実の増大と共にそれぞれが増大の傾向となる。

(2) 最大捩りモーメント (T_{max}) は、品種により異なり、CHICO は H 1370 より小さい値を示す。また全捩り角 (ϕ_{ro}) についても同様の傾向となった。

(3) T_{max} と ϕ_{ro} は a/b 値との間に直線関係があり、果実の重量に比例することが明らかとなった。

(4) これらの結果から、当初予想した熟度の進行に伴う T_{max} , ϕ_{ro} の著しい減少は見られず、捩りにより果実を収穫するためには、30~550度の範囲の回転による捩りが必要であることが明らかとなった。

引用文献

1. 田原虎次他3名：農機誌30(3)：169-174, 1968.
2. 梅田重夫・毛利建太郎：農産物性研究(3)：69-100, 1987.
3. 日本機械学会材料力学部門委員会：材料力学上巻 日本機械学会 東京 1958, p. 122-126.