加工用トマト収穫機の開発研究

第3報 果実の離脱抵抗値と果房の固有振動数について[※]

有馬 博^{※※}

Studies on the Development of a Mechanical Harvester for Processing Tomato.

III. On the Fruit Detachment Force and the Natural Frequency of Cluster

Hiroshi ARIMA[†]

1. 緒 言

第1報に述べたとおり、加工用トマト果の収穫作業能率を向上させようとするれば折衷収穫法あるいは一挙収穫法を採用して多数の果実を短時間に果房から離脱させる操作または機構が必要となる。

加工用トマト果を機械的に強制離脱させる方法には、a；果実または果柄部へ機械装置の一部を直接接触させ、これらに外力を及ぼして離脱させる方法と、b；果実に直接接触することなく、枝や主こうへ繰り返し変位や少数回の急速かつ大きな変位を与え、その結果生ずる果実の運動慣性力や静止慣性力を利用して離脱させる方法とが考えられる。

慣行の選択手収穫はaの方法によるものであるが、この原理にもとづいたもので多数の果実を一斉に離脱しうるような装置は果菜のみならず果樹においてもまだ普及に至っていない。⁷⁾現在の加工用トマトの性状からすれば、この原理を採用することは困難であろうと推察される。

bに類する方法はすでに欧米の実用機に採用され水平に往復運動するタイン付きチェン、上下振動するバーコンベア、あるいは振動ふるい状の離脱装置として収穫機に組み込まれている。

⁴⁾⁵⁾ただし、これらによって離脱処理が行われ

る過程では、果実が装置の一部や枝あるいは他の果実と接触する機会が多いため、単に慣性力のみならず上記aの作用によって離脱しているものも含まれていると思われる。いずれにせよ、これら諸外国の装置は規模的にも性能的にも、わが国の栽培状況から予想される収穫機には適合しないと考えられる。

本報では、より小型の果実離脱装置を開発することを目的として果実の離脱抵抗値¹⁾を測定し、ついで果房の固有振動数を測定して二、三の考察を行った。

本稿を草するにあたり、京都大学農学部川村登教授に御教示、御校閲を賜った。また、主ここの曲げこわさ解析については信州大学農学部鳥山清美教授に御指導いただき、同学部高橋敏秋教授からは資料の提供と御助言をいただいた。記して謝意を表する。

2. 果実の離脱抵抗値

トマト果は一般に、へたと結節(joint)の双方に離層を形成する。近年、joint less または無離層果柄型³⁾と称される、結節の離層を退化させた品種が育成されつつあるが、わが国ではまだ試作の段階である。したがって果実を強制離脱させる場合には、へたと結節の両方

※ 昭和54年5月14日受理

※※ 信州大学農学部 蔬菜花卉研究室、長野県伊那郡局私書箱1号、〒396

† Faculty of Agr., Shinshu Univ., Ina-shi, Nagano-ken, 396

について検討する必要があるが、これらに作用させる外力は、引張荷重 (P)、曲げモーメント (M) およびトルク (T) の3種に大別されよう。

選択手収穫作業を観察すると、果実の離脱には以上のうち引張荷重と曲げモーメントが多く作用している。また、収穫機に組み込みが可能だと思われる二次元の振動あるいは引張による離脱機構においても引張荷重と曲げモーメントが重要であって、果房と果柄の構造上、トルクを作用させることは困難であると思われる。そこで以下に引張荷重と曲げモーメントによる果

実離脱について実験した。

1) 実験材料および方法

実験には信州大学農学部附属農場で栽培した早生だるま種とチコーⅢ種の果実を使用した。早生だるまは現在、最も普及度が高く、多くの実験において標準品種として用いられている round 果の品種であり、また、チコーⅢは pear type を代表する品種である。

第1表は両品種の完熟果 (熟度M1) と緑色果 (熟度G) の果柄部寸法等の測定結果であり、また第1図はその結果にもとづいて作製した早生だるま種の果柄部の平均的形狀の図示である。

第1表 供試果の果柄部の寸法等

(供試果数; 各30~35果)

品 種	熟 度	項 目	(1) へた〜結節 の 長 さ	(2) へた〜結節 の中間の径	(3) 結節〜主こ うの 長 さ	(4) 結節〜主こ うの中間の径	(5) 結節の直 径	(6) 結節の角度 (OJ)	(7) へたこん の 直 径	(8) 貫 入 抵 抗	果 重 (Wt)
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(度)	(mm)	(Kg _w /11φ)	(g)
早生だるま	緑色果	m	11.18	3.31	10.90	2.37	4.16	138.3	7.44	6.54	73.8
		SD	1.12	0.51	2.33	0.27	0.52	16.6	1.03	0.82	15.6
	完熟果	m	10.86	3.39	11.68	2.67	5.11	134.8	7.50	2.65	91.0
		SD	1.22	0.35	1.58	0.33	0.59	20.8	0.91	0.33	16.7
チコーⅢ	緑色果	m	10.92	2.75	12.10	2.15	3.67	120.2	3.78	7.20	51.7
		SD	0.70	0.33	1.19	0.26	0.46	21.4	0.54	0.80	16.7
	完熟果	m	10.29	2.70	14.09	2.37	4.05	120.14	4.34	2.27	68.4
		SD	0.85	0.38	2.08	0.38	0.44	24.44	0.49	0.43	16.2

注 1) (1)~(8)は第1図参照

2) m; 平均値、SD; 標準偏差

第1図 果柄部の平均的形狀(早生だるま熟果)

注1) (1)~(7)の呼称については第1表内に記載した。

(1) へたと結節の引張抵抗値; へたの引張抵抗値 (Pc) は強力なコイルバネをもつクランプによってへたと結節の間をはさみ、果柄を果軸方向に引張って測定した。また、結節の引張抵抗値 (PJ) は次の方法で測定した。トマトの果柄は結節部および結節とへたの間に曲り角 θ_J をもっている。そのため結節から遠い部分を引張の作用点とすると結節に曲げモーメントを生じて離脱する。そこで測定時には結節になるべく近い部分をクランプして引張るよう注意した。しかし、結節から5mm以内を確実に保持することは困難であり、負荷の増加中にへたの曲り角が大きくなるものがあった。

(2) へたの曲げモーメント抵抗値; へたの曲げモーメント抵抗値 (Mc) は第2図の方法で測定した。

第2図 へたの曲げモーメント抵抗値測定方法

へたと結節の間へ長さ40mm直径0.7mmの鋼製の針を果軸（Z軸）と直角に刺し、これにV

型のフックをかけて果軸と鋼針のいずれにも直角の方向（x方向）に引張荷重を与え、へたの離脱に要するへたの付着点(O)まわりの曲げモーメントを測定した。

以上の(1)および(2)の測定には2kg用と4kg用の手持型バネばかりを改造して使用し、これに測定材料を連結したのち引張荷重を約100gw/secずつ増加させ、それぞれの離脱抵抗値を求めた。

2) 実験結果および考察

(1) へたと結節の引張抵抗値

第2表は測定結果である。

第2表 へたと結節の引張抵抗値

（供試果数：各50果）

品種	熟度	項目	果重 (Wt)	へたの引張 抵抗値 (Pc)	結節の引張 抵抗値 (PJ)	へたの 曲り角 (θJ)	Pc/Wt	PJ/Wt	PJ/Pc
早 生 だ る ま	G	m	64.5	1550	1080	138	24.0	16.7	0.70
		SD	18.8	390	440	19			
	GR	m	70.1	1440	900	129	20.5	12.8	0.63
		SD	15.1	400	360	21			
	RG	m	79.0	1490	890	135	18.9	11.3	0.60
		SD	20.9	360	420	24			
	M ₂	m	88.2	1480	1000	124	16.8	11.3	0.68
		SD	19.5	300	460	21			
	M ₁	m	85.7	1460	980	132	17.0	11.4	0.67
		SD	20.4	290	380	20			
チ コ ー Ⅲ	G	m	36.6	1180	700	116	32.2	19.1	0.59
		SD	16.0	290	290	25			
	GR	m	54.4	1210	640	113	22.2	11.8	0.53
		SD	14.1	250	220	21			
	RG	m	54.6	1190	640	121	21.8	11.7	0.54
		SD	14.3	300	280	24			
	M ₂	m	63.2	1140	640	114	18.0	10.1	0.56
		SD	12.7	230	290	23			
	M ₁	m	70.0	1110	630	125	15.9	9.0	0.56
		SD	15.0	270	290	20			

注 1) 熟度の記号 G ←→ M₁
緑色果 完熟果

詳細は第1報に記載した。

早生だるま種のへたの引張抵抗値は1440～1550gwであったがチコーⅢ種では1110～1210gwで早生だるま種はチコーⅢ種の約1.3倍であった。

結節の引張抵抗値は早生だるま種が890～1080gw、チコーⅢ種が630～700gwで、これについても早生だるまの抵抗値が明らかに大きかった。ただし、先に述べたとおり測

定時のへたの曲り角 θ_J の増大によって引張のほかに曲げモーメントが作用したのも含まれていると考えられる。この結果、結節の引張抵抗値は真の値よりやや小さく求められたものと推察される。

熟度の進展にともなうへたの引張抵抗値 P_c と結節の引張抵抗値 P_J の低下は両品種とも予想より小さかった。伊藤ら³⁾ はへた離れ性の品種間差異とこれに関与する要因について詳細に実験し同様の結果を報告した。ただし、果重を W_t とし、Fluckの方法²⁾ に準じて P_c/W_t および P_J/W_t 比を求めれば、これらには明らかな熟度差が認められる。果実の慣性力を利用した離脱方法をとる場合にはこのことに注目すべきであるが、へたの引張抵抗値、結節の引張抵抗値、果重とも変異が大きいことから、これらの差によっても熟果のみを選択離脱させることは困難であろう。

両品種の各熟度ともへたの引張抵抗値が結節の引張抵抗値より明らかに大きいことは、へたや結線へ引張応力を生ずるような離脱方法においては果柄付着果が高率に現れることを示唆するものであろうと考えられた。

(2) へたの曲げモーメント

第3表はへたの曲げモーメント M_c の測定結果である。

へたの曲げモーメントは早生だるま種が330~380 $gw-cm$ 、チコーⅢ種が160~200 $gw-cm$ であった。両品種ともへたの中心Oから果柄と

第3表 へたの曲げモーメント抵抗値

(供試果数; 各50果)

品 種	熟 度	項 目	へたの曲げモーメント抵抗値
早生だるま	緑色果	m	($gw-cm$) 383
		$S D$	103
	完熟果	m	331
		$S D$	92
チコーⅢ	緑色果	m	198
		$S D$	55
	完熟果	m	160
		$S D$	51

主こう(梗)の付着点Hまでの直線距離は約20 mm (第1図)であるから、果柄のたわみや結節の折れを無視すればH点へ約200 gw の引張荷重を果軸と直角に与えることによって果柄を残すことなく果実を離脱させることが可能であろうと考えられた。

(3) 貫入抵抗値と、へたと結節の引張抵抗値およびへたの曲げモーメントの関係

第1表に実測値の一部を併記したとおり、供試果の貫入抵抗値は熟度の進展にともなって著しく低下した。第3図は離脱抵抗値の測定結果を熟度別および品種別に貫入抵抗値 R_p と関連させてプロットしたものである。

供試した2品種とも熟度がすすみ、貫入抵抗値が低下するにつれてへたや結節の引張抵抗値も減少する直線的な傾向がみられたがこれらの減少率は非常に小さかった。

第3図 熟度、貫入抵抗値と離脱抵抗値の関係

○ 早生だるま
● チコーⅢ

へたの曲げモーメント M_c は完熟果と緑色果のみについて測定したのでその他の熟度については不明であるがこれについてもその他とほぼ同様な直線回帰が得られるものと推定される。

以上の結果、へたや結節の引張抵抗値のみならずへたの曲げモーメントを利用しても熟果だけを選択的に離脱させる機構の開発は困難であろうと予想される。

K. Q. Stephenson は水平な振動ふるいの一端をピボット支持し、他端に水平往復振動を与えて果実を離脱させ、振幅 14 cm、振動数 2.5 Hz で熟果を選択離脱したが果房残存果が多かった⁶⁾ため、この機構は米国の実用機には採用されなかった。

(4) 結節の引張抵抗値、果柄各部の外形寸法、果重および貫入抵抗値とへたの曲げモーメント抵抗値の相関

大部分の実用品種において、枝、主こうおよび果実の各軸線の方法は一致しない。したがって枝や果房に振幅の大きい振動を与えればへたや結節へ引張応力を生ずると同時に曲げモーメントを生ずるものと考えられる。果実に果柄を残さずに、また、過大な外力を果実に与えないようにするためには曲げモーメントによるへたの離脱が最も望ましいであろう。そのためにはへたの曲げモーメント抵抗値に関与する形質について検討することも必要である。そこで第3表の供試果について果柄各部の外形寸法等とへたの

第4表 へたの曲げモーメント抵抗値と果柄部の外形寸法等との相関係数

(供試果数；各30～35果)

品 種	熟度	結節の引張抵抗値	へた～結節の長さ	へた～結節の中間の径	結節～主柄の長さ	結節～主柄の中間の径	結節の直径	結節の角度	へたこんの直径	貫入抵抗	果 重
早生だるま	緑色果	-0.15	0.29	**	0.06	**	**	*	**	-0.08	**
	完熟果	0.29	0.28	0.29	-0.28	**	*	0.12	**	-0.11	**
チ コ ー Ⅲ	緑色果	*	0.31	**	*	**	**	*	**	-0.26	**
	完熟果	-0.16	0.14	0.18	0.40	0.23	0.25	-0.34	0.41	-0.12	0.28

曲げモーメント抵抗値の相関を求めて第4表を得た。

へたの曲げモーメント抵抗値と比較的高い相関を示したのはへたこんの直径、結節の直径、結節～主こうの中間の直径、へた～結節の中間の直径および果重であった。すなわち果重以外はすべて果柄部の直径に関するものであった。そして、上記のほぼ全部が緑色果において相関係数が大きく、完熟果では小さかった。結節の引張抵抗値、果柄各部の長さおよび貫入抵抗値とへたの曲げモーメント抵抗値には有意な相関はほとんど認められなかった。

以上、(1)～(4)の実験は株が収穫機上にピックアップされた後に果房に付着している果実を強制離脱することを想定して行ったため、ほ場において地ぎわ部を切断し株を手で持ち上げた後

に果房に残っていた果実のみを測定対象とした。そのため本実験の供試果はほ場における母集団とは異質のものであったと考えられる。機械収穫時には過熟や枝葉の劣化によって離脱抵抗値が著しく低下した果実も離脱装置へ供給されてくるであろう。

3. 果房の固有振動数

1) 果房の形態

トマトの果房は主こうの形によって第4図のごとく大別される。

図の上段は主こうが分岐していないもので単果房または単純果房と呼ばれる。また、下段は主こうが2条あるいはそれ以上に分岐したもので複合果房と称される。いずれも主こうの断面はほぼ円形であるが分岐部および果柄の発出部は

第4図 早生だるまの主こう

- 注1) 結節部で果実を除去したもの
2) ×印は不受精花または発育不全果の落下あと

やや肥大して節状をなし、この部分の横断面はだ円形を呈していることが多い。主こうは長さや曲り角もさまざまであるが各タイプに共通して比較的単純かつ類似した形状を示している部分は非結実部である。

果実は主こうの結実部へ複数に着生する。概して主こうの中央部付近には大型果が、また、先端部には小形果が着生するが、着果数、果重および着生密度にも変異が大きい。

2) 果房の固有振動数測定

(1) 実験材料および方法

果房の固有振動数は第5図の測定機によって測定した。すなわち、回転数の調節を可能にした、偏心距離0.5mmの偏心円板の外周へ、上端をヒンジ支持した角棒をしゅう(摺)動させることによってこれの下端に水平振幅1mm、振動数0~8Hzの正弦振動を得られるようにし、ここへ供試果房基部の主枝または側枝を固定して果房を下垂させ、固有振動数を測定した。

前述のごとく、果房は形態変異が大きいうえ、保持方法によっても変形するため、着果形態は

第5図 果房の固有振動数測定機

ナシやリンゴより複雑で系の物理定数が表示しにくい、本実験では供試果房について重量と着果数のほか次の測定を行った。

- l_{t1} ; 果房の付着点からの果房の重心 G_c までの距離
 l_{t2} ; 果房の付着点から、これに最も近い果実の上端までの距離
 l_{t3} ; 果房の付着点から、これに最も遠い果実の下端までの距離

第5表は測定結果である。果房の採取・運搬時や固有振動数の測定中に離脱する果実があったため、いずれも固有振動数測定終了時の数値を示した。

第5表 供試果房の概要

(供試数; 44果房)

項目	l_{t1}	l_{t2}	l_{t3}	着果数	果房重量
	(cm)	(cm)	(cm)	(果/房)	(Kg/房)
最大	14.1	11.8	16.5	5	0.396
最小	2.2	-1.6	3.6	1	0.012
m	7.2	3.3	10.7	2.8	0.199
S D	2.8	3.0	3.2	1.3	0.117

(2) 実験結果および考察

振動数をしだいに増加させながら供試果房を加振し続けると、単振子形、二重振子形、ねじれ、部分的なバウニング、だ円振動などさまざまなモードが観察される。このほか、果実相互の接触による干渉と姿勢変化も現れる。また、複合果房では分岐点から先がそれぞれ異なった挙動を示すこともあって、なかには果房全体としての固有振動数が見出せないものも含まれていた。本実験ではこのような例外を除き、また、主こうの先端部に突出して着生した幼果の挙動も無視し、果房の重心付近の果実群が強制振動され弧状に共振したときの振動数を果房の固有振動数 f_t (Hz) とした。

第6図は実験結果である。

第6図 果房の固有振動数
(供試果房数; 44)

$\log f_t$ と $\log L_{t1}$ には $r = -0.871^{**}$ の負相関があり次の回帰式が得られた。

$$\log f_t = 0.98 - 0.62 \log L_{t1} \quad (1)$$

f_t は最大 6.4 Hz、最小 1.3 Hz、メジアン 2.8 Hz であった。

一般に、トマト果房の基部は主枝または側枝へ強固に付着していて、ここから弾性を有する主こうが伸長している。そして重量の大きな果実はこの主こうの結実部の基部側へまとまって着生する傾向がある。そこで、複数の果実をまとめ、これを G_c 点における質量とみなせば、果房全体を自由端に質量を有する片持りに類似させることが可能であろうと推察された。

3) 主こうの曲げこわさ測定

前項の推察にもとづき、主こうの曲げこわさを測定した。

主こうは試料としてはかなり複雑な形状を示している。そこで本実験では第5図の単果房に属する主こうのうちから比較的長大で単純な形のを3個選び、これについて同一主こう内の各部の曲げこわさを比較し、次に主こうの形態や大きさに関係なく採取した多数の試料から非結実部の曲げこわさの平均値を求めた。

(1) 主こう各部の曲げこわさの比較

① 実験材料および方法

第7図は供試した主こうである。

第7図 主こうのたわみ測定

↓; 集中荷重の位置と方向
荷重 10 gw

図においてAC間は非結実部であり、CE間は結実部である。また、B点はACの、D点はCEのそれぞれ中点である。各主こうはA点を固定端とする片持りとして保持し、先端のE点へ1個の集中荷重をかけた。たわみ量を微小にするため荷重は10 gwとし、B～Eの各点におけるたわみ量を顕微鏡測定した。

② 実験結果および考察

第6表は実験結果である。

ここでMohrの定理の弾性荷重法によれば、

第6表 各測定点における主こうのたわみ量

主こう №	項 目	測 定 点			
		B	C	D	E
1	$l(cm)$	4.1	8.2	13.1	18.0
	$\delta(cm)$	0.05	0.16	0.33	0.80
2	$l(cm)$	4.0	8.0	13.0	18.0
	$\delta(cm)$	0.04	0.15	0.34	0.74
3	$l(cm)$	3.2	6.4	10.8	15.2
	$\delta(cm)$	0.03	0.11	0.26	0.82

l ; 固定端Aから測定点までの長さ

δ ; たわみ量

測定点A、・・・、Eにおけるたわみ量は第8図に示した主こうの共役ばりの各測定点における曲げモーメントに相当する。

第8図 主こうの弾性荷重図

そこで

P ; 集中荷重

i ; 各測定点の番号 ($i = 0, 1, \dots, 4$)

とし、測定点 i から測定点 $i-1$ の区間に関して

l_i ; 区間の長さ

b_i ; 曲げこわさ ($b_i = E I_i$)

S_i ; 弾性荷重図の面積

G_i ; 弾性荷重図の重心

ξ_i ; 測定点 i から G_i までの距離

として、各測定点におけるたわみ量 (曲げモーメント) を $\delta_0, \delta_1, \dots, \delta_i$ で示せば次のとおりである。

$$\delta_0 = 0 \quad (2)$$

$$\delta_i = S_i \xi_i \quad (3)$$

$$\delta_2 = S_2 \xi_2 + S_{11}(\xi_1 + l_2) \quad (4)$$

.....

$$\begin{aligned} \delta_i = & S_i \xi_i + S_{i-1}(\xi_{i-1} + l_i) \\ & + S_{i-2}(\xi_{i-2} + l_{i-1} + l_i) \\ & + \dots \\ & + S_{i-k}(\xi_{i-k} + l_{i-k+1} + l_{i-k} \\ & \quad + 2 + \dots + l_i) \\ & + \dots \end{aligned} \quad (5)$$

なお、各区間の弾性荷重図 (台形) の上底を x_i 、下底を y_i とすれば

$$S_i = \frac{(x_i + y_i) l_i}{2} \quad (6)$$

$$\xi_i = \frac{l_i (x_i + 2y_i)}{3 (x_i + y_i)} \quad (7)$$

であるから、(2)~(7)式へ第6表の実測値を代入して b_i を求めれば第7表のとおりである。

また、主こう全体の平均曲げこわさを b_t とすれば片持はりの最大たわみの式から

$$b_t = \frac{P(l_1 + l_2 + \dots + l_i)^3}{3 \delta_{\max}}$$

であり、これについても実測値から算出して第7表に併記した。

第7表 主こう各部の曲げこわさと主こう全体の平均曲げこわさ

(単位: Kg/cm^2)

主こうの区間		A~B	B~C	C~D	D~E	A~E
b_i		b_1	b_2	b_3	b_4	b_t
主こう №	1	3 5.0	2 4.3	5 0.3	1.9	2 4.3
	2	3 3.3	3 0.5	6 7.8	2.1	2 6.3
	3	2 4.1	2 5.1	5 7.4	0.7	1 4.3
平 均		3 0.8	2 6.6	5 8.5	1.6	2 1.6

主こう各部の曲げこわさは区間3 (CD間) において最大値を、また、区間4 (DE間) において最小値を示し、各区間の曲げこわさ b_i は概略次のような相互関係にあった。

$$b_1 \approx b_2 \approx \frac{1}{2} b_3 \gg b_4$$

ことにDE間の曲げこわさは著しく小さかった。この区間は一般に发育が不良で、主こうの直径は他の区間の1/2あるいはそれ以下で、不受精花が多く、着果しても大部分が发育不良果

である。

果房の重心Gは曲げこわさが最も大きかったCD間にあるのがふつうであるが、A~G_cの長さ l_{t1} の大部分が非結実部であって、この部分の曲げこわさが $b_1 \div b_2$ であることからA~G_c間の曲げこわさはほぼ均一とみなせるものと考えられたので次の測定を行った。

(2) 主こう非結実部の平均曲げこわさ測定

① 実験材料および方法

実験には、果房の形態と大きさに関係なく採取した主こうの非結実部を供試した。いずれも主枝または側枝への付着点を固定端とする片持はりとし、その先端へ1個の集中荷重(20gw)をかけて、たわみ量 δ を顕微鏡測定し、これの曲げこわさ $E_{AC}I_{AC}$ を求めた。

② 実験結果および考察

第8表は実験結果である。

供試した20個体の平均測定値は非結実部の

第8表 主こう非結実部の寸法と曲げこわさ

(供試主こう数; 20)

	l_{AC}	直 径				δ	I_{AC}	E_{AC}	$E_{AC} I_{AC}$
		基 部	中央部	先端部	平 均				
m	5.93	(cm) 0.49	(cm) 0.46	(cm) 0.45	(cm) 0.47	(cm) 0.137	(cm ⁴) 2.6×10^{-3}	(Kg/cm ²) 4.2×10^3	(Kg cm ²) 11.0
S D	1.58	0.09	0.07	0.07	—	0.610	1.4×10^{-3}	1.1×10^3	4.2

長さ l_{AC} が5.93cm、直径は0.47cmで断面は円形であり、 δ は0.137cmであった。以上の測定値および集中荷重から算出したAC間の曲げこわさ $E_{AC}I_{AC}$ は11.04kgcm²であった。

供試個体には、 l_{AC} の大きいものほど直径が大きい傾向が観察されたので、 l_{AC} と断面二次モーメント I_{AC} またはヤング率 E_{AC} の相関係数と回帰式を求めたところ、次のとおりであった。

$$l_{AC} - I_{AC} ; r = 0.661^{**}$$

$$I_{AC} = -1.48 \times 10^{-3} + 6.9 \times 10^4 l_{AC}$$

$$\log l_{AC} - \log I_{AC} ; r = 0.707^{**}$$

$$\log I_{AC} = -4.10 + 1.88 \log l_{AC} \quad (8)$$

$$l_{AC} - E_{AC} ; r = -0.333 (N. S.)$$

$$\log l_{AC} - \log E_{AC} ; r = -0.289 (N. S.)$$

以上の結果、 $\log l_{AC}$ と $\log I_{AC}$ の相関が最も高かった。第9図はその図示である。

4) 果房の固有振動数実験式と理論式の比較

果房の形態には変異が大きいが、先の推測どおり、自由端に質量を有する片持はりに比較的類似しているものと考えられる。また、主こうの曲げこわさが著しく小さいものや重心までの距離 l_{t1} の大きい果房は単振子に類似させる可能性も予想される。そこで、これらの固有振動数の理論式を実験式(1)に準じて次の一般形に

第9図 主こう非結実部の長さと断面二次モーメントの相関

変形し、実験式と比較する。

$$\log f = a + b \log l$$

f ; 振動数 (Hz)

l ; 片持はりまたは単振子の長さ (cm)

自由端に質量を有する片持はりの固有振動数 f_c (Hz)は次式による。

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

ここで片持はりの長さを l_c 、荷重を p 、最大たわみを $\delta_{\max}$ とすれば

$$K = \frac{P}{\delta_{\max}} = \frac{3EI}{l_c^3} \quad (10)$$

(10)式を(9)式に代入して両辺の対数をとれば

$$\log f_c = \log \frac{1}{2\pi} + 0.5 (\log 3EI - \log m) - 1.5 \log l_c \quad (11)$$

(11)式へ(8)式および以下の実験値を代入する。

第8表から主こう非結実部のヤング率の平均値 $\overline{E_{AC}}$ は $\overline{E_{AC}} = 4.2 \times 10^3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

E_{AC} は l_{AC} と無相関であるから、ここでは $\overline{E_{AC}}$ をそのまま採用する。

また、平均1果房重量は第5表のとおり0.199 kgであるから

$$m = \frac{0.199}{980} = 2.03 \times 10^{-4} \text{ (kgs}^2\text{/cm)}$$

果房重量と l_{t1} も無相関であるから m も不変である。

以上の(8)式、 $\overline{E_{AC}}$ および m 値を(11)式へ代入し、これの誘導式を求めれば

$$\log f_c = 1.05 - 0.56 \log l_c \quad (12)$$

次に単振子の振動式を変形する。単振子の振動数 f_s (Hz) は、振子の長さを l_s とすれば

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l_s}}$$

両辺の対数をとれば

$$\log f_s = 0.70 - 0.50 \log l_s \quad (13)$$

第10図は実験式(1)と(12)および(13)式の比較である。

トマト果房の固有振動数のプロットは全部が(12)式と(13)式の間に位置し

$$f_c = f_t = f_s \quad \text{においては} \\ l_c > l_{t1} > l_s \quad \text{の相互関係があった。}$$

ここで(1)式と(12)式から

$$\log f_t = \log f_c \text{ とおけば } l_{t1} \text{ と } l_c \text{ の相互関係は次のとおりである。}$$

$$\log l_{t1} = -0.13 + 0.90 \log l_c$$

この結果定数の差は以下の原因によって生じたものと推察される。

a. 固有振動数の測定時には、果房を加振装

第10図 果房の固有振動数実験式と理論式の比較

置から下垂されたが、重心位置の測定時には果房を水平に静置した。果房を下垂させることによって果実の着生姿勢が若干変化し、主こうの曲り角も小さくなった結果、固有振動数測定時の l_{t1} は、水平姿勢における実測値よりやや増大していたと考えられること。

b. 果実群を一括して1個の質量とみなしたが、果房の先端や側方に突出した果実が果房の重心付近の果実と異なった挙動を示し、果房全体の振動数を低下せたと推察されること。

以上のaおよびb項について適切な補正が可能であれば、果房の固有振動数は自由端に質量を有する片持はりの固有振動数の誘導式(12)へさらに近似するものと思われる。

本実験に供試した早生だるま種においては、果房の共振振動を利用して果実の離脱をはかろうとする場合には2.8 Hzを中心とする広い振動数域で加振する必要があるものと推察された。近年、育種がすすめられつつある果房形態が単純なわい性品種では振動数域をより縮小することが可能であろうと考えられる。

4. 摘 要

加工用トマト果の離脱装置の設計資料とするため果実の離脱抵抗値と果房の固有振動数を測定した。

1. 完熟果のへたの引張抵抗値、結節の引張

抵抗値およびへたの曲げモーメント抵抗値の平均値は、早生だるま種ではそれぞれ、1460gw、980gw、330gw-cmであり、また、チコーⅢ種では1110gw、630gw、160gw-cmであった。

2. 各抵抗値とも果実が熟すにしたがってわずかに低下する傾向がみられたが、これらの抵抗値の熟度差によって熟果のみを選択して離脱させることは困難であろうと推察された。

3. 早生だるま種の果房の固有振動数は最大6.4、最小1.3、メジアン2.8Hzであった。

4. 果房の固有振動数は、果房を自由端に質量を有する片持はりとみなした場合の固有振動数の計算値より小さく、また、単振子とみなした場合のそれより大きかった。

5. 果房は形態変異が大きいため、共振振動を利用して果実を離脱させる場合には広い振動数域にわたって加振する必要があるものと推察された。

5. 参 考 文 献

1) 有馬 博；(1973)、加工用トマトの機械収穫に関する研究。果梗部の引張試験および振動による果実の落下試験、農業機械学会第32回総会講演要旨、85頁。

2) Fluck, G. C. ; (1970), Detachment of Tomato Fruit from Vines as Influenced by Fruit Maturity and Plant Desiccation, Transactions of the ASAE, 13, P704~707

3) 伊藤喜三男・上村昭二・深谷潔・宮本吉久；(1977)、加工用トマトのへた離れ性の品種間差異とへた離れ性に関する要因、農林省野菜試験場報告B第1号、13~28頁。

4) Jules J. et al ; (1970), Plant Agriculture, W. H. Freeman and Company, P170~171

5) 各社仕様書；AGMAC HUME, BUTTON-JOHNSON, FMC, PORTER-WAY, TANZI ARMANDO, U.C.-BLAKWELDER

6) K. Q. Stephenson ; (1964), Selective Fruit Separation for Mechanical Tomato Harvester, Agricultural Engineering, May, 1964

7) 山本博昭；(1975)、柑橘の機械収穫に関する基礎研究（第1報）、離脱に関する温州みかんの物性と品質、農業機械学会誌 第37巻第4号、577~586頁。

Summary

In order to design the fruit separation mechanism for a processing tomato harvester, fruit stem detachment forces and the natural frequencies of fruit clusters were measured, using for comparison cultivar Wasedaruma (round) and chico Ⅲ (pear-shaped) tomatoes.

The results were summarized as follows:

- 1) Using fully matured Wasedaruma fruits, the average detachment forces were 1460gw (tensile force) at the calix, 980gw (tensile force) at the joint, and 330gw-cm (bending moment) at the peduncle. Using fully matured Chico Ⅲ fruits, the average detachment forces were 1110gw, 630gw and 160gw respectively.
- 2) As fruits approached maturation, slight decrease in detachment forces were observed. However the differences between green and mature fruits were not great enough to suggest selective separation of matured fruits.
- 3) The natural frequency of Wasedaruma fruit clusters was found to lie in a range from 6.4 to 1.3Hz (median 2.8Hz.) There is a logarithmic correlation

between ℓt_1 (see Fig. 5.) and natural frequency of cluster.

4) The natural frequency of fruit clusters was less than that calculated from a cantilever model (with an attached mass equal to the average weight and position of fruit clusters) and greater than that of a simple pendulum model.

5) There are wide variations in natural fruit cluster configuration. Therefore it may be assumed that in the design of a fruit separation mechanism based on the resonance principle, forced vibration should be applied in a wide frequency range.