



ラッキョウ収穫・調製作業省力化に関する研究

昭和54年12月

岩 崎 正 美

ラッキョウ収穫・調製作業省力化に関する研究



岩 崎 正 美

目 次

第1章	緒 言	1
第2章	ラッキョウ収穫・調製作業の現状調査	3
1	はじめに	3
2	収穫作業	3
3	調製作業	6
4	要結	7
第3章	引抜き抵抗力に関する基礎実験	8
1	はじめに	8
2	実験装置および方法	8
1)	引抜き試験機	8
2)	実験方法	9
3	実験結果および考察	9
1)	株の形態	10
2)	引抜き抵抗力	10
3)	引抜き抵抗力の推定	13
4)	根群への砂付着量	15
4	要結	16
第4章	根切り刃に関する基礎実験	18
1	はじめに	18
2	実験装置および方法	19
1)	可搬型根切り刃けん引装置	19
2)	供試根切り刃	20
3)	実験方法	20
(1)	裸地	20
(2)	植栽地	22
4)	モノリス法による根群採取器具	23
3	実験結果および考察	23
1)	裸地	23
(1)	けん引抵抗力	23
(2)	砂地表面変位	25
2)	植栽地	28
(1)	根群分布	28
(2)	けん引抵抗力	29
(3)	根群切断率	31

(4) 砂地表面変位とラッキョウの挙動	33
4 要結	35
第5章 引抜き式掘取り機の試作	36
1 はじめに	36
2 試作1号機	36
1) 構造	36
2) 試験結果と考察	37
3) 根切り刃と搬送ベルトの葉部はさみ口との位置関係	38
3 試作2号機	39
1) 構造	39
2) 試験結果と考察	41
4 要結	42
第6章 調製に関する基礎実験	43
1 はじめに	43
2 実験装置および方法	43
1) 固定刃による切断抵抗力測定装置	43
2) 回転刃による切断トルク測定装置	44
3) 実験方法	44
(1) 球の形態と切断許容範囲	44
(2) 固定刃による切断試験	44
(3) 回転刃による切断試験	44
3 実験結果および考察	45
1) 球の形態	45
2) 切断許容範囲	45
3) 固定刃による切断抵抗力	49
(1) 切断角と切断抵抗力	50
(2) 切断位置と切断抵抗力	53
(3) 粘質物の付着・乾燥と切断抵抗力	54
4) 回転刃による切断トルク	55
(1) 粘質物の付着・乾燥と切断トルク	55
(2) 累積切断量と切断トルク	57
(3) 相対速度と切断トルク	58
4 要結	59
第7章 調製作業省力化に関する実験(その1)	61
1 はじめに	61
2 実験装置および方法	61
1) 固定刃式試作半自動調製機(1号機)	61

2)	実験方法	62
3	実験結果および考察	63
1)	能率と精度	63
2)	動作分析	64
4	要結	66
第8章	調製作業省力化に関する実験（その2）	67
1	はじめに	67
2	実験装置および方法	67
1)	可動刃式試作半自動調製機（2号機）	67
2)	実験方法	69
3	実験結果および考察	69
1)	能率と精度	69
(1)	慣行法	69
(2)	2号機	70
i)	クリップ速度と能率	70
ii)	クリップ速度と精度	70
iii)	可動刃と精度	71
2)	動作分析	72
(1)	慣行法	72
(2)	2号機	73
4	要結	75
第9章	総括	76
	結言	79
	参考文献	80

第1章 緒 言

一般に、根菜類の収穫・調製作業は、多くの労働時間を費やすにもかかわらず、稲作用収穫・調製機械のように機械化が進んでいないのが現状である。まず収穫作業の機械化を遅らせている原因として、わが国では栽培面積が稲作に比べて非常に小規模であるため、稲作用機械のように商業ベースに乗りにくい。このためメーカーの研究・開発意欲が乏しい。次に同一作物であっても品種によって著しくその形態が異なる。たとえば、ダイコンは、聖護院のような球形のものから練馬や宮重ダイコン群のような円筒形、さらに守口ダイコンのような長根種で長さ1.0~1.2m、根径3cmの細長い形態にいたるまで栽培されており、¹⁾対象作物・品種によって当然その省力化方法も一律でなく、掘取り機の掘取り機構も異なることが考えられる。次に収穫物、たとえばジャガイモ、コンニャクなど掘取り刃によって土塊・石とともに掘り上げられた後の機械的選別が非常に困難であることも一因と考えられる。これらの収穫物と土塊・石との機械的選別に関する報告例^{2,3,4,5,6,7)}は多数にのぼっているが、現在のところ、X線やγ線など放射線^{8,9,10)}を利用したものに限り完全に近い選別が可能な段階である。

このような現状から、わが国における多くの根菜類収穫のための掘取り機は収穫物を単に地上に放てきすだけの根浮かし機程度¹¹⁾のものが大部分を占め、あとから収穫物を人力により拾い集める作業を行っている。

しかしながら、近年の農業従事者の減少と老令化は年を追って進み、労働力のひっ迫状況からようやく稲作以外の対象作物ごとの収穫専用機が散見せられるに至りつつある。たとえば、根部が地上に露出しているたまねぎについては、たまねぎ専用収穫機として掘取りから収納までほぼ完成に近づいている。^{12,13)}あるいは、短根ニンジンについては、ビートリフター、ポテトディガー、サブソイラー、タインカルチなどの機械利用が試みられており、¹⁴⁾米国のニンジンハーベスタの導入による実用化試験も行われている。¹⁵⁾

このようにわが国でも、たまねぎやニンジンのように根菜類の中でも比較的栽培面積の大きい浅根性の品種については、収穫機開発に関する基礎的研究および開発研究が各地で取上げられてその成果が実りつつある。しかし、それらよりさらに栽培規模の小さい地方特産物などについては、農業機械メーカーや研究機関で省りみられることも少なく、人力に頼る収穫作業が行われている。

収穫作業そのものが、このような現状にあることから、収穫後に続く調製作業を必要とする根菜類については、より一層省力化の立遅れが目立っている。

鳥取県の砂丘地特産物であるラッキョウについても、生産農家からの強い要望があるにもかかわらず、収穫・調製作業の省力化に関する研究はあまりなされていない。1部福井農試¹⁶⁾および阿部・藤井^{17,18,19)}らが調製機の試作とその性能について慣行法との比較をしたにとどまっている。

したがって、本研究では、まずラッキョウの収穫・調製作業の現状を明らかにする。そし

て収穫・調製作業の順序にしたがって収穫作業省力化のための基礎実験として、収穫期間中におけるラッキョウの形態と引抜き抵抗力を中心とする力学的性質を明らかにする。つづいて収穫省力化にとって重要な役割を果たす根切り刃の作用を、現地栽培ほ場の裸地と植栽地で明らかにし、同時に引抜き式掘取り機の試運転を通じてラッキョウ収穫作業機械化の問題点をは握する。

さらに、調製作業省力化を目的として、ラッキョウ球の形態と切断許容範囲を求め、調製に要する切断抵抗力を刃に付着する粘質物との関係で明らかにする。そして半自動調製機的设计・試作を行い、能率・精度の測定および動作分析を通じて慣行法と比較・検討し、ラッキョウ収穫・調製作業省力化への道を開こうとしたものである。

本研究を進めるにあたり、京都大学農学部川村登教授に御懇篤なる御指導と御助言を賜りました。本学農学部石原昂教授には、終始適切な御指導と御鞭達を賜りました。また、校閲いただきました京都大学農学部山下律也教授、田中孝教授には有益な御助言と御指摘を賜りました。ここに記して深甚の謝意を表わします。

さらに、現地ほ場での実験にさいしては、本学付属砂丘利用研究施設長佐藤一郎教授、同研究施設山根昌勝助教授、当研究室米岡弘明技官、専攻生および福部村ラッキョウ組合の方々の御助言、御協力を得ました。また、試作機の製作にあたっては、(株)マルナカ製作所の御協力を得ました。ここに記して皆様に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究費の1部は、昭和49、50、51および53年度文部省科学研究費の援助によるものである。

第2章 ラッキョウ収穫・調製作業の現状調査

1 はじめに

ラッキョウは、灌水をしなくても栽培できる粗放的な作物といわれている。そのためかつて不毛の地といわれていた砂丘地に多く栽培されている。わが国で栽培されるラッキョウの品種は、玉ラッキョウ、ラクダ、ハツ房²⁰⁾および在来種からなっており、生産は自家消費のみを含むとほぼ全国にまたがっている。全国の作付け面積(昭和51年)は、わずか2,100 haであり、主要産地は茨城(313ha)をはじめ、栃木(269)、鳥取(239)、静岡(165)、宮崎(147)、福井(98)、愛知(66)、鹿児島(64)、高知(54)、徳島(51)である。²¹⁾

鳥取県下の栽培地域は、岩美郡福部村および東伯郡北条町の砂丘地に栽培されており、特に145haの栽培面積をもつ福部村では古く江戸時代から栽培されていたといわれ、昭和29年には、58ha、370 tonの出荷が行われている。²²⁾そして、昭和39年から始まった農業構造改善事業により、ラッキョウ畑の造成、加工場(共同出荷場)の新設、農道の整備などが行われ、昭和52年には集中制御システムによるスプリンクラの設置が完成している。このように、ほ場整備や加工場などの近代化が進んでいく一方で、ラッキョウ栽培における植付けから収穫・調製に至るほとんどの過程において、省力化・機械化されていないのが実情である。

ここでは、第3章以下に述べる実験を、主として鳥取県岩美郡福部村で行ったので、この地方のラッキョウ収穫・調製作業の現状を中心として調査し、収穫・調製作業省力化への糸口をつかもうとした。

2 収穫作業

Fig. 1 に福部村において調査した収穫以後の作業流れ図を示す。同図において収穫は、まず根群切断をPhoto 1 (a)に示すような農家の考案による根切り刃や、Photo 1 (b)に示す

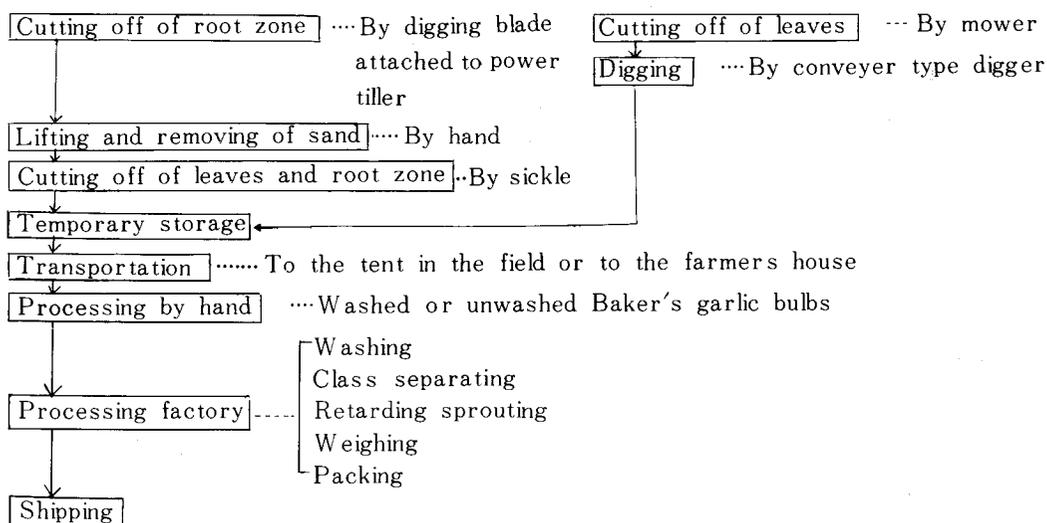


Fig. 1 Flow chart of Baker's garlic harvesting.

市販の根切り刃を耕うん機に取付けて、植栽状態 (Photo2・a) のままで根切り作業 (Photo 2・b) を行う。そして、根群の切断および土壌を膨軟にすることにより、ラッキョウの引抜き抵抗力を減じたのち、1株ずつ人力により葉を持って引抜き、そのまま地面に2~3回軽くたたき、根群に付着した砂を払い落とす。

この動作を繰り返したのち、数株を一緒にして鎌で葉と根群の大部分を切断し、次の調製作業が行いやすいようにする (Photo2・c)。この作業を「荒切り」と呼んでいる。そしてコンテナに収納するが、このときも次の調製作業のために、株を集め根群側と葉側を一定方向に整理しながら並べて入れる。この収穫方法が福部村において大部分を占める。

また、Fig. 1 に示すように、1部ではフレールモーアにより、地上部の葉を植栽状態のままで切断したのち、コンベア形式の市販掘取り機によって株を地上に露出させる。そして、あとから拾い集めて、コンテナに収納する方法をとっている。あるいは、前述の根切り刃のかわりに、コンベア形式の市販掘取り機によって株を地上に露出させたのち「荒切り」を行う場合も散見せられる。

一方、鳥取県東伯郡北条町や、福部村岩戸のごく1部では、このような機械利用をいっさい行わず、直接人力によって1株ずつ引抜きを行っている農家もある。これは、品種の違いによるものと考えられ、機械利用をする場合の品種は「ラクダ」であり、人力による場合は「玉ラッキョウ」で「ラクダ」に比べて球が小粒である。



(a) Improved plow



(b) Digging blade
Photo 1 Digging blade.



(a) Planted field at Fukube Village



(b) Cutting off root zone with a digging blade



(c) Cutting off leaves and roots with a sickle

Photo 2 Harvesting of Baker's garlic.

3 調 製 作 業

「荒切り」もしくは、掘り上げたままコンテナに収納されたラッキョウは、各農家のほ場内のテント (Photo 3・a) または、農家の庭先や調製作業の委託場所にトレーラやトラックで運搬される。そして人力により「洗いラッキョウ」または、「荒ラッキョウ」のいずれかに調製される (Photo 3・a・b)。

まず「洗いラッキョウ」は、1球ずつ分離されてすぐ漬けられるように調製された球である。その調製方法は、板に包丁を逆に立てて固定し、これにラッキョウを押し当てて根と葉



(a) Washed Baker's garlic during the cutting work



(b) Unwashed Baker's garlic during the cutting work

Photo 3 Cutting work.

を切断する。収穫以後の一連の作業中最も労働時間を要するのが、この「洗いラッキョウ」への調製作業であり、各方面で調製機械の開発が試みられているが、市販の域に達していない。「洗いラッキョウ」調製作業のためラッキョウ栽培農家は、近在より人集めを行っている

る。この調製作業は、比較的軽労働であるため、ほとんど婦女子に頼っている。そして「洗いラッキョウ」の仕上がり量1kgに対して33円（昭和52年協定賃金）を支払っている。10a当たり収量をほぼ1,200～1,500kgとしてこの調製代金のみで40,000～50,000円になる。

そこで、この「洗いラッキョウ」調製作業の労働力不足の解決策として1株ごとに葉と根群をわずかに残した「荒ラッキョウ」の出荷が増加しつつある。これは、1株ごとに根群が1.5～2.0cm、球と葉が4.5～5.0cmで全体として6～7cmの長さに調製したものである。²³⁾労働力不足から生じたこの「荒ラッキョウ」の出荷割合は、Table 1に示すように年々増加傾向を示し、昭和53年度には「洗いラッキョウ」57%に対して「荒ラッキョウ」43%となっている。²⁴⁾

ここで、10a当たり投下労働時間をみると、昭和52年度の鳥取県農林部の調査では、322.1

Table 1 Cultivated area and shipping in Tottori Prefecture

Year	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Cultivated area (ha)	178	181	177	210	242	236	239	263	—
Washed B. (t)	835	890	1204	876	1023	1493	1805	1549	2293
Unwashed B. (t)	337	350	499	697	852	1022	1078	1112	1717

時間でこのうち収穫・調製時間が217時間67.4%を占めている。²⁵⁾そして労働内容が、前述のように比較的軽労働であるため、婦女子の役割が多く、248.0時間77%もの多くを占めている。また月別労働時間の配分は、収穫が5月下旬から6月下旬まで行われることから、5月（69.4時間）、6月（178.2時間）に集中し、田植え時期とも競合する。

このようにラッキョウ栽培は、鳥取県におけるスイカやブドウなどの他作目に比べて、婦女子の雇用労働力（昭和52年雇用労働費54,924円/10a）への依存度が高い特長を有する。²⁶⁾

一方、北条町では植栽状態でのラッキョウを直接人力により引抜き、その場で包丁により「荒ラッキョウ」に調製し、天日で乾燥したのち出荷する農家がほとんどを占めており、機械力の導入はあまりみられない。

4 要 結

ラッキョウの収穫・調製作業の実態を鳥取県岩美郡福部村を主体に調査した。調査結果の概要は次のとおりである。

(1) 収穫作業は、すきの改良もしくは市販の根切り刃によって単に根群を切断し、土壌を膨軟にしてから引抜き、その場で「荒切り」をしてコンテナに収納する方法が一般に行われている。

(2) 調製作業は、板に固定した包丁で人力により根と葉を切断している。「洗いラッキョウ」または、「荒ラッキョウ」のいずれかに調製され、前者はすぐ漬けられるように調製された球であり、後者は1株ごとに根と葉がついている。

(3) 年々「荒ラッキョウ」の出荷割合は増加する傾向にあり、昭和53年の販売量4010 tonのうち43%を占めたが、婦女子の雇用労働力への依存度が高い。

第3章 引抜き抵抗力に関する基礎実験²⁷⁾

1 はじめに

ラッキョウに限らず、一般に根菜類の収穫省力化をはかるには、まず対象となる作物体の生物物理学的性質の把握が肝要である。根菜類の中でも比較的収穫省力化が行いやすいと考えられる聖護院などの短根種のダイコンや、ニンジン、カブなどについては、現行の収穫作業が人力による引抜きによって行われていることから、それらの引抜き抵抗力の測定が各地で行われている^{28,29,30)}しかしながら、これらの報告例は、収穫期間中のある特定の時期だけにとどまった測定であり、各作物体の持つ生理的な変化をともなった長期の測定は行われていない。

特に、ここで対象とするラッキョウは、ほ場が砂丘地であり、かつ収穫期間がほぼ1か月間と長期にわたること、および第2章で述べたように現行の主な収穫方法が、耕うん機アタッチメントの根切り刃を通過させた後に1株ずつ人力により引抜いていることなどから、この収穫省力化をはかる場合まず植栽状態での引抜きの可否、さらにその引抜き抵抗力が長い収穫期間を通じて、ほ場条件や生理的变化によってどのように影響されるかを知る必要がある。

そこで、現地ほ場用の引抜き試験機を製作し、ラッキョウの形態や引抜き抵抗力について全収穫期間を通じて測定し、ラッキョウ収穫省力化への足がかりをつかもうとした。

2 実験装置 および方法

1) 引抜き試験機 収穫時におけるラッキョウの引抜き抵抗力を測定するため、Fig. 2に示すような引抜き試験機を製作した。これは、葉締付け部と4つの滑車からなる

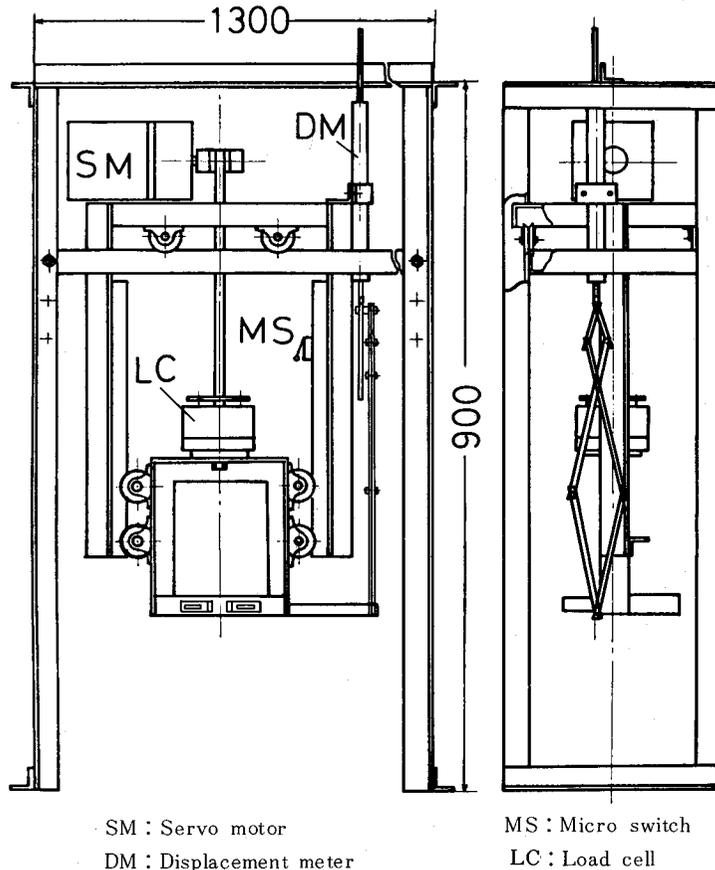


Fig. 2 Experimental lifting equipment.

ヘッドをロードセルに接続した機構でヘッドの上下駆動はサーボモータによった。葉締付け部は鉄板にゴム板を取付け、2個のコイルスプリングにより自由に締付け力を調節できるようにした。なお、ヘッドは植付け条に沿って自由に移動させるため滑車を取付けた。引抜き抵抗力はロードセルで、葉締付け部の鉛直変位は差動トランスで各々

Table 2 Field conditions (1975)

	Depth (cm)	ω^* (%)	S.H.** (kg/cm ²)
I (May 12)	0	1.45	0.60
	10	6.56	0.67
	20	5.97	1.12
II (May 26)	0	0.91	0.55
	10	2.95	0.57
	20	3.92	0.85
III (June 2)	0	2.10	0.60
	10	6.76	0.68
	20	7.55	0.67

* : Moisture content (dry basis)

** : Yamanaka type soil hardness tester

検出し、X-Yレコーダに記録した。葉締付け位置は地表より約10cmの高さで、ヘッドの速度は1.5cm/sの一定とした。また、引抜き角度を変えるため、葉締付け位置の直下にローラを取付けた。

2) 実験方法 試験ほ場は、鳥取県のラッキョウ栽培地帯である岩美郡福部村の砂丘地で農家の普通栽培ほ場(出荷用)約10aの1部を供試した。品種は「ラクダ」である。試験日は、収穫期前のI(5月12日)と収穫期に入ってからII(5月26日)およびIII(6月2日)の3回に分けて行った。各試験日のほ場条件をTable 2に示す。引抜き試験方法は、Fig. 3に示すように(A)植

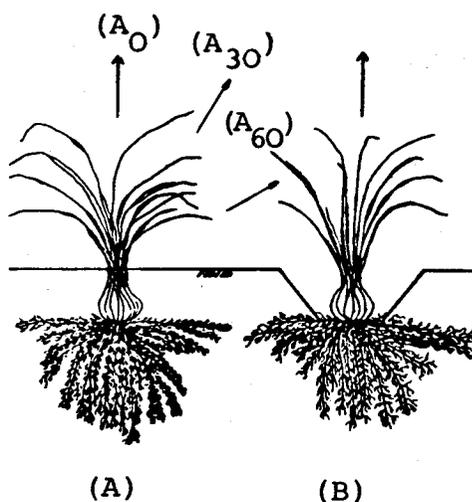


Fig. 3 Pulling methods.

栽状態のままでの引抜き抵抗力、(B)球底部から地表までの覆土部分を取り除いた根群のみによる引抜き抵抗力の測定について行った。引抜き角度は、鉛直上方および分度器で30°, 60°になるようヘッドを移動させ、ローラをかいして上方への引抜きも行った。なお、(B)の方法において取り除いた砂の範囲は、(A)の方法での引抜きのさい、せん断によって生じる砂の盛り上がり範囲を予備実験において測定したところ直径約25cmの範囲内であったため、その部分を取り除いた。標本抽出は、任意に抽出した条を連続して株を引抜いた。そして、引抜き抵抗力に影響を及ぼすと考えられるラッキョウの各形態の測定を合わせて行った。

3 実験結果および考察

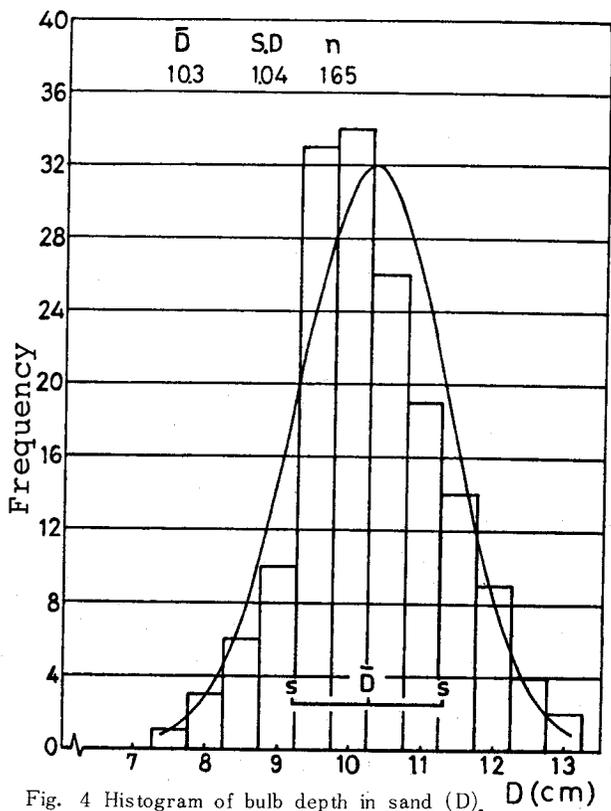


Fig. 4 Histogram of bulb depth in sand (D), D (cm)

てラッキョウの形態からみれば、収穫期に入ってから収量に影響する分球・肥大を続けており、早取りの傾向が認められる。また、当地域は、8月の種球植付けを2球ずつ行っていることから1球当たりほぼ7~8球の分球が行われていることがわかる。また、葉数Lnは、収穫期前の試験日Iから収穫期に入ってからII、IIIにかけてほぼ直線的な減少傾向を示している。この葉のちょう落は、引抜き方式の掘取り機を利用する上で不都合な生理現象である。なお、このちょう落の速度は各ほ場によっても著しく異なり、この原因は主として施肥量、施肥時期の相違によるものと考えられる。例えば、翌年への収穫のための種球ほ場では、玉太りをよくするため肥料の施肥基準を普通栽培ほ場より多くしている。また、春季(3~6月)の窒素施肥が葉のちょう落を遅らせる³¹⁾

2) 引抜き抵抗力 Fig. 6にX-Yレコーダ

1) 株の形態 まず地表面から球底部までの深さ、すなわち球深D (cm)は、試験日を問わずほぼ一定値を示し母平均の95%信頼区間で10.1~10.5cmの範囲にあった。Fig. 4は球深Dの度数分布曲線を示す。Fig. 5には、試験日別による1株当たり球数Bn(球),球長径a (cm), 同短径b (cm), 葉数Ln(枚)および球重Wb (g)の収穫期前後における変化を示したものである。矢印の範囲が母平均の95%信頼区間を示している。当地域の収穫は5月23日から6月20日までの約1か月間の長期にわたって行われた。これより、Fig. 5におい

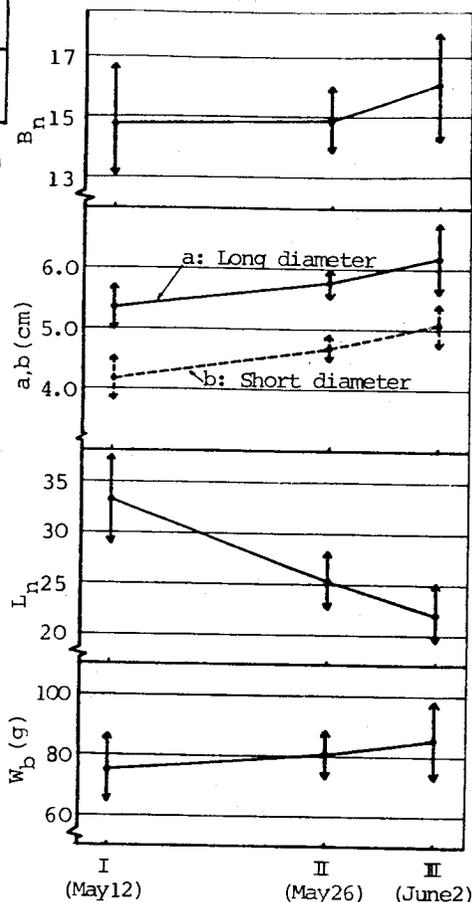
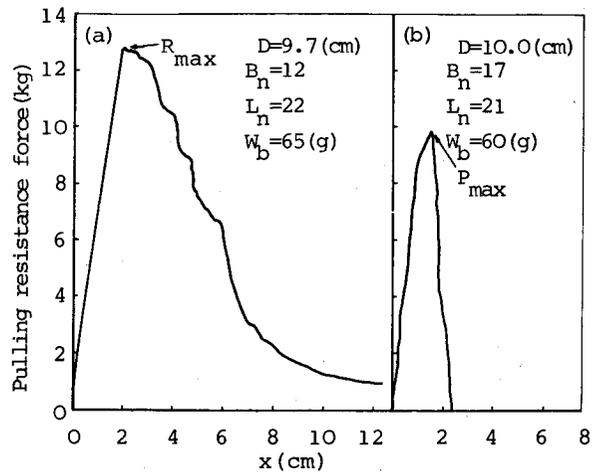


Fig. 5 Forms of Baker's garlic during the harvest stage.

による引抜き抵抗力 (kg) と鉛直変位 x (cm) の記録例を示す。同図は試験方法(A)のうち鉛直上方への引抜き例 (A₀)を示しており、(a)引抜き可能、(b)引抜き不可能すなわち葉の破断についての標本例である。(a)は、引抜き開始後約2cmの持ち上がりで最大引抜き抵抗力 R_{max} (kg) を示し、以後順次根群が破断あるいは引抜かれ、鉛直変位 $x = 10$ cm程度持ち上がってようやく根群による抵抗力 R_r (kg) がなくなる。そして最終にはラッキョウの全重量 W (g) と根群に付着したまま持ち上がった砂重量 W_s (g) との和が示される。一方(b)は、葉が破断されると同時に



(a) Able to pull up Baker's garlic without cutting the leaves
(b) Unable to pull up

Fig. 6 The relationship between the pulling resistance force and the vertical displacement (x).

抵抗力はなくなり、1株当たり葉の最大引張力 P_{max} (kg) と P_{max} にいたる鉛直変位 X_p (cm) が得られる。球底部より地表面までの砂を取り除いた状態での試験方法(B)についても同じような記録が得られた。

Table 3は、試験方法(A)および(B)において葉が破断することなく引抜き可能であった場合、すなわち各試験方法における全標本数に対する引抜き可能であった標本数の割合を百分率で示したものである。試験日Iにおいて引抜き可能割合が最も低く、収穫期に入つてすぐの試験日IIにおいて最も高い値を示した。この原因は、根群域の土壌物理性、とくに含水比 w (%) の影響が大きいと考えられ、各試験日における深さ10~20cmの平均含水比 w_{10-20} (%) を付記した。また、試験方法(A)において引抜き角度別による可能割合には顕著な差が認め

Table 3 Successful harvest percentage of bulbs without cutting the leaves

	(A)		(B)	w_{10-20}	
	A ₀	A ₃₀ A ₆₀			
I (May 12)	15.4	0.0 -	10.5	53.3	6.3
II (May 26)	52.6	61.9 44.4	53.5	100.0	3.4
III (June 2)	56.5	30.8 0.0	37.0	80.0	7.2

(A) and (B) test methods were shown in Fig. 3.

られなかった。人力による引抜きでは、順次掘取った株の方向への引抜き、すなわち身体の手前へ引き寄せる格好での作業であるが、本試験機に取付けたローラをかいしての引抜きでは、葉がローラに接した部分で破断し、引抜き角度別による効果を見い出せなかった。

Fig. 7は、収穫期に入ってから最大の引抜き抵抗力 R_{max} および葉の最大引張り力 P_{max} 時における鉛直変位 X_R および X_P について示したものである。これより引抜きが可能な場合は $X_R=2\sim 3\text{ cm}$ 持ち上がった時点で R_{max} を示し、一方引抜き不可能な場合 $X_P=2\text{ cm}$ 以内で葉の破断を生じている。

Table 4は、試験方法(A)による最大の引抜き抵抗力 P_{max} および試験方法(B)による根群の最大の引抜き抵抗力 R_{max}

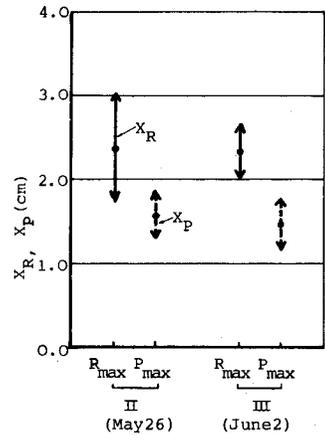


Fig. 7 Vertical displacement at the maximum resistance force.

Table 4 Mean and 95% confidence interval of population mean of \bar{R}_{max} and \bar{R}_{rmax}

	Test method (A)		Test method (B)	
	\bar{R}_{max}	m	\bar{R}_{rmax}	m
I (May 12)	24.8	-	15.0	$11.6 \leq m \leq 18.4$
II (May 26)	13.1	$11.6 \leq m \leq 14.6$	7.4	$5.7 \leq m \leq 9.1$
III (June 2)	15.2	$13.5 \leq m \leq 17.0$	11.3	$7.9 \leq m \leq 14.7$

axの平均 \bar{R}_{max} , \bar{R}_{rmax} と母平均の95%信頼区間mを示したものである。試験日Iの R_{max} については標本数が少ないため \bar{R}_{max} のみにとどめた。またTable 5に収穫期に入ってから、すなわち試験日II, IIIの R_{max} と形態間の相関係数を示す。同表から球重 W_b および葉数 L_n が R_{max} と0.7以上の比較的強い相関関係を示している。

次に葉の最大引張り力 P_{max} および葉1枚当たりの最大引張り力 P_{max}/L_n についてFig. 8に示す。 P_{max} は収穫期前よりしだいに低下傾向を示す。これはFig. 5における葉数 L_n の減少ともなうものと考えられる。一方 P_{max}/L_n は、試験日I~IIIの範囲での時期的変化がほとんど認められずほぼ $P_{max}/L_n=600\text{ g/枚}$ 前後の値を示している。また、Table 6に P_{max} と各形態との相関係数を示す。引抜き可能な場合の R_{max} との相関係数を示したTable 4

Table 5 Correlation coefficient matrix

		D	B_n	L_n	W_b	R_{max}	
II	D	—	0.60	0.42	0.66	0.37	III
	B_n	0.13	—	0.91	0.80	0.58	
	L_n	0.28	0.73	—	0.76	0.71	
	W_b	0.34	0.78	0.76	—	0.80	
	R_{max}	0.25	0.62	0.70	0.82	—	

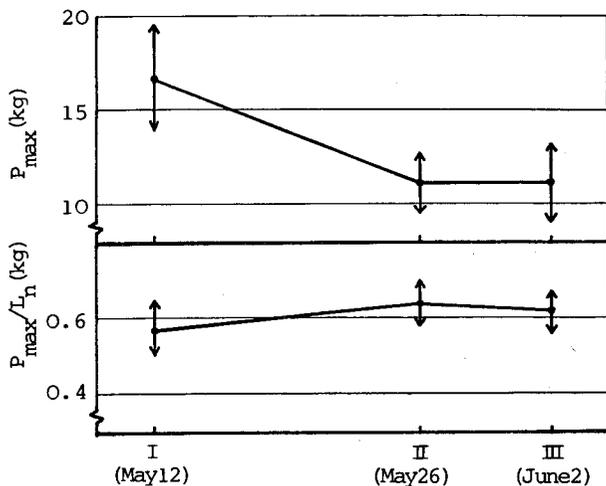


Fig. 8 The relationship between the test day and maximum pulling resistance force of leaves P_{max} , P_{max}/L_n .

および球重 W_b すべてについて引抜き可能な標本の方が生育良好であることを示し、特に葉数 L_n において顕著な差が認められる。

3) 引抜き抵抗力の推定 引抜き抵抗力に影響をおよぼすと考えられる因子は、砂丘地土壌の物理性、試験日(熟度)および各形態などが考えられる。ここでは、最大引抜き抵抗力 R_{max} および根群の最大引抜き抵抗力 R_{rmax} を推定するため、種々の因子を取り上げ重回帰分析³²⁾を行ったなかで最も高い寄与率を得た結果について述べる。

まず、目的変数として最大引抜き抵抗力 R_{max} および R_{rmax} を取り上げ、これらの変動を説明するために説明変数として試験日 T (日)、ほ場含水比 w_{10-20} (%), 球深 D (cm), 球数 B_n (球), 葉数 L_n (枚), 球重 W_b (g) および球長径・短径 $a \cdot b$ (cm) を取り上げ、その影響が1次式の関係で表わされるものとすれば、次式のような回帰式を得る。

$$R_{max}, R_{rmax} = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot w_{10-20} + \beta_3 \cdot D + \beta_4 \cdot B_n + \beta_5 \cdot L_n + \beta_6 \cdot W_b + \beta_7 \cdot (a \cdot b) + \epsilon \quad (1)$$

ここで ϵ は誤差で偶然的原因による変動部分を表わす確率変数であり、その期待値は0である。 β_0 は回帰定数、 $\beta_1 \sim \beta_7$ は目的変数の説明変数に関する偏回帰係数で、これらを未知母数として推定し検定を行い、引抜き可能であった77組のデータに回帰式をあてはめて計算した。なお、試験方法(B)における砂を取り除いた標本については、 $D = 0$ (cm) とした。これらの計算結果をTable 7の分散分析表に示す。また、回帰定数 β_0 および偏回帰係数 $\beta_1 \sim \beta_7$

と比較して葉数 L_n と高い相関関係がみられ、 L_n と球重 W_b との相関が高いため、 P_{max} と W_b との相関もやや強い結果を生じている。

ここで、引抜き可能な標本と不可能な標本とに分けた形態についてFig. 9に示す。同図において実線が引抜き可能、破線が不可能について各々母平均の95%信頼区間を示したものである。試験日Iは引抜き可能な標本例が少なかったためここでは省略した。同図から球数 B_n , 葉数 L_n

Table 6 Correlation coefficient of P_{max} and forms

	D	B_n	L_n	W_b
I (May 12)	0.31	0.77	0.88	0.86
II (May 26)	0.00	0.15	0.81	0.62
III (June 2)	0.36	0.77	0.92	0.88

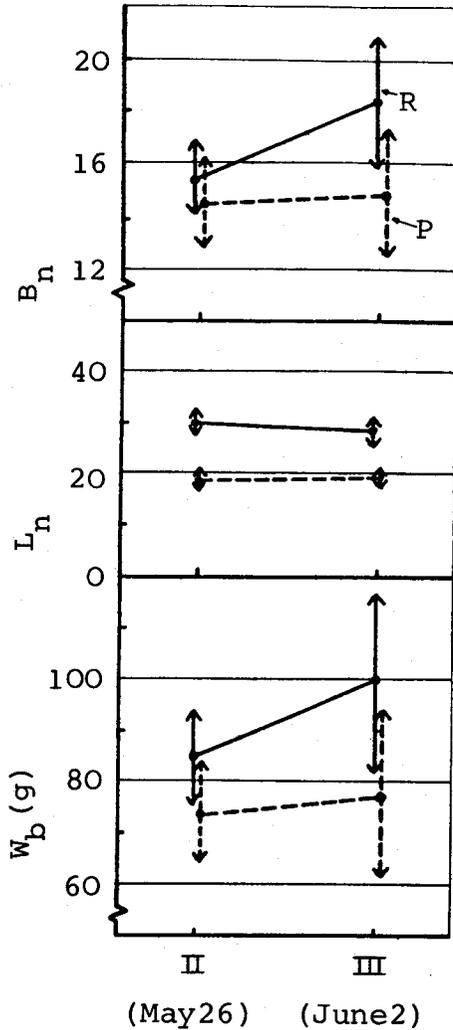


Fig. 9 The relationship between forms and R (able to pull up), P (unable to pull up).

とそれらのt値は,

$$\beta_0 = -0.613$$

$$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \\ \beta_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.342 \\ 1.141 \\ 0.385 \\ -0.263 \\ 0.141 \\ 0.063 \\ 0.093 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} t \text{ 値} \\ \begin{pmatrix} -5.199 \\ 7.286 \\ 6.554 \\ -3.111 \\ 3.127 \\ 3.624 \\ 1.523 \end{pmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} ** \\ ** \\ ** \\ ** \\ ** \\ ** \\ \end{matrix}$$

(** : 1% 有意水準)

となり、平均値 0, 分散 1 の基準化した値から求めた標準偏回帰係数 $\beta_1' \sim \beta_7'$ は,

$$\begin{pmatrix} \beta_1' \\ \beta_2' \\ \beta_3' \\ \beta_4' \\ \beta_5' \\ \beta_6' \\ \beta_7' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.412 \\ 0.397 \\ 0.384 \\ -0.305 \\ 0.300 \\ 0.452 \\ 0.212 \end{pmatrix}$$

となる。個々の偏回帰係数の有意性を t 検定によった結果、1 株の球長径・短径 a・b 以外のすべてに有意差が認められた。そして、重相関係数 0.91, 寄与率 81.9% を得た。次に、標準偏回帰係数 $\beta_1' \sim \beta_7'$ から目的変数と説明変数の相対的な関連の度合の強さをみると、球重 W_b , 試験日 T, ほ場含水比 w_{10-20} および球深 D の順に引抜き抵抗力に強い影響をおよぼしていることが

Table 7 Analysis of variance

	D.F	S.S	M.S	F
Regression	7	1645.5	235.1	44.5**
Residual	69	364.3	5.3	
Total	76	2009.8		

Note; D.F: Degree of freedom
 S.S: Sum of square
 M.S: Mean square
 F: F Value
 **: 1% significant level

わかる。また、試験日 T の偏回帰係数 β_6 が負であることは、試験期間中における球の肥大・分球にもかかわらず、根群による引抜き抵抗力が収穫期に入るとともに減少するためと考えられる。なお、ほ場含水比 w_{10-20} の影響が強い。これは、経験的に降雨後における根群への砂付着量の多いことからもうなずける。そこで、ほ場含水比 w_{10-20} および球深 D を一定 ($w_{10-20} = 5\%$, $D = 10\text{cm}$) として試験日 I, II および III の各形態の母平均の 95% 信頼区間を (1) 式に代入

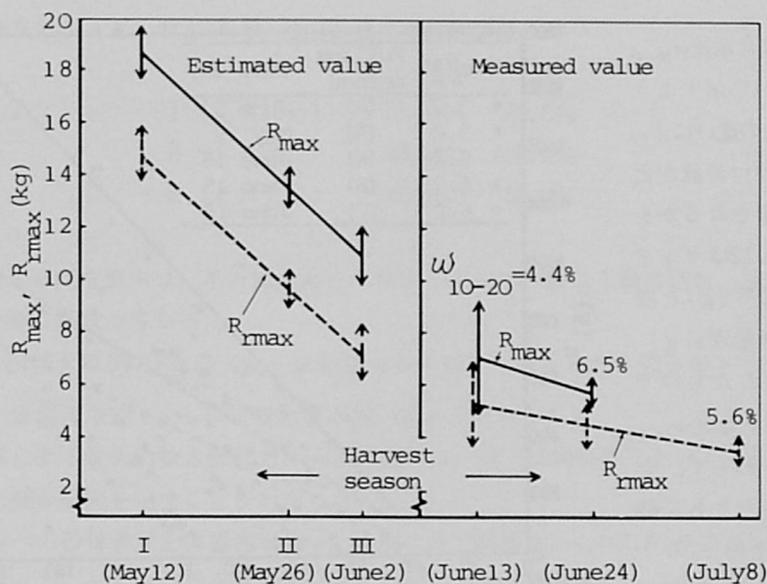


Fig. 10 The estimated value of R_{max} and measured value during the late stages of the harvest season in the mother bulbs field.

して最大引抜き抵抗力 R_{max} および根群の最大引抜き抵抗力 R_{rmax} を求めた値をFig.10に示す。また、参考のため本試験の前年度(昭和49年)に行ったラッキョウ種球ほ場で収穫最盛期の6月13日から7月8日までの引抜き試験結果³³⁾についても同図に示す。これからラッキョウは、収穫期に入る前より根群による引抜き抵抗力が減少しはじめ、Fig. 5に示した地上部である葉数 L_n の低下と同時に地下部である根群の衰退も進行させつつある。このことは休眠期³⁴⁾への移行段階にあることをうかがわせ、やがて葉はまっ



Photo 4 Root zone with sand.

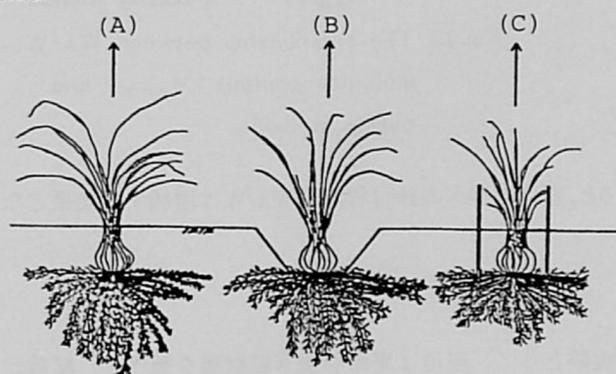


Fig.11 Pulling methods.

たく枯死する。

以上のことから、ラッキョウの収穫は植栽状態のままの引抜きが困難であり、根切り刃を通過させることによって根群の切断とそれともなつて生ずる砂の膨軟化により、引抜き可能となる。

4) 根群への砂付着量 引抜きが可能である場合、根群に砂の付着を生じる(Photo 4)。ここでは、

根群域のほ場合水比 w_{10-20} およびFig. 11に示すような引抜き方法の違いによって根群への砂付着量がどのように影響されるかを調べた。Fig. 12はラッキョウの全重量 W (g)と根群への砂付着量 W_s (g)との関係を示したものである。これから含水比 w_{10-20} の違いにかかわらず、全重量 W の増加とともに砂付着量 W_s も増加しており、根群の生長が全重量 W と高い相関関係にあることをうかがわせる。また、

Fig. 13はラッキョウの全重量 W に対する砂付着量 W_s の割合 W_s/W をほ場合水比 w_{10-20} および引抜き方法別に母平均95%の信頼区間で示したものである。これからほ場合水比 w_{10-20} の増加とともに W_s/W も増加傾向がみられる。また $w_{10-20}=6.2\%$ 一定のもとで、引抜き方法別にみると、植栽状態のままでの引抜き方法(A)による砂付着割合が最も少ない。そして、引抜き方法(B)あるいは、株を中心として10 cm, 切削深20 cmの位置で側根刃を通過させたのちの引抜き方法(C)など、(A)に比べて引抜きがより容易になるよう砂に作用を加えると、逆に根群への砂付着割合 W_s/W は増加する結果となった。

4 要 結

ラッキョウの収穫省力化への基礎実験として、現地ほ場用引抜き試験機を製作し、植栽状態での引抜き抵抗力を測定した。結果の概要は次のとおりである。

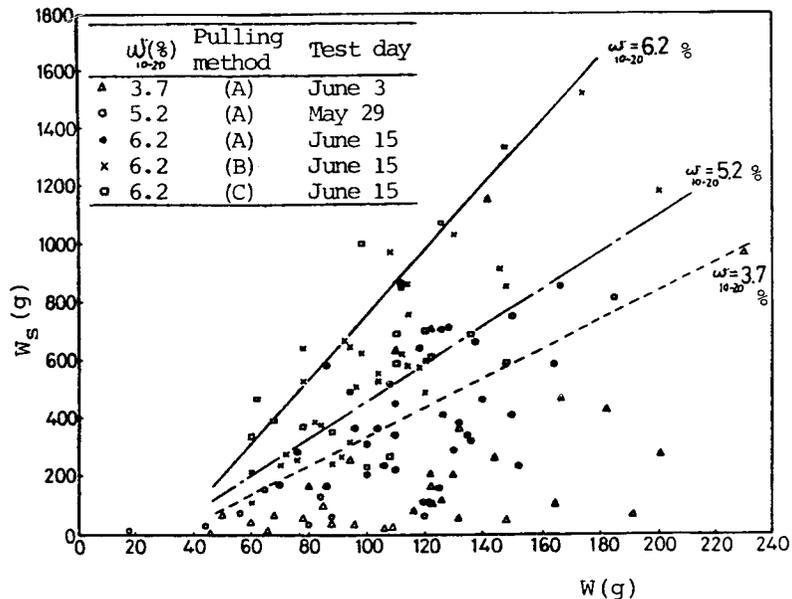


Fig. 12 The relationship between the sand weight of the root zone (W_s) and the weight of Baker's garlic (W).

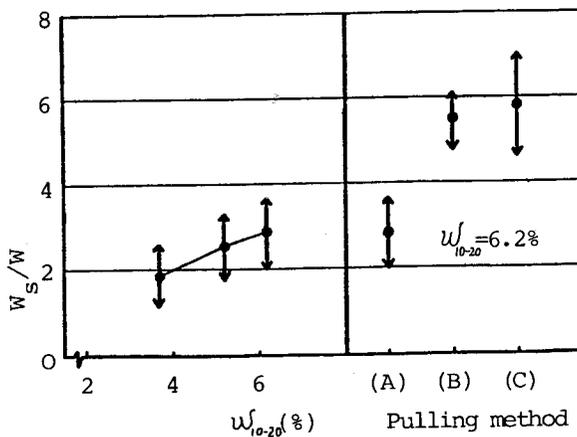


Fig.13 The relationship between W_s/W , moisture content (w_{10-20}) and pulling methods.

(1) 引抜き方法 (A) および(B)での引抜き可能割合は、

	(A)	(B)
I (5月12日)	10.5%	53.5%
II (5月26日)	53.5%	100.0%
III (6月2日)	37.0%	80.0%

であった。

(2) 引抜き可能な標本は、不可能であった標本に比べて一般に1株の球数、球重などの生長が良好で特に葉数が多かった。

(3) 最大引抜き抵抗力Rmax (kg) に影響をおよぼすと考えられる因子のうちで、球重Wb、試験日T、ほ場含水比 w_{10-20} による影響が強いことがわかった。

(4) 根群による最大引抜き抵抗力Rmax (kg) は、同一ほ場条件において、収穫末期に近づくにつれ減少傾向を示すことがわかった。

(5) 根群への砂付着量をほ場含水比 w_{10-20} 別にみた結果、 $w_{10-20}=3.7\sim 6.2$ (%) へ増加するにともなって、ラッキョウ全重量W (g) に対する砂付着量Ws (g) の割合Ws/Wは1.9~3.0へ増加した。そして、 $w_{10-20}=6.2$ (%) 一定のとき、砂中に刃を通過させることによって植栽状態のまま引抜くときよりも約2倍多くなった。

第4章 根切り刃に関する基礎実験^{35, 36)}

1 はじめに

一般に根菜類の収穫作業において根群が土中に残されても連作障害など生理上あまり問題にならないという前提にたてば、根群は根切り刃（根菜類の根群を切断する意味からここでは根切り刃と呼ぶ。）によって可能な限り多く切断された方が収穫・調製作業をする上で好ましい。特にここで対象としているラッキョウは、根群が非常に密生しており、これを一般のコンベアタイプの掘取り機で掘り上げると株が乱れ、収穫後に続く調製作業の能率が悪くなる³⁷⁾。それゆえ、現状の収穫方法の多くは、第2章で述べたように、単に根切り刃を通過させたのち1株ずつ手で引抜き根群に付着した砂を落としてから根群と葉を鎌で切断している。この作業を「荒切り」と呼んでおり、根切り刃によって根群がよく切断できればかなりの省力化が期待できる。

さらに、現行収穫方式をそのまま機械化するとした場合、ほ場含水比の高い湿潤ほ場状態における根群への多量の砂付着は大きな障害となるが、根切り刃によって球底部近くの根群を切断することができれば1つの解決策となる。

本実験の目的は、以上のような問題点の解決をはかるために、砂中に根切り刃を通過させたときの砂地表面変位、けん引抵抗力、根群切断率などを種々のほ場条件下で求め、掘取り機開発への資料を求めようとしたものである。

根切り刃が耕うん後数か月以上経過したほ場での収穫期に入った作物体を対象とするものであり、本実験は根切り刃の作用を種々のほ場条件や作物条件のもとで知ろうとするものであるから、プラウやロータリなど耕うんに関する基礎実験として一般に利用されている土壤槽³⁸⁾を利用することは困難である。なぜなら土壤は1度切削あるいは乱すと再び同一状態にもどすことはむづかしい。さらに作物体に加わると一層困難となる。しかし、一方では土壤槽での実験のように正確な一定の切削深、切削速度を得る必要がある。

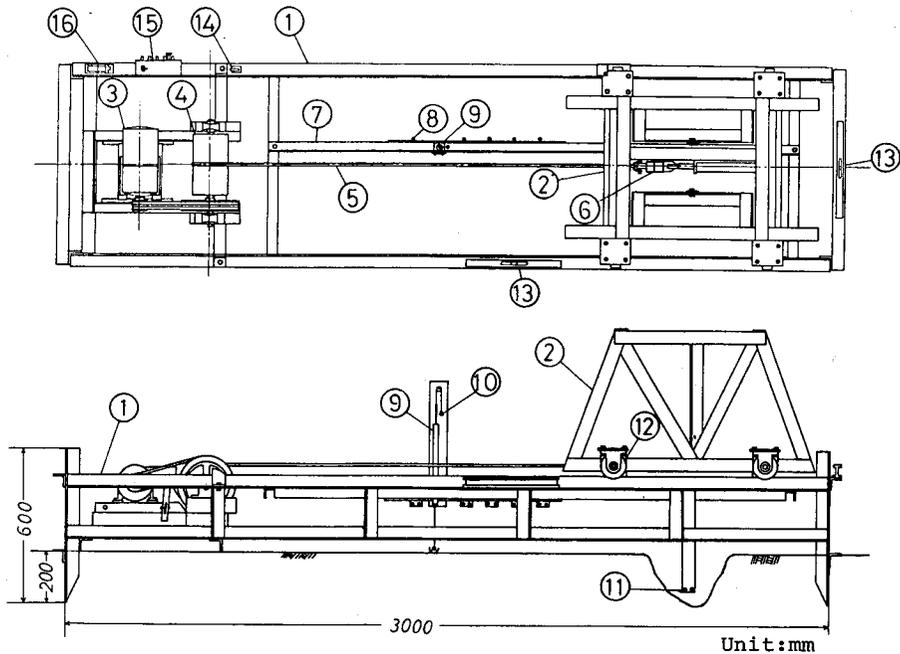
そこで現地ほ場を1つの大きな土壤槽と仮定し、その中を移動させる可搬型の根切り刃けん引装置を用いて実験を行った。このけん引装置の特長は、現地ほ場において土壤槽のように切削深や切削速度を一定に保て、各種の検出器の取付けを容易にできるなど土壤槽のもつ長所を有することである。さらに、ほ場内で切削ごとにけん引装置を移動させることにより、土壤槽の欠点と思われる切削後における土壤物理性を切削前の状態にもどすことおよび自然の経時変化をともなったほ場の物理性をつくりだすことなどのむづかしさを簡単に解決できる点である。

ここでは、まず耕うん後の砂丘裸地におけるいくつかのほ場条件下でけん引試験を行った。そして掘取りを対象とするほ場は、耕うん後の植栽地であることから、耕うん後のほ場物理性の経時変化を知ること付随目的とした。続いて、ラッキョウ植栽地で根切り刃のけん引試験を行ったものである。

2 実験装置および方法

1) 可搬型根切り刃けん引装置 Fig. 14に実験装置の概略図を示す。本装置は、屋外ほ場を土壤槽とみため、1回のけん引試験ごとに移動させて土中に差し込む構造とした。本体①は長さ3m幅80cmであり、根切り刃を取付けた台車②は本体①のアンクル上を滑車をかいしてけん引される。けん引は減速モータ③によりドラム④に巻きつけたけん引ロープ⑤によつた。本体①には2個の水準器⑬を設け、水平に設置できるようにした。なお本体①の土中への埋め込み深さは約20cmである。

計測はまず台車②とドラム④間にロードセル⑥を取付けけん引力を測定した。また検出器取付け棒⑦を設置し、これにマイクロスイッチ⑧を10cm間隔に設け根切り刃の位置を検出した。同じく検出器取付け棒⑦に貫通型差動トランス⑨を設定し、砂地表面の鉛直変位を検出



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| ① Frame | ⑨ Displacement meter |
| ② Bogie | ⑩ Weight |
| ③ Reducton motor | ⑪ Digging blade |
| ④ Drum | ⑫ Pulley |
| ⑤ Traction rope | ⑬ Level |
| ⑥ Load cell | ⑭ Micro switch |
| ⑦ Detector attachment bar | ⑮ Variable resistance |
| ⑧ Micro switch | ⑯ Electric power switch |

Fig. 14 Experimental apparatus of digging blade.

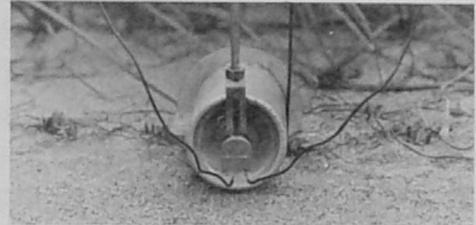
した。裸地における実験では、この差動トランス⑨のコア軸の先端接地部にソリを取付けた。そして砂地表面鉛直変位にソリが追随するようウエイト⑩をコア軸の先端とナイロン糸で結び滑車をかいして取付けた。これにより上向きの力約10g（接地面積1～5cm²）でコア軸はしゅう動した。

植栽地における実験では、ソリかわりに直径53mm、長さ62mmのアルミ缶を取付けた。そして缶の中央にポリウムと周囲にプラスチックのヒレを取付け、Photo5(a)に示すように接地状態のときヒレを土中に差し込み砂の流動にともなってアルミ缶が回転するようにした。このポリウムの抵抗変化を検出することにより、差動トランスによる鉛直変位に加えて、水平変位も同時に検出して根切り刃による砂表面の流動状態も知ろうとした。なおコア軸の他端は、裸地での装置と同様にウエイト⑩を取付けナイロン糸で結び、滑車をかいして取付けた。また、根切り刃によるラッキョウの挙動を測定するため、ポテンシオメータの軸にアルミパイプ（長さ30cm、直径3.6mm）を取付け、他端にはクリップを設けて地ぎわのラッキョウの葉をつかんだ（Photo 5・b）。

2) 供試根切り刃 Fig. 15に示すように同一面積（95cm²）をもつ(a)～(d)の根切り刃を供試した。切削幅は、刃厚 $t = 3.2$ または 6 mmの側刃を取付けて19.6～20.2cmとなる。裸地では(a), (b), (c)の刃厚 $t = 6$ mmの3種を用い、側刃は鉛直刃である(S1)を用いた。一方、ラッキョウ植栽地では、根群の切断効果をみるため、刃厚 $t = 1.6$ mmの薄刃、(d)および側刃(S2)を加えた。

3) 実験方法

(1) 裸地 実験は、本学付属砂丘利用研究施設のほ場約10aを供試した。ブルドーザアタ



(a) Detector of sand surface displacement



(b) Detector of Baker's garlic displacement

Photo 5 Detectors of sand surface displacement and Baker's garlic displacement.

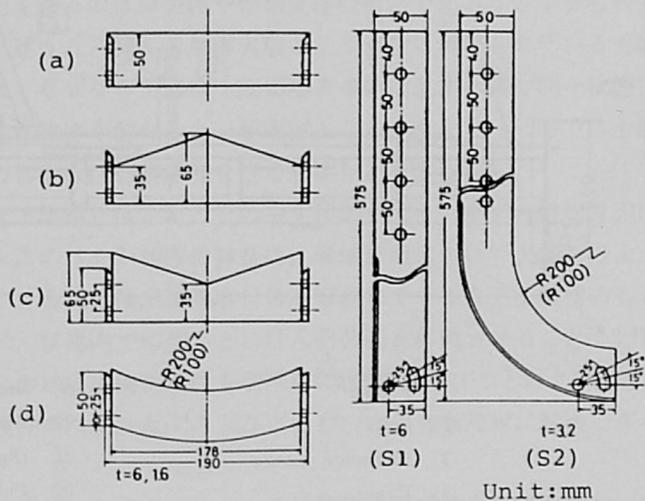
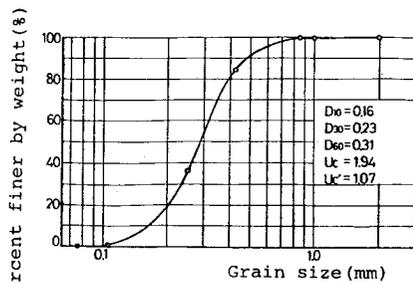


Fig. 15 Digging blade.

ツチメントのロータベータにより耕深25~30cmの耕うん後(8月26日)自然状態のまま放置し、以後9月1・2日、9月22日、10月13日および12月2日にけん引試験を行った。そして1回のけん引試験ごとに、Fig.14の実験装置を1~2m移動させた。試験条件の組合せは、切削深 $d = 5, 10, 15\text{cm}$ 、切削角度 $\theta = 0, 15, 30^\circ$ およびFig.15の根切り刃(a) (b) (c)の側刃(S1)で、けん引速度は一定(13cm/s)とした。

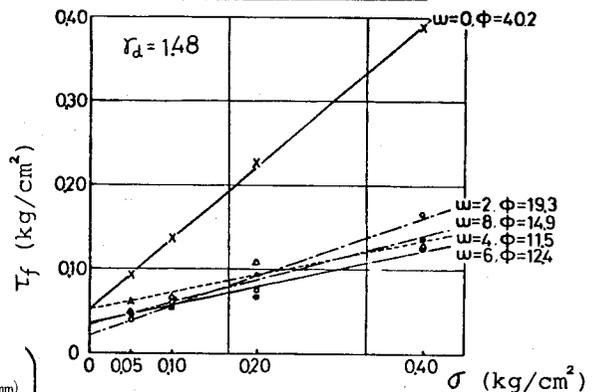
Table 8 Physical properties of the unplanted sand field (1976)

	Depth (cm)	Dry density, γ_d (g/cm ³)	Moisture content w (%)	Three phase		
				S (%)	L (%)	V (%)
Sep.1	0-5	1.25	4.5	48.8	5.8	45.4
	5-10	1.28	6.0	49.5	7.6	42.9
	10-15	1.29	6.3	49.7	8.1	42.3
	15-20	1.32	6.8	51.5	8.9	39.7
Sep.2	0-5	1.30	2.9	50.0	3.8	46.8
	5-10	1.32	5.2	51.4	6.9	41.8
	10-15	1.34	5.7	53.2	7.5	39.4
	15-20	1.32	6.0	51.8	7.9	40.3
Sep.22	0-5	1.27	4.2	46.3	5.3	48.4
	5-10	1.30	5.6	47.8	7.3	45.8
	10-15	1.34	5.3	49.6	7.1	43.3
	15-20	1.32	6.2	48.0	8.1	43.9
Oct.13	0-5	1.29	2.4	46.8	3.0	50.2
	5-10	1.28	4.8	46.3	6.1	47.7
	10-15	1.28	5.5	47.3	7.1	45.7
	15-20	1.28	5.7	47.5	7.3	45.3
Dec.2	0-5	1.36	5.2	49.7	7.2	43.1
	5-10	1.33	6.1	50.0	8.3	41.7
	10-15	1.33	8.1	49.4	10.6	40.0
	15-20	1.33	6.1	48.6	8.1	43.3



(a) Graduation analysis curve

- D_{10} : Effective grain size (mm)
- D_{30} : 30% diameter of soil particle (mm)
- D_{60} : 60% diameter of soil particle (mm)
- U_c : Coefficient of uniformity
- U_{c1} : Coefficient of curvature



(b) The relationship between shearing stress (τ_f) and normal stress (σ)

- w : Moisture content (%)
- ϕ : Angle of internal friction (deg.)
- γ_d : Dry density (g/cm³)

Fig. 16 The physical conditions of the test field.

Table 9 Physical properties of the planted sand field (1977)

	Depth (cm)	Dry density γ_d (g/cm ³)	Moisture content(d.b.) w (%)	Three phase		
				S (%)	L (%)	V (%)
June 1	0-5	1.53	0.52	56.3	0.8	42.9
	5-10	1.46	1.44	53.4	2.1	44.5
	10-15	1.43	2.23	52.9	3.2	44.1
	15-20	1.41	3.04	51.8	4.3	43.9
June 7	0-5	1.48	1.27	51.9	1.8	46.3
	5-10	1.44	2.61	48.9	3.8	47.3
	10-15	1.41	3.79	51.1	5.3	43.6
	15-20	1.38	4.91	49.6	6.8	43.6
June 20	0-5	1.43	3.57	51.9	5.1	43.0
	5-10	1.45	5.21	52.6	7.6	39.9
	10-15	1.40	5.01	51.1	7.0	41.9
	15-20	1.36	5.43	49.9	7.4	42.8
June 23	0-5	1.41	1.20	52.6	1.7	45.7
	5-10	1.46	3.40	54.4	5.0	40.6
	10-15	1.39	4.35	51.5	6.1	42.4
	15-20	1.40	4.87	51.5	6.8	41.7

耕うん後の土壤物理性の経時変化をみるため、試験日ごとに円筒サンプリにより、深さ0～20cm間を5cmごとに採土し、実容積測定装置を用いて3相分布を測定した。また土壤硬度は山中式土壤硬度計によった。Table 8に各試験日におけるほ場条件と、Fig. 16に供試ほ場の粒径加積曲線と一面せん断試験機による乱した試料のせん断結果を示す。

(2) 植栽地 ほ場は、本学付属砂丘利用研究施設内で昭和51年8月23日ロータリで耕うん後、種球（品種ラクダ）を1球ずつ8cm間隔に植付けた約10aを供試した。試験はラッキョウ収穫期である昭和52年6月1, 7, 20および23日にそれぞれ行った。Table 9に各試験日におけるほ場条件とTable 10に主な形態の平均値と標準偏差を示す。けん引試験方法は裸地の場

Table 10 Planted condition of Baker's garlic

	Bulb depth D (cm)		Number of bulbs N		Root weight W_r (g)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
June 1	7.3	0.3	3.8	1.4	52.0	7.3
June 7	7.3	0.6	4.8	1.6	74.2	14.0
June 20	7.2	0.7	5.5	1.5	97.5	27.5
June 23	7.3	0.7	4.8	1.4	73.1	18.4

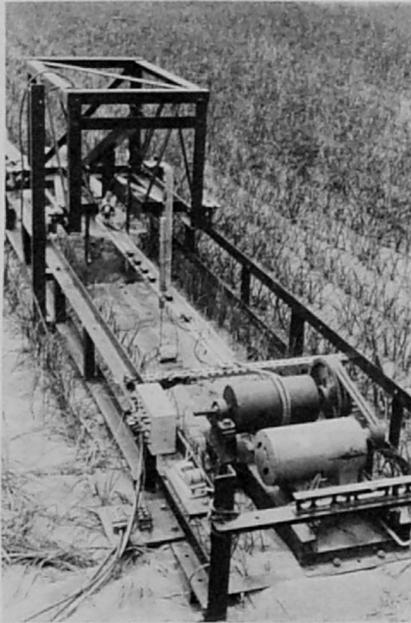


Photo 6 Pulling test in the planted sand field.

合に準じたが、植栽状態にあるためけん引装置の設置は根切り刃の中心が植付け条と一致するようにした。さらに、切削深 d (cm) も 10cm の一定深さになるようにけん引装置を土中に貫入させた。そして、試験ごとにスケールによる読取りと差動トランスの接地位置から切削深 d を求めた。なお、砂地表面変位の検出がラッキー



Photo 7 The measurement of root zone distribution.

ヨウの葉によって乱されないよう Photo 6 に示すように、けん引試験の直前にカッターナイフで地上部を切り取った。

4) モノリス法による根群採取器具 収穫期における根群を機械的に切断するに必要な根切り刃形状を求めるため根群分布調査を行った。

一般に作物の根系調査の目的は、i) 作物と土壤条件との関係を生態学的に研究する場合、ii) 栽培試験などにおいて生育調査の 1 部として、iii) 土壤水分や化学成分の多少など極端に異なる影響を与えこれらが根の発育におよぼす影響を知ろうとする場合などで、調査方法もブロック法、ざんごう法、モノリス法などがある³⁹⁾

ここでは、モノリス法を参考にして根群採取器具を作った。厚さ 1.6mm の鉄板を幅 40cm、高さ 30cm 奥行き 9cm のコの字形に折り曲げた鉄板と、これに相対する側板を作り、まずコの字形の鉄板をハンマーにて砂中に打ち込み、次に側板を打ち込んだのち掘り上げた。そして球底部 (球深 D に等しい) を基準として、5cm × 5cm × 9cm の小ブロックにナイフで区切り (Photo 7)、各小ブロックの根群と砂をふるい分け、根群の重量を測定した。

3 実験結果および考察

1) 裸地

(1) けん引抵抗力 まずけん引抵抗力 P (kg) と切削深 d (cm) の関係を Fig. 17 に示す。同図は切削角度 θ 別に示したもので、けん引抵抗力 P (kg) はオシログラムトレーサーにより定間隔法⁴⁰⁾で読取り、その平均値で示した。また切削深 $d = 5, 10, 15$ cm を得ることが困難であった。これは、i) けん引装置のフレームを砂中に埋め込んで水準器で水平をとるため次第に埋め

込みすぎになった、ii) 試験日よりほ場条件特に貫入抵抗の違いがあった、iii) 試験ほ場に若干の傾斜があった、などの理由による。そこで、各けん引試験直前のスケールによる読取りと、差動トランスの接地位置から切削深 d (cm) を算出した。その結果、当初の設定深さよりもいづれも 2~6 cm 深い切削深となった。Fig. 17 はすべての試験日を含んだものであり、けん引抵抗力 P (kg) は切削深 d (cm) と相関関係 $r=0.9$ 前後の非常に高い値を得た。そして各試験日ごとの

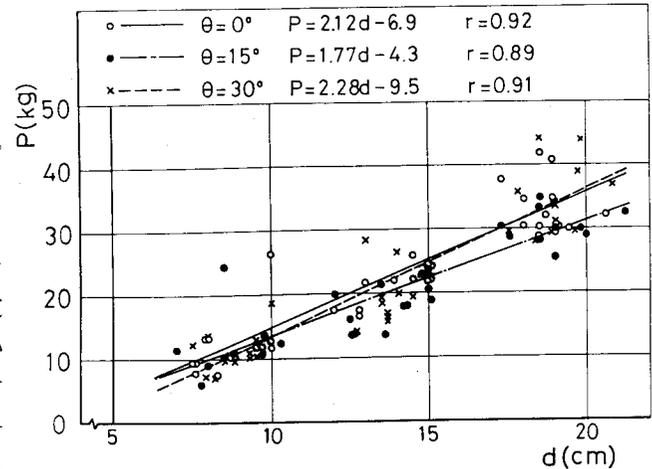


Fig. 17 The relationship between draft force (P) and cutting depth (d).

Table 11 Analysis of variance for draft force (Dec. 2)

	D.F	S.S	M.S	F
D (cutting depth)	2	2978.3	1489.1	209.0**
θ (Cutting angle)	2	11.8	59.3	8.3*
C (Digging blade)	2	26.1	13.4	1.8
D \times θ	4	40.0	10.0	1.4
D \times C	4	13.9	3.4	0.5
θ \times C	4	89.8	22.5	3.2
e	8	57.0	7.1	
T	26	3323.8		

** : 1% significant level

* : 5% significant level

3元配置による分散分析の結果、Table 11の試験日12月2日の例に示すように切削深 d の寄与率が90%近くあり、切削角度 θ による有意差も認められたがその寄与率は、いずれの試験日においても10%以内であった。そして刃形状間による有意差は認められなかった。

次に、Fig. 18(a)に比抵抗 k (kg/cm²) と切削深 d (cm) の関係を試験日別に示す。比抵抗 k は次式より求めた。

$$k = P/d \cdot w \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{-----(2)}$$

ここで w : 切削幅 (cm)

なおFig. 18(b)には、試験期間中の日別降雨量も示した。比抵抗 k は、ほぼ0.04~0.14 kg/cm² の範囲に存在し、全体として切削深 d が深くなるとともに増加傾向にある。最も低い比抵抗 k を示した10月13日は試験以前4日間降雨がなく地表面が乾燥しており、ほ場含水比 w は0~5 cm深でほぼ2.4%と低い値を示している。一方、最も高い比抵抗 k を示した12月2日は、11月29、30日の2日間みぞれによる積雪があり0~5 cm深で含水比 $w = 5.2\%$ の高い値を得てい

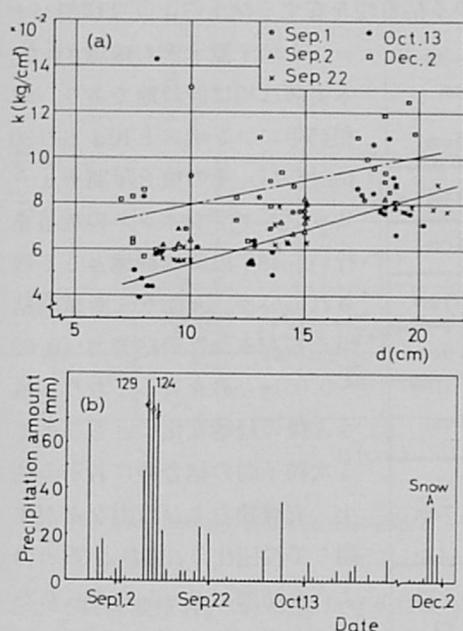
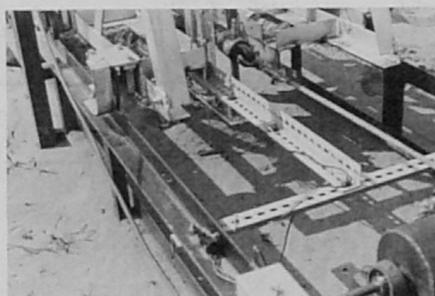


Fig. 18 The relationship between specific resistance (k) and (d).

いても、砂地表面に明確なせん断面を生じた標本例がほとんどであったが、試験日によってかなり異なった切削による表面パターンが観察された。本実験は屋外ほ場であるので、室内外での土壌槽のように側面からの観察を行い難く表面のみの観察にとどまったが、大きく分けてPhoto 8 (a), (b), (c)にみられる砂地表面形状パターンが得られた。まず(a)は、耕うん後の経過日数の最も少ない9月1・2日での切削状況である。根切り刃によって連続的な砂の盛り上がりによるせん断を生じ、砂粒子間の結合はほとんどみられないようすがうかがえた。そして表面の砂が根切り刃の進行方向へ流動した。一方耕うん後97日経過した12月2日においては、(b)に示すように砂表面に皮膜を形成しており、根切り刃の前方に生じるせん断は間欠的に現われている。これは、耕うん後の経時変化にともなって、砂粒子間の結合特に若干の粘土、有機物および降雨などが作用して表面が粒団化したものと考え

る。これらのことから耕うん後の自然状態での砂の締め固まりによるけん引抵抗力 P の増加は、12月2日において乾燥密度 γ_d の高かったことから考えられるが、耕うん日である8月27日から10月13日までのほぼ50日位では認められない。すなわち経時変化にともなう砂の締め固まりよりも、むしろそのときのほ場含水比 w がけん引抵抗力 P に強く影響することが考えられる。

(2) 砂地表面変位 一般に砂の場合粘着力を有しないとされ、その切削パターンは、いわゆるせん断形⁴¹⁾として扱われている。本実験にお



(a) Sep. 1, $\theta = 30^\circ$



(b) Dec. 2, $\theta = 30^\circ$



(c) Dec. 2, $\theta = 0^\circ$

Photo 8 Patterns of sand surface caused by digging blade.

られる。また同じく12月2日において、切削角度 $\theta = 0^\circ$ のとき根切り刃の通過前および通過後においても砂地表面にせん断を生じず、いわゆる粘着性を有する粘土のような切削パターンを示す標本例も確認された。

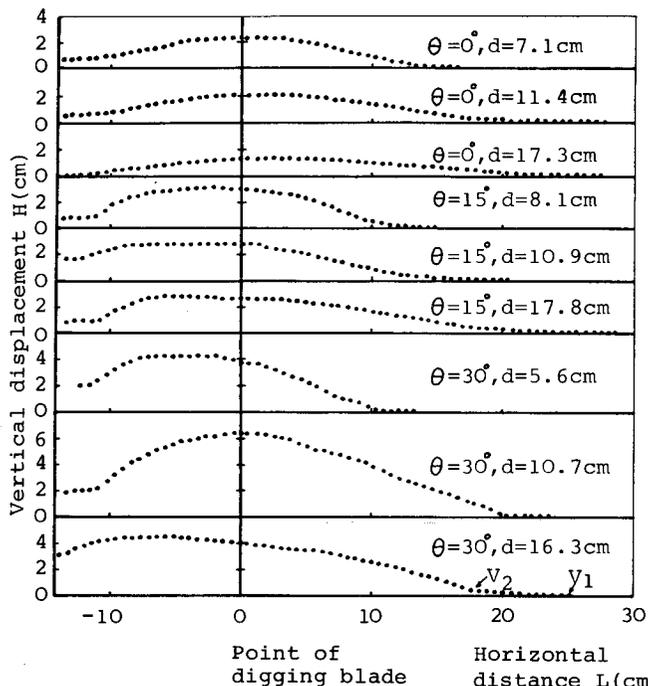


Fig. 19 Examples of recorded sand surface displacements.

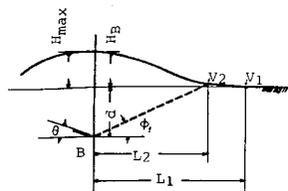
同図は刃先鉛直上方における砂地表面を基点0として、12月2日における鉛直変位H(cm)をFig. 15(b)の凸刃について示したものである。鉛直変位開始点は、刃先前方 V_1 の位置よりゆるやかに直線的に盛り上がり始め、やがて変曲点 V_2 をもって急に盛り上がる標本例が多くみられた。ここで鉛直変位開始点 V_1 は、オシログラムトレーサーにおいても決定しがたく、実際の鉛直変位が0.5mm生じた点をオシログラムの基点から求めて V_1 として示した。これらの砂地表面変位を模式図でFig. 20に示す。同図において鉛直変位開始点 V_1 と刃先位置Bとの水平距離を L_1 (cm)、変曲点 V_2 とBとの水平距離を L_2 (cm)とすると、 $L_1 - L_2$ (cm)が弾性を有する変形範囲とみなせ、変曲点 V_2 と刃先位置Bとのなす線

上がせん断によるスベリ発生面⁴²⁾と考えられる。

ここで、これらの主な実測値について検討する。Fig. 21(a)(b)は切削深d(cm)と刃先上方における鉛直変位 H_B および鉛直変位開始点 V_1 までの距離 L_1 (cm)の関係を示したものである。(a)に

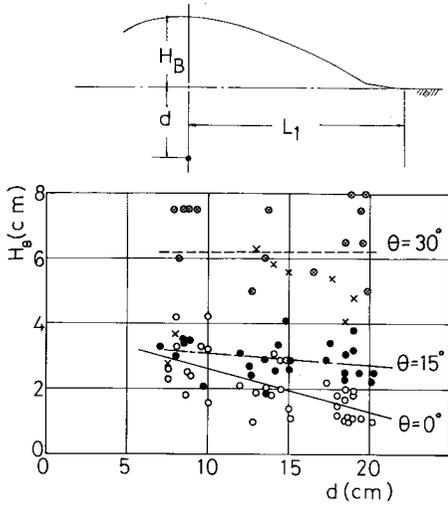
次に根切り刃による砂地表面変位の記録例をFig. 19に示す。

次に根切り刃による砂地表面変位の記録例をFig. 19に示す。

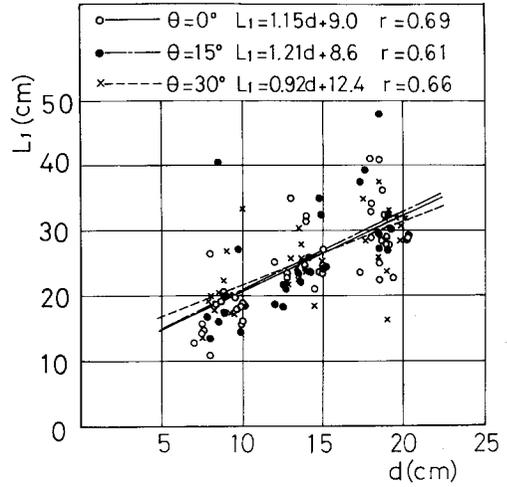


- V_1 : Rising point
- V_2 : Inflection point
- B : Point of digging blade
- L_1 : Horizontal distance from B to V_1 (cm)
- L_2 : Horizontal distance from B to V_2 (cm)
- H_B : Vertical displacement at B(cm)
- H_{max} : Maximum vertical displacement (cm)
- ϕ_1 : Shear angle (degree)
- θ : Cutting angle of digging blade (degree)

Fig. 20 Schematic diagram of sand surface displacement.



(a) The relationship between H_B and d



(b) The relationship between L_1 and d

Fig. 21 Sand surface displacements.

において鉛直変位 H_B は、切削角度 θ に大きな影響を受け、切削深 d の増加とともに減少する傾向が認められ、特に $\theta = 0^\circ$ においてその傾向が顕著である。 $\theta = 30^\circ$ においては、根切り刃の進行とともに進行方向への砂の流動のため、砂地表面が膨軟となって差動トランスの接地部が砂中へ沈下したため測定数が少ない。そこで停止時にスケールにより測定した標本を \otimes の記号で示した。次に、(b)において刃先位置 B より鉛直変位開始点 V_1 までの水平距離 L_1 についてみると、切削深 d による影響が大きく、両者間の相関係数 $0.6 \sim 0.7$ を得た。

次に変曲点 V_2 と刃先位置 B を結んだ直線と水平線とのなす角をせん断角 ϕ_1 としたとき、

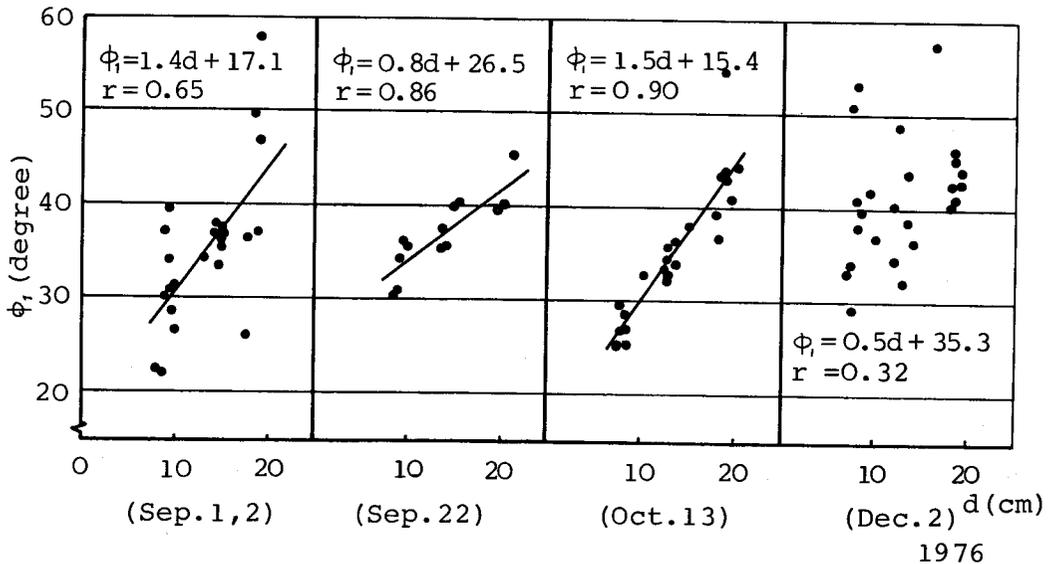


Fig. 22 The relationship between shear angle (ϕ_1) and cutting depth (d).

これを試験日別にFig. 22に示す。せん断角 ϕ_1 は全体としてほぼ20~55°の範囲に存在し切削深 d と高い相関関係が得られ、なかでも10月13日では相関係数 $r=0.90$ を得た。これは地表面が乾燥して砂粒子間に粘着性を与えると考えられる水分が少ないとき、比較的規則性のあるせん断が地表面に生じてこのように高い相関関係が得られたものと考えられる。一方、12月2日においては、地表面のほ場含水比が高く、かつ皮膜を生じているため、地表面へのせん断面が間欠的に生じて(Photo 8・b)相関関係が低くなったものと考えられる。なおFig. 22は、切削角度 $\theta=0, 15, 30^\circ$ をすべて含んでおり、切削角度 θ によるせん断角 ϕ_1 への影響は顕著な差が認められなかった。

以上述べた砂丘裸地での根切り刃のけん引試験結果から、ラッキョウの収穫との関連の上で若干の考察を試みる。いま根切り刃の作用を主として根群の切断、株の押し上げおよび土壌の膨軟化作用をなすものとする。第3章において、ラッキョウを引抜いたときは場湿润時における根群への多量の砂付着を生じたことから、ここでは根切り刃による根群切断作用を高めることについて考える。

根群が根切り刃によって直接切断されるとするならば、砂は根群を保持する受刃として重要な役割を果たす。この意味から根切り刃の砂中切削によって砂の変位は小さい方が好ましい。すなわち、裸地での根切り刃による砂地表鉛直変位が、植栽中のラッキョウの鉛直変位と同じ挙動を示すかどうかはここでは明らかでないが、両者の変位が正の相関関係を示すとすれば、根切り刃の切削角度 θ が大きいくほど、根切り刃通過点でのラッキョウの鉛直変位も大きくなり、高い根群切断効果を期待できない。ほ場含水比 w の高いとき地表面にせん断現象を生じなかった標本例(Photo 8・c)があったように、根切り刃が砂に対してせん断作用よりも切断作用の働く方が切削抵抗は増加するけれども根群への切断効果は高まると考えられる。

2) 植栽地

(1) 根群分布 Photo 9に各小ブロックに分けた根群分布状況の1例を示す。また、Fig. 23に砂丘利用研究施設ほ場および福部村の根群重量分布割合を示す。各々鉛直分布、水平分布を示したもので、球底部を基準にした。同図から球の直下周辺が最も高い根群重量分布を示している。鉛直方向分布をみると、地表面から球深 D までおよび球の直下5cmまでの根群重量分布割合の和は、全体の80~90%に達している。

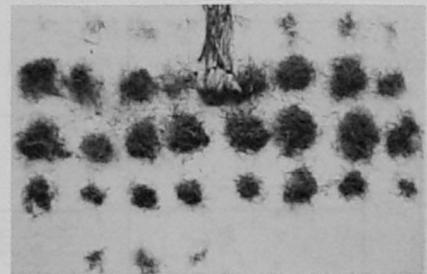


Photo 9 The root zone in planted Baker's garlic.

そして球深 D よりも地上側に15%以上分布しており、いわゆる乾砂層付近⁴³⁾まで根群が伸びている。一方水平分布は鉛直分布に比べてかなり平均した分布を示した。これらは収穫期間を通じてほぼ同様の傾向を示した。すなわち、ラッキョウの根群分布は、側根が著しく発達し、重量分布割合からみれば浅根性であると考えられる。これは、近年スプリンクラーの普及によるものと、耕うん深が大きく影響していることが考えられる。したがって、根切り刃によって根群切断効果を高めるには、側根の切断に留意するとともに切削深 d の制御が重要となる。

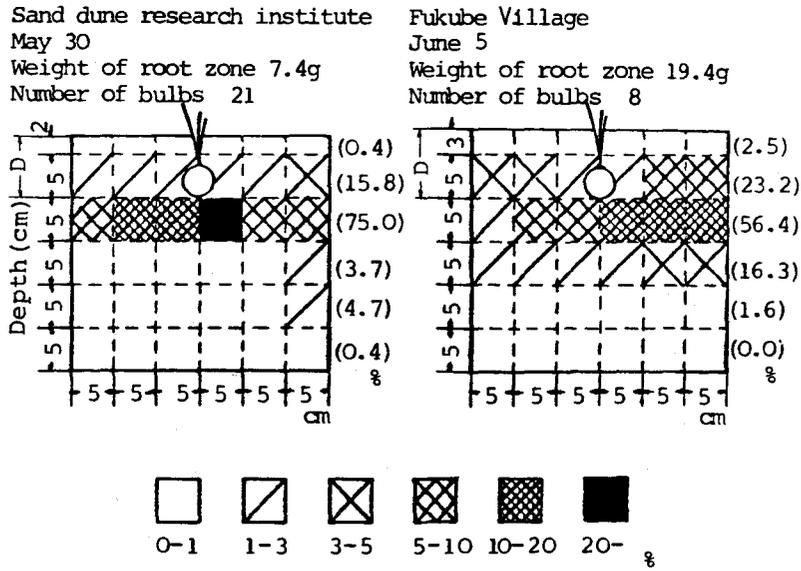


Fig. 23 The weight distribution of root zone the in planted Baker's garlic.

Note: The weight percentage of the root zone is indicated in parentheses.

(2) けん引抵抗力 Fig. 24にけん引抵抗力 P (kg) と切削深 d (cm) との関係を試験日別に示す。6月1日と20日については、同一ほ場の裸地での結果も示した。図中の w_{5-15} は、切削深 d が 7~12cmであったこと、および根群域が主として 5~12cmであったことから、5~15cm

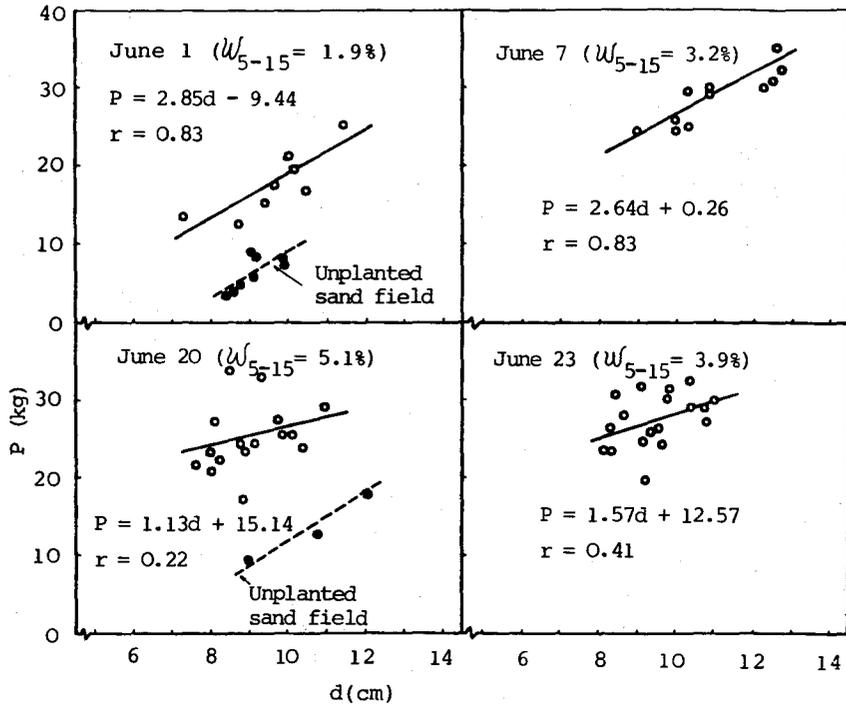


Fig. 24 The relationship between draft force (P) and cutting depth (d).

深の平均ほ場含水比 w_{s-15} として求めたものである。これからけん引抵抗 P と切削深 d の関係は、前項 1) での裸地の場合いずれの試験日も強い相関関係を示したが、植栽地ではほ場含水比 w_{s-15} の比較的高い 6月20, 23日において弱い相関関係を示している。

次に Fig. 25 において、(2)式より求めた比抵抗 k (kg/cm^2) と切削深 d (cm) の関係を見ると、裸地では、 k は d の増加とともに増加する傾向がみられたが、植栽地では試験日によってまったく異なった傾向を示している。同図において2線の破線間は、前項 1) 裸地の結果を示したものである。裸地での比抵抗が切削深 $d=7\sim 12\text{cm}$ で $k=0.02\sim 0.07$ (kg/cm^2) あるのに対して植栽地では、ほぼ $k=0.07\sim 0.2$ (kg/cm^2) の範囲にあり、試験日によ

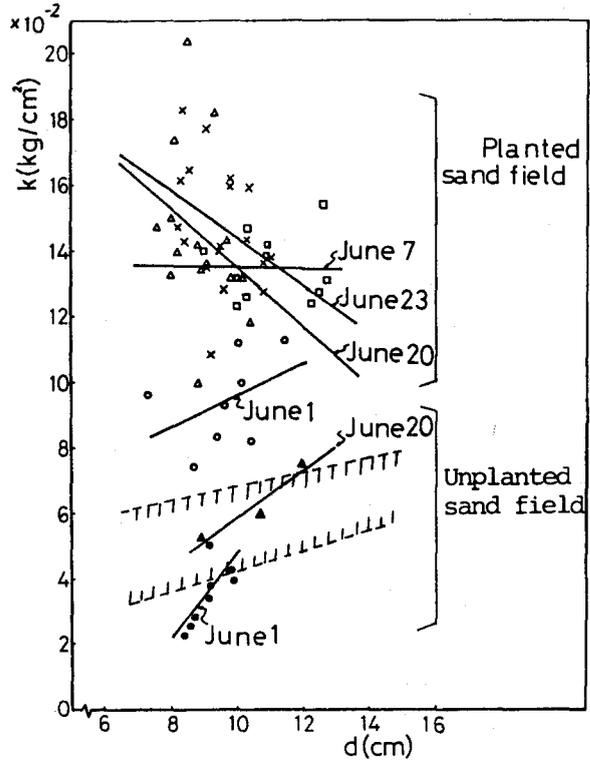


Fig. 25 The relationship between specific resistance (k) and cutting depth (d).

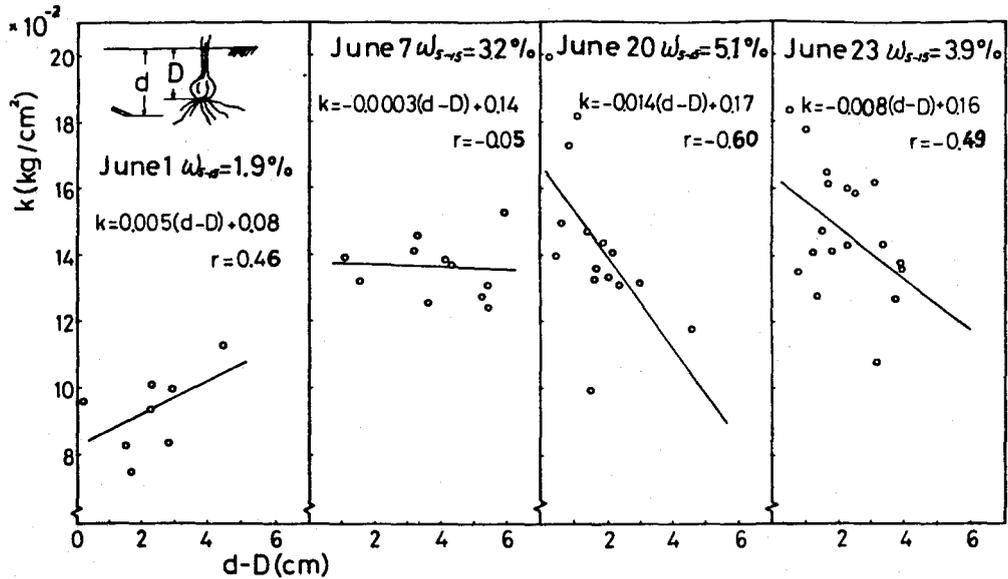


Fig. 26 The relationship between specific resistance (k) and distance from cutting depth to bulb depth ($d-D$).

ってラッキョウ根群が根切り刃のけん引抵抗に大きな影響をおよぼしていることがわかる。そこで、各試験日ごとの切削深 d (cm) とその切削した条の球深 D (cm) との差 $(d - D)$ (cm) と比抵抗 k (kg/cm²) の関係について求めた結果を Fig. 26 に示す。これから植栽地での比抵抗 k (kg/cm²) は、ほ場含水比 $w_{5-15} = 1.9\%$ の低い 6 月 1 日の乾燥ほ場状態では、切削深 d と球底部までの深さ、すなわち球深 D との差 $(d - D)$ (cm) が大きくなるにつれて増加し、正の相関関係を示す。一方、ほ場含水比 w_{5-15} が高くなるにしたがって、6 月 7 日の $w_{5-15} = 3.2\%$ ではまったく相関関係がなくなり、6 月 20、23 日の $w_{5-15} = 5.1, 3.9\%$ の湿潤ほ場状態では負の相関関係を示す。すなわち、湿潤ほ場状態では、球深 D の近くを切削するほど比抵抗は高い値となる。この原因は、根切り刃が根群の切断もしくは破断などに費やした抵抗の差による結果とみられ、後述する根群切断率との関係でより明確になる。なお、根切り刃の切削角度 ($\theta = 0, 15, 30^\circ$)、刃厚 ($t = 6, 1.6\text{mm}$) および側刃 (S1, S2) の相違による比抵抗 k への影響をみるため、3 元配置による分散分析を行った結果いずれも有意差は認められなかった。

(3) 根群切断率 ラッキョウの収穫省力化の上で湿潤ほ場状態における根群への多量の砂付着を根本的に解決するには、可能な限り根群が根切り刃によって切断されることが望ましい。ここでは、根切り刃による根群切断効果を高めることを目的として、ほ場条件、根切り刃および切削深などが根群切断におよぼす影響を調べた。

Fig. 27 は根切り刃による根群切断率 Q (%) と、切削深 d (cm) と球深 D (cm) の差 $(d - D)$ (cm) との関係を試験日別に示したものである。ここで、根群切断率 Q (%) は次式より求めた。

$$Q = \{ (\bar{W}_R - W_{RC}) / \bar{W}_R \} \times 100 (\%) \dots\dots\dots(3)$$

ただし \bar{W}_R : 根切り刃通過前における平均根群重量 (g/10株)

W_{RC} : 根切り刃通過後におけるラッキョウに残った根群重量 (g/10株)

同図から根群切断率 Q と、切削深 d と球深 D の差 $(d - D)$ は負の相関関係を示し、一般に根切り刃が球深 D 近くを切削するほど根群切断率 Q は増加するが試験日によって Q の値に大きな差がみられる。この原因は、第 3 章において収穫期に入ってから根群の最大引抜き抵抗 R_{rmax} (kg) が減少したことから、根群の衰退が進行して根切り刃による切断あるいは破断

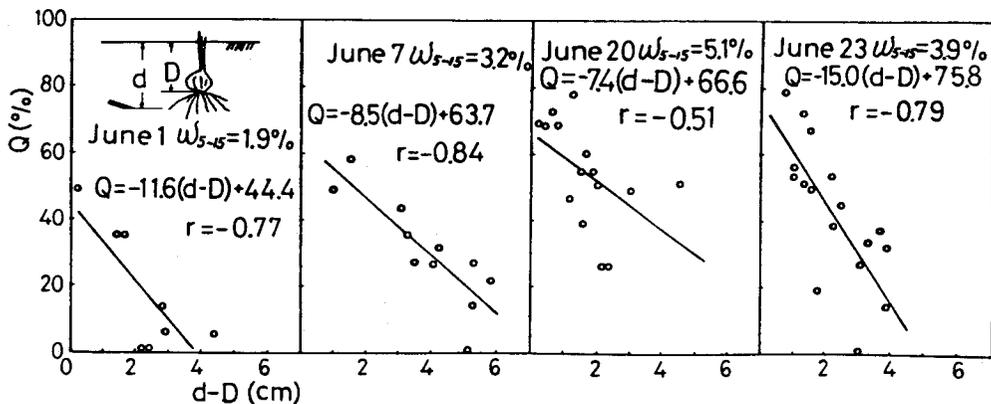


Fig. 27 The relationship between the cutting efficiency of the root zone (Q) and the distance from the cutting depth to the bulb depth ($d - D$).

が行われやすくなっていることも無視できないと思われるが、主としてほ場含水比 w による影響が非常に大きいと考えられる。すなわちほ場含水比 $w_{5-15}=1.9\%$ の6月1日では、根切り刃が $(d-D)=1\text{cm}$ 以内を通過しても根群切断率 Q は50%程度しか得られなかったが、 $w_{5-15}=3.9$ あるいは5.1%の6月20, 23日では、 $Q=70\sim 80\%$ の高い値を得ている。このように根群切断率 Q がほ場含水比 w_{5-15} の増加にともなって高くなることは、乾燥ほ場状態では根群が根切り刃によって切断されずに砂中を比較的容易に移動して砂の流動とともにラッキョウの株全体が上方に移動して根切り刃の上を通過すると考えられる。このことは、Fig. 26における比抵抗 k と、切削深 d と球深 D の差 $(d-D)$ との関係において、乾燥ほ場状態では根群があまり切断されないために切削深 d の影響を強く受けて裸地と同じ正の相関関係を示すが、湿潤ほ場状態では根群域を根切り刃が通過するさい、砂がいわゆる受刃の役割を乾燥ほ場状態に比べてより多く果たすと考えられ、短縮茎から太い根の密生している球底部に近づくほど根群切断率 Q は高まるが、逆に根群を切断するのに要する抵抗が大きくなった結果切削深 d と負の相関関係を示すことになる。このように根群切断率 Q は、切削深 d と球深 D の差 $(d-D)$ とほ場含水比 w_{5-15} に大きく左右されることがわかる。

次に根切り刃の切削角度 ($\theta = 0, 15, 30^\circ$)、形状 (Fig. 15(a) $t = 6, 1.6$ および $(d)t =$

1.6) および側刃 (S1, S2) の違いが根群切断率 Q におよぼす影響をみたが、いずれも有意差は認められなかった。これは、わずかな切削深 d の差が大きく根群切断率 Q に影響をおよぼすためと考えられる。したがって、ここでは有意差は認められなかったが明らかに根群切断率 Q に影響をおよぼす効果が認められた側刃の違いによる結果をFig. 28に示す。同図は、各試験日におけるほ場含水比 w_{5-15} を横軸に示し、根群切断率 Q は95%信頼区間で示した。鉛直側刃である (S1) に比べ (S2) の方が、根群切断率 Q は高くなる傾向を示している。これは側刃 (S2) がラッキョウの根群 (主として側根) を下方に圧縮する作用をなし、ラッキョウが根切り刃の前方で浮き上がることを防いで根切り刃の根群切断率 Q を高めるこ

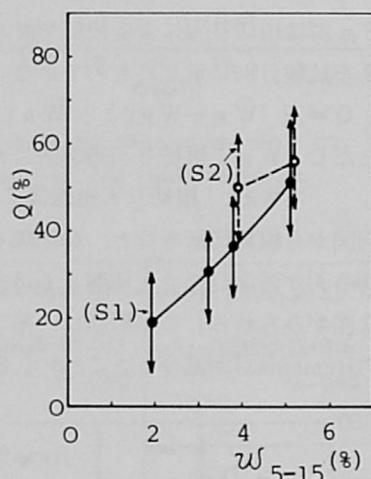
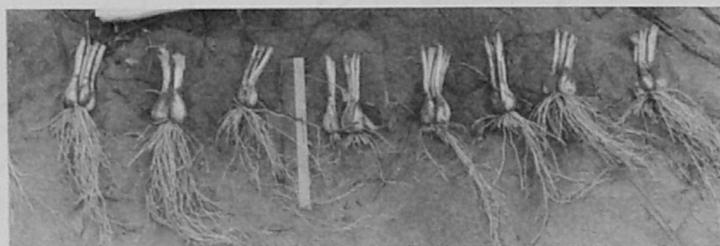


Fig. 28 The relationship between Q and w_{5-15} .



((S1), (d) : $R=200, t=1.6\text{mm}, \theta=15^\circ$
 $d=10.0\text{cm}, Q=57.3\%$)

Photo 10 The situation of root zone after cutting with a digging blade.

とになったものと考えられる。また、側刃 (S2) により側根を圧縮しながらの押し切り作用が働いたものと考えられる。

砂中での根切り刃による根群の切断状況を観察することはできないが、根切り刃通過後の根群の切断跡を見ると Photo 10 に示すように、一般に根切り刃通過しはじめの根群域が比較的よく切断されており、根切り刃が球直下を通過した後の根群域はあまり切断されていない。これは球通過前は、株全体が根切り刃によって拘束された状態にあるものと思われ、やがて根切り刃が球直下を通過すれば根群は砂の変位と同じ挙動を示し、容易に根群は根切り刃から逃げるができるためと思われる。したがって根群切断率 Q は、後述する砂表面変位およびラッキョウの挙動と深い関係にあるものと思われる。

(4) 砂地表面変位とラッキョウの挙動 Fig. 29 に側刃 (S2) を用いたときの砂地表面の鉛直および水平変位の記録例を示す。水平変位すなわち根切り刃の進行方向への砂の流動は、根切り刃の中央で最大 20mm 程度の範囲にあった。次章で述べる試作引抜き式掘取り機の試運転において根切り刃前方への砂の流動・堆積が大きかったのは、側刃が根群の切断作用よりもむしろ株を持ち上げる方向に働くよう作用させたため、根群が切断されずに根切り刃の進行とともに移動し、これが砂の流動堆積につながったと考えられる。

Fig. 30 は、ポテンシオメータを利用した砂地表面とラッキョウの鉛直変位の 1 例を示す。根切り刃は Fig. 15(d) の $R=200$, $t=1.6$ mm を、側刃は (S2) を使用した。ラッキョウの変

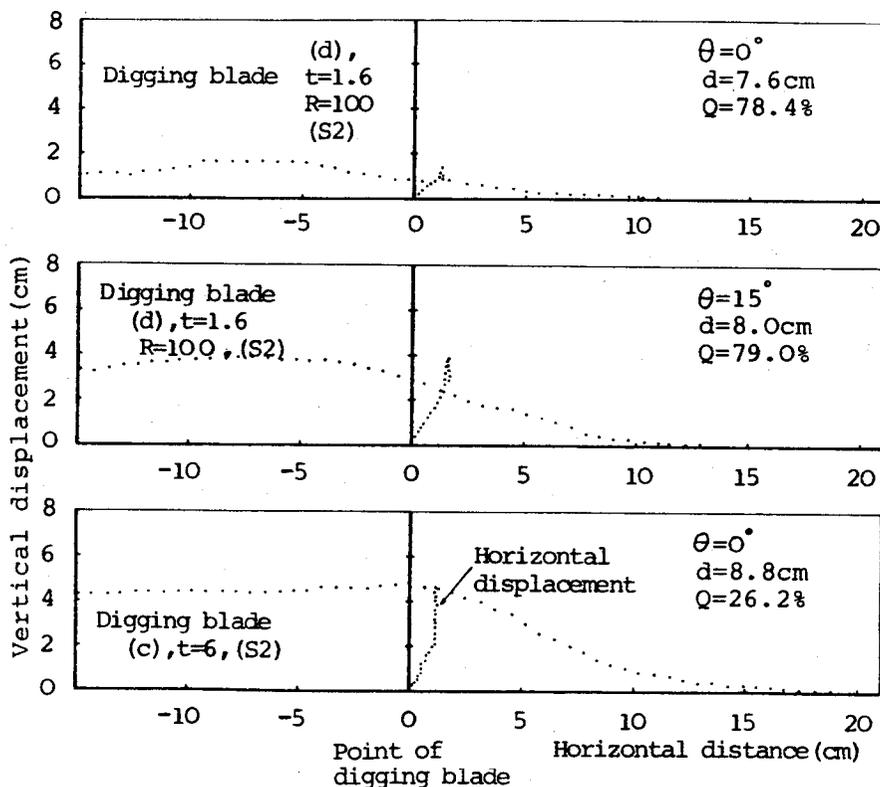


Fig. 29 Examples of recorded sand surface displacements.

位をみると切削角度 $\theta = 0^\circ$ では、砂地表面とほぼ同じ挙動を示していることがわかる。一方 $\theta = 30^\circ$ においては同図(d)に示すように砂地表面変位と顕著な差のある標本がみられた。すなわちラッキョウの鉛直変位は、砂地表面変位に比べて刃先が球直下に至るまでは非常に小さい。これは前述のように、ラッキョウ根群が根切り刃によって切断もしくは下層への圧縮によって拘束された状態にあることが考えられる。一方、同じ切削角度 $\theta = 30^\circ$ においても主なる根群域をはずれた切削深 $d = 14.8\text{cm}$ では、砂地表面とほぼ相似の挙動を示している (Fig.30・c)。ラッキョウ変位の計測例が砂丘利用研究施設の同一ほ場でわずか6例であ

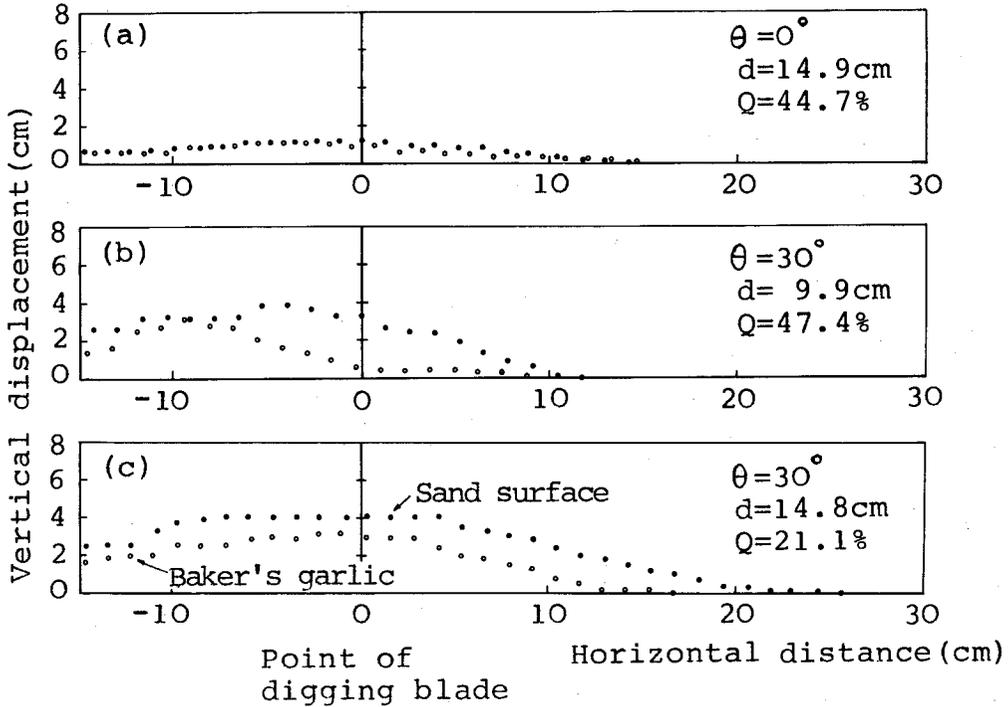


Fig.30 Examples of recorded Baker's garlic and sand surface displacements. ($w_{5-15} = 5.4\%$).

ったことから統計的分析はできないが、肉眼による観察では、植栽中を根切り刃が通過するさい、根群切断率 Q が低いとき砂地表面変位は大きくなる傾向が認められた。これは、根切り刃が砂と根群を単に圧縮・せん断作用をしており、根群切断抵抗力よりも植栽中の砂のせん断強さが小さいためと考えられる。逆に根群切断率 Q が高いとき、根切り刃が砂および根群に対して切断作用の働いているときであり、砂は流動せず根群を保持している。すなわちこの状態がほ場含水比 w_{5-15} の高いときで、根切り刃による根群切断抵抗力よりも砂のせん断強さが大きいとき根群は切断されると考えられる。

以上のように、ラッキョウの掘取り省力化をはかる上で重要な役割を果たす根切り刃の根群切断率 Q を高めるには、まず切削深 d の制御と、砂に圧縮力を加えせん断強さを増加させるなどによって湿潤ほ場状態と同じような切削条件をつくる必要がある。

4 要 結

掘取り機における根切り刃の作用を知るため、耕うん後の経時変化をともなった砂丘裸地および収穫期のラッキョウ植栽地において、ほ場内を移動させる可搬型根切り刃けん引装置を用いて根切り刃のけん引試験を行った。

結果の概要は次のとおりである。

1. 裸地

(1) けん引抵抗力 P (kg) は切削深 d (cm) と正の高い相関関係にあり、耕うん後約 100 日間の経過日数との関係は明確でなく、ほ場含水比 w (%) の影響を強く受けた。

(2) 比抵抗 k (kg/cm²) は切削深 d の増加とともにほぼ直線的増加傾向を示し、 $d = 7 \sim 22$ cm で、 $k = 0.04 \sim 0.14$ kg/cm² の範囲にあった。

(3) 砂地表面変位は刃先前方ではじめわずかの盛り上がりを示したのち、変曲点 V_2 をもって盛り上がり始める標本例が多かった。この変曲点 V_2 と刃先 B とを結ぶ線上でせん断を生じていると考えられる。

(4) 刃先 B から盛り上がり開始点までの距離 L_1 は切削深 d の増加とともに増加し、切削角度 θ ($0 \sim 30^\circ$) および刃形状による影響は認められなかった。そして刃先上方の盛り上がり高さ H_B (cm) は θ の増加とともに高くなり、 d の増加とともに低くなる傾向が認められた。

(5) 変曲点 V_2 と刃先 B とを結ぶ直線と水平線とのなす角をせん断角 ϕ_1 とすれば、 ϕ_1 はほぼ $20 \sim 55^\circ$ の範囲に存在し、切削深 d の増加とともに大きくなった。

2. 植栽地

(1) けん引抵抗力 P (kg) は裸地のように切削深 d と正の高い相関関係を示さず、特にほ場含水比 w_{5-15} の高いとき、ラッキョウ根群の影響のため低い相関関係を示した。

(2) 根群域を根切り刃が通過するとき、比抵抗 k (kg/cm²) は裸地のように切削深 d と常に正の相関関係を示すとは限らず、ほ場含水比 w_{5-15} の変化によって根群切断効果が異なり、根群切断に要する抵抗の影響を大きく受けた。

(3) 根群切断率 Q (%) は切削深 d が球深 D に近いほど、またほ場含水比 w_{5-15} が高いほど増加した。なお、刃形状、刃厚 t および切削角度 θ などに有意差は認められなかったが、側刃 (S_2) は (S_1) に比べて高い根群切断率 Q を得る傾向が認められた。

(4) 根群重量分布割合は、球深 D を中心として上下各 5 cm の範囲にほぼ $80 \sim 90\%$ 集中しており、水平方向分布は鉛直方向に比べて比較的均一に分布している。

第5章 引抜き式掘取り機の試作⁴⁴⁾

1 はじめに

一般にわが国における根菜類の掘取り機は、エレベータ形式の根浮かし機程度の普及しかみられない。個々の対象作物専用の掘取り機は、ほとんど研究開発段階にあるものと考えられる。

ラッキョウの収穫を考慮するさい、掘取りに続く次の調製作業を円滑に行うには、ラッキョウの株が乱れることのないよう引抜くことが望ましい。ここでは、現行のラッキョウ収穫作業に合わせて根群切断—引抜き—砂落し—調製—収納を機械化することを目的として引抜き式掘取り機の試作を行った。

作物体の茎葉をはさんで持ち上げる引抜き式掘取り機は、主として欧米でニンジン、たまねぎなど^{45, 46, 47)}に応用・市販されているが、わが国ではまだ実用化されておらず輸入品による実用化試験が行われている段階である。本方式による掘取り機は、茎葉をベルトではさみ搬送するため、搬送中における作物体の姿勢制御を行いやすく茎葉の切断あるいは、付着土の除去など掘取りに続く次の調製作業を容易に行いうる利点をもつ。その反面、植栽中の茎葉を

はさんで持ち上げるため茎葉が土壌中からの根部引抜き抵抗に抗しきれぬ条件を必要とし、このことは土壌および対象作物の物理的性質によって左右される。そこで、ここでは引抜き式ラッキョウ掘取り機の試作を行い、ほ場における試運転を通じて本方式のラッキョウへの応用の可能性と、作物体（ラッキョウ）、土壌（砂）および機械（試作機）の3者間における問題点を握しようとした。

2 試作1号機

1) 構造 試作1号機

の概略図をFig. 31に示す。耕うん機のアタッチメント

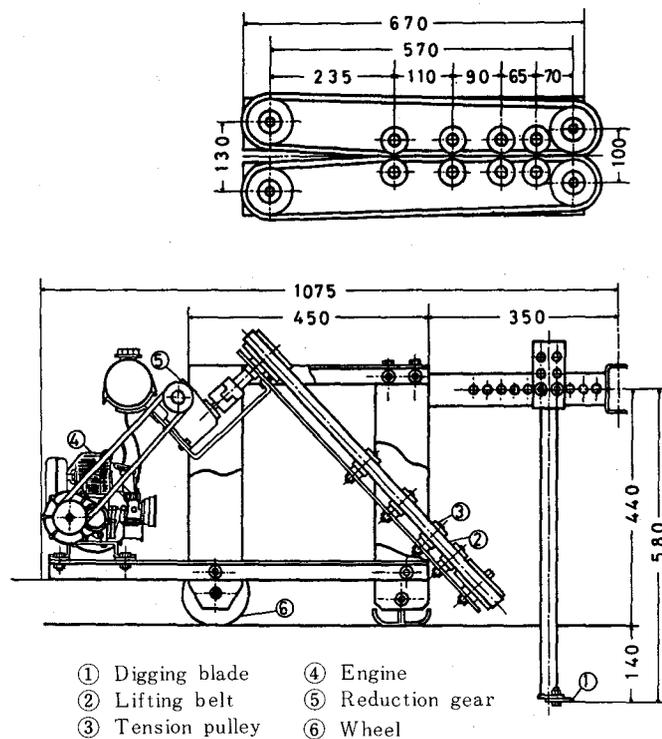


Fig. 31 Prototype of experimental digger (No. 1).

形式とし、要部は根切り刃①と引抜き搬送用タイミングベルト（以下搬送ベルトと呼ぶ）②と②を駆動するエンジン④である。本機は植栽中のラッキョウを引抜くことに主眼を置き調製部については考慮しなかった。根切り刃①は切削幅20cm、切削角度0°、厚さ5mmの平刃で、切削深14~20cm間および搬送ベルト②との水平距離を変えることができる。搬送ベルト②は葉のすべりと破断を防ぐため厚さ10mmのスポンジを取付けた。②の対地傾斜角度は45°で固定し、葉をはさんで引抜くとき引抜き抵抗に抗しよう8個のテンションプーリー③を設け、搬送ベルト間の締付け力を調整できるようにした。

動力伝達は、耕うん機のエンジンと別個に2サイクルガソリンエンジン（1.3ps/6,500rpm）④を積載しウォームギアによる減速機（1/30）⑤を使用してタイミングプーリーにより片側の搬送ベルトのみ駆動させた。他方の搬送ベルトはテンションプーリーの締付けにより摩擦力で駆動される。

試作機をけん引する耕うん機はディーゼルエンジン（8.5ps/2,400rpm）を積載しており、走行部は砂丘地であることと低速を得たい理由からクローラを装着した。これにより走行速度は、ほぼ2~15m/min間で任意に変えることができる。

2) 試験結果と考察 試運転は本学付属砂丘利用研究施設のラッキョウほ場で行った。試運転ごとに多くの問題点を生じ、そのつど対策を検討し可能な改良を加えながらの試行錯誤を繰り返した。

まず、葉を搬送ベルトではさんで持ち上げるまでのいわゆる前処理部に問題を生じた。すなわち前述のように、根切り刃は切削深および前後方向に移動可能な構造としたが、根切り刃の設定をPhoto 11 (a) に示すように搬送ベルト②の葉部はさみ口よりも前方にしたとき、ラッキョウの根群とくに側根のために砂表面の鉛直方向の盛り上がりが大きくなった。そのため、葉部はさみ口である地表に最も近いタイミングプーリーと搬送ベルト間に砂をかみ、駆動不能となった。また、砂表面の変位にともなって葉もともに動き、搬送ベルト間に葉がはさまれない結果とな



(a) Prototype



(b) Improved type

Photo 11 Test run of experimental digger (No.1).

った。これらの対策として、i)根切り刃を葉部はさみ口よりも後方に設定する、ii)側根用根切り刃の装着、iii)倒伏あるいは傾斜している葉を集めて搬送ベルト間に案内するための分草板の装着、iv)搬送ベルトカバーの装着、などが挙げられii)～iv)を付加した。i)については、搬送ベルト間にはさまれた葉の張力が最大引張力 P_{max} (kg)にいたる前に引抜きが完了するように、根切り刃による根群の切断を行うのでなければ葉の破断を生じる。さらに搬送ベルトの葉部はさみ口の地上高の設定とも関連して、根切り刃と搬送ベルトの葉部はさみ口との最適な位置関係を見出すことが本方式の掘取り機開発上重要な課題であると考えられた。

また、本試作機は独立したエンジンを積載したため、耕うん機の走行速度と搬送ベルト速度間の調整に困難を生じた。この調整と前項i)～iv)の設定がうまく行われたとき、1部で連続的に持ち上がり搬送が可能であったが、このときほ場合水比の相違によって著しく影響された。すなわち乾燥ほ場状態では、根群への砂付着はほとんどなくPhoto11(b)に示すように持ち上がるが、降雨直後などの湿潤ほ場状態では、根群への砂付着が多く、根切り刃で切断されたままの根群に付着した砂の重量によって葉が破断した例が多かった。したがって、根群への砂付着を生じさせない根切り刃あるいは砂の除去対策の必要性を認めた。

3) 根切り刃と搬送ベルトの葉部はさみ口との位置関係 試作1号機の試運転によって明らかになった問題のうち、搬送ベルトの葉部はさみ口と根切り刃の位置関係について検討する。Fig. 32において根切り刃Bによって砂地表面はBの前方 L_1 (cm)の位置より α の角度をもって盛り上がりとする。葉部はさみ口Aより β の角度をもつ搬送ベルトの速度を a (cm/s)、耕うん機の走行速度を b (cm/s)、根切り刃Bによって鉛直上方に押し上げられるラッキョウの速度を c (cm/s)とする。いまA点において葉をはさみ鉛直上方に引抜くものとすれば、 t 秒後のラッキョウの鉛直変位は、 $a \cdot \sin\beta \cdot t$ で表わされる。また、根切り刃Bによるラッキョウの鉛直変位を砂地表面鉛直変位と同じ挙動を示すとすれば、 $c \cdot t = b \cdot \tan\alpha \cdot t$ となる。根切り刃Bが球直下を通過するとき、搬送ベルトによるラッキョウの鉛直変位と根切り刃Bによるラッキョウの鉛直変位の差が、引抜きによる葉の破断にいたるまでの鉛直変位 X_p (cm)よりも少ない変位であれば、引抜き可能であるとする。いま、根切り刃Bが球直下にいたる時間を t_1 とすると、

$$x = bt_1 \dots\dots\dots (4)$$

$$X_p > (a \sin\beta - b \tan\alpha) t_1 \dots\dots (5)$$

となり(4)、(5)式および

$$b = a \cos\beta \text{より}$$

$$x < X_p / (\tan\beta - \tan\alpha) \dots\dots\dots (6)$$

となる。また砂地表面から搬送ベルトの葉部はさみ口Aまでの高さ y (cm)は、

$$y > (L_1 - x) \cdot \tan\alpha \dots\dots\dots (7)$$

の各条件を満足させなければならない。

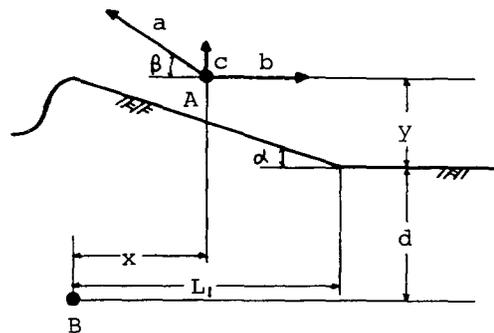


Fig. 32 Schematic diagram of the relationship between the digging blade point (B) and the grasping point of lifting belt (A).

3 試作 2 号機

1) 構造 試作 2 号機の設計にあたって、まず前述の式(4)~(7)より根切り刃と葉部はさみ口との水平距離 x (cm) および葉部はさみ口高さ y (cm) について検討した。まず最大引張時の鉛直変位 X_p (cm) は、母平均の95%信頼区間で $X_p=1.2\sim 1.8$ cmの範囲にあり、ここでは $X_p=1$ cmの鉛直変位で葉が破断すると仮定する。次に根切り刃の砂中切削時における砂地表面の挙動について、ここでは根切り刃の前方水平距離 $L_1=30$ cmの位置から角度 $\alpha=18^\circ$ で盛り上がるとし、ラッキョウも同じ挙動を示すとすれば、搬送ベルトの傾斜角度 $\beta=35^\circ$ の場合、 $x<2.7$ cmを得る。ここで引抜き試験による最大引張時の鉛直変位 X_p (cm) は持ち上がり始めから根群の抵抗力が葉に働いている。しかし、試作機の場合は葉部はさみ口への強制的な葉部送り込み装置をもたないために搬送ベルトにはさまれる葉は掘取り機の進行方向への倒伏に近い状態と考えられるので、ここでは $x=5\sim 15$ cmの範囲に設定できるようにした。このとき葉部はさみ口での砂地表面の鉛直変位は4.9~8.1cmとなり葉部はさみ口高さ $y=10$ cmとした。

さらに1号機で対処できなかった次の諸点を考慮した。i) 動力取り出しを耕うん機のエンジンから得ることにより耕うん機の走行速度と搬送ベルトの速度調整を行いやすくする。ii) タイミングプーリをB型Vプーリとし搬送ベルトは両側とも駆動し、テンションプーリの焼付けを防ぐため、各プーリの両端にベアリングを装着する。iii) 砂落し装置を取付ける。iv) 荒ラッキョウへの調製作業すなわち葉と根群の切断装置を取付ける。

収穫模式図をFig. 33に示す。図中における破線は根切り刃②による株の浮き上がりの軌跡を示し、1点鎖線は搬送ベルト③による株の軌跡を示したものである。

Photo12(a) (b) に調製部を、Fig. 34に試作 2 号機の概略図を示す。同図において、引抜き搬送ベルト③によって持ち上げられたラッキョウは案内棒⑤により葉部搬送ベルト⑥にはさみかえられたのち根群搬送ベルト⑧により根群もはさまれる。このとき搬送ベルト③は、③のテンションプーリをゆるめているためラッキョウへの拘束力をもたない。根群に付着した砂は、揺動軸⑦によって円弧運動する砂落し板により搬送ベルト③での搬送中にふるい落とす構造とした。葉および根群をはさんだまま搬送されたラッキョウは、⑩および⑪のナイロ

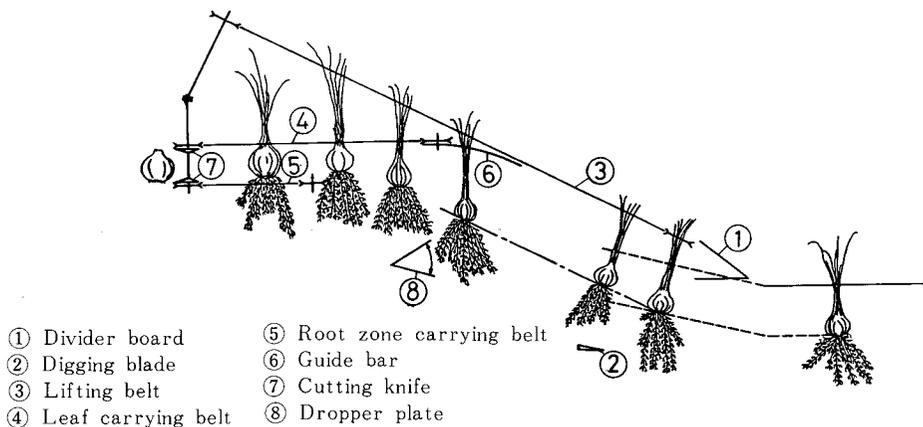
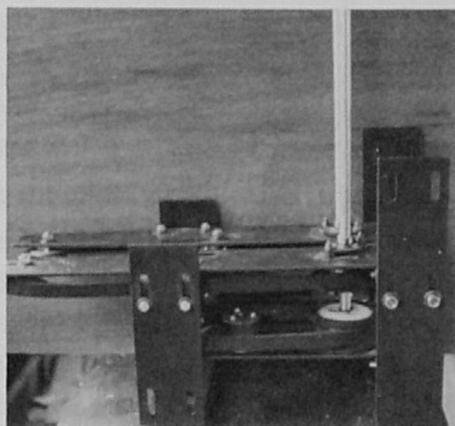
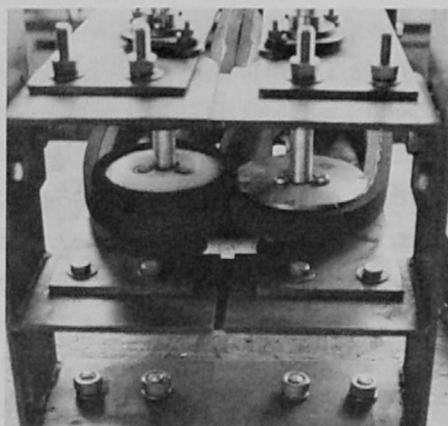


Fig. 33 Schematic diagram of harvesting.

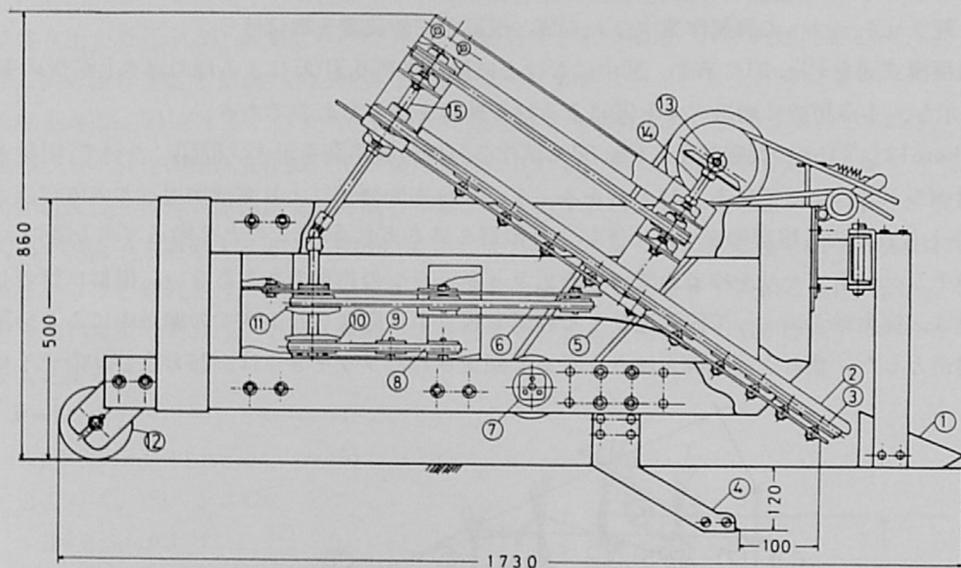


(a) Side view



(b) Rotating knife and passive edge for root zone

Photo 12 Device for cutting off leaves and root zone.



- ① Divider board
- ② Belt cover
- ③ Lifting belt
- ④ Digging blade
- ⑤ Guide bar

- ⑥ Leaf carrying belt
- ⑦ Shaking shaft
- ⑧ Root zone carrying belt
- ⑨ Tension pulley
- ⑩ Passive edge for leaf cutting

- ⑪ Passive edge for root zone cutting
- ⑫ Wheel
- ⑬ Counter shaft (1)
- ⑭ Counter shaft (2)
- ⑮ Drive shaft

Fig. 34 Experimental lifting type digger (No. 2).

ン受刃と回転刃により約6 cmの長さに切断される (Photo12・b)。なお、回転刃の周速度は葉および根群の搬送速度と同じである。動力は耕うん機より取り出し、機体走行速度と方向、搬送ベルト速度と方向の合成によりラッキョウがほぼ鉛直上方へ引抜かれるようにギア比およびプーリ径を決定した。

2) 試験結果と考察 試運転は、本学付属砂丘利用研究施設ほ場および岩美郡福部村のラッキョウ栽培ほ場で行った。1号機と同じく試運転ごとに多くの問題を生じた。以下にその概略を述べる。

i) ほ場含水比 w が低い乾燥状態においては、根群への砂付着はほとんどなく、引抜き搬送までの連続運転が可能であった (Photo13・a)。しかし、降雨後のほ場含水比 w の高いとき1号機と同じく根切り刃によって成形された状態で根群に砂が付着した (Photo13・b)。そして砂落し板の効果はなく逆にラッキョウを引きずり下ろす結果となった。

ii) 運転中砂が次第に前処理部に堆積し、やがてこれが葉部はさみ口にまでいたり、駆動不能となった (Photo13・c)。

iii) 案内棒によるラッキョウの姿勢制御が不完全で葉部搬送ベルト間に球をはさむことがあった (Photo13・a)。

iv) 切断された球は回転刃から分離されなかった。そして調製部へのつまりを生じた (Photo13・c)。

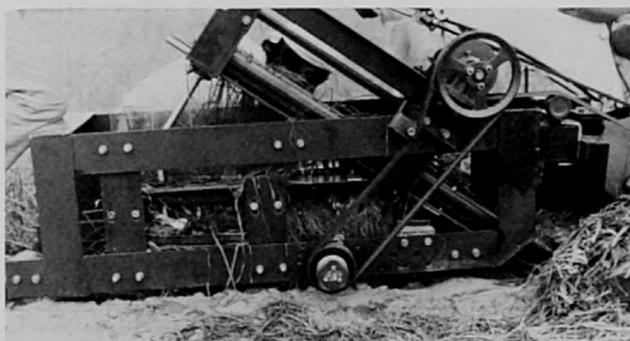
これらの対策として、砂落し板を取りはずし、4種類の根切



(a) Dry field condition



(b) Wet field condition



(c) Clogged by sand and Baker's garlic

Photo 13 Test run of experimental digger (No. 2).

り刃を試作した。また、フレームの先端を削り砂の流動を行いやすくしたが、ほ場含水比 w の高い状態での根群の砂落しの解決策を具体化できないまま終わった。

以上の試運転を通じて、引抜き式ラッキョウ掘取り機は現行収穫作業に準じて株を乱すことなく収穫するため、調製作業を行いうる利点を有すると考えるが、試作機は基本的な多くの解決すべき問題点を有していることが明らかとなった。なかでも、根群が非常に発達しているため、根切り刃に関して根群の切断、切削抵抗および砂地表面の挙動などについては握が必要であると考えられた。

なお、試作1号機は昭和49年に設計・試作し、昭和50年の収穫期に試運転を行った。試作2号機は、昭和50年7月より設計・試作にとりかかり昭和51年の収穫期に試運転を行ったものである。

4 要 結

現行収穫作業形態に合わせたラッキョウ収穫の機械化を目的として引抜き式ラッキョウ掘取り機の試作を行った。試運転の結果概要は次のとおりである。

(1) 試作機による引抜きは、ほ場条件特に含水比 w によって著しく影響を受けた。乾燥ほ場状態では、引抜き搬送が可能であったが湿潤ほ場状態では、根群への連続した砂付着により引抜き搬送が困難であった。

(2) 本方式の掘取り機では、特に根切り刃の作用が重要であり、ここでは搬送ベルトの葉部はさみ口と根切り刃との位置関係について検討した。

(3) 根群が発達しているため、側根用根切り刃の装着がラッキョウ収穫機械にとって必要である。

第6章 調製に関する基礎実験

1 はじめに

ラッキョウ調製作業省力化に必要な基礎的データを得ることが本章の目的である。

掘取り作業の省力化以上に労働力確保に困難をもたらしている調製作業は、すべて手作業で行われている。ここで対象とする「洗いラッキョウ」は、現在のところラッキョウ組合においても最適な切断長を規格化していない。したがって「切り子」（調製作業者）の主観によって適当に判断されて調製されているのが実情である。そこで、ここではまず収穫期間中における球の形態と切断長の許容範囲との関係を見い出そうとした。

次に包丁による長時間の作業にともなう、包丁の先が「とまる」いわゆる切味の劣化を生じ、しばしばと石でみがく作業者が多い。ラッキョウ切断のさい、包丁に蛋白質や可溶性無窒素物および炭水化物であるペントーゼンなどの多糖類^{48,49)}が付着し（以下粘質物と呼ぶ）、これらが乾燥し、褐変⁵⁰⁾や糊化⁵¹⁾を生じる。刃が「とまる」現象が、これら粘質物の付着によるものか、あるいは刃の摩耗によるものか、さらには作業者の疲労による感覚的なものかは明らかでない。ラッキョウの調製作業が機械化されて、現在の包丁が固定刃や回転刃などに置きかえられた場合、切味劣化の対策をたてる上において、これらの問題点を明らかにしておく必要がある。そこで、固定刃および回転刃を供試して、切断角、粘質物の付着および切断量などが、切断抵抗力に与える影響について調べた。

2 実験装置および方法

1) 固定刃による切断抵抗力測定装置 Fig.35に切断抵抗力測定装置を示す。本装置は、いわゆるテンシロンであり、種々の植物体の材料力学的性質の実験が可能である。

構造は、ロードセル^⑧と接続した固定ヘッド^⑦の間を移動ヘッド^⑥が上下に移動することによって、ヘッド間においた供試体の引張・圧縮を行うこと

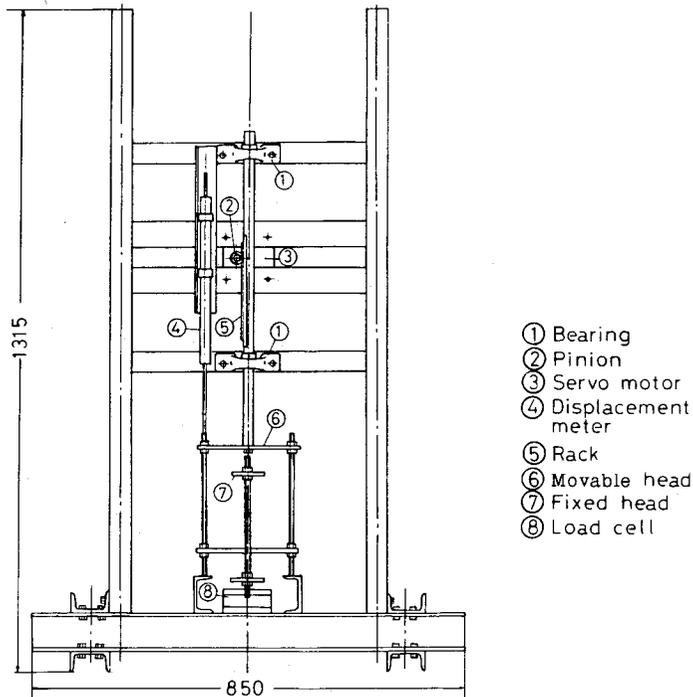


Fig. 35 Experimental fixed knife cutting apparatus.

が可能である。本実験では、固定ヘッド⑦に市販のカッター刃（楔角 $\delta = 19^\circ$ ，刃厚 $t = 0.5$ mm，幅 $b_0 = 18$ mm）を取付け，移動ヘッド⑥に2つのクリップを設け，ラッキョウの根と葉をはさみ上方へ移動させた。移動ヘッド⑥は，ベアリング④でガイドされるラック③を取付けた軸と連結しており，ピニオン②をもつサーボモータ①によって上下に駆動される。計測は，鉛直変位を差動トランス⑤，切断抵抗力をロードセル⑧により検出し，記録はX-Yレコーダによった。なお，ヘッドの速度は 1.3 cm/sである。

2) 回転刃による切断トルク測定装置 Fig. 36に切断トルク測定装置を模式図で示す。本装置は，第8章で述べる調製機を利用したもので，回転刃③を取付けた軸端にジョイントをかいしてトルクメータと出力15Wのインダクションモータを配した。計測は，回転刃の速度をタコメータ④で切断トルクをトルクメータ②で行い，各々電磁オシロに記録した。

供試回転刃は，直径110 mm，楔角 $\delta = 11.3^\circ$ ，刃厚 $t = 1.2$ mmで旋盤によるヤスリ仕上げである。

3) 実験方法

(1) 球の形態と切断許容範囲 まず収穫期間中の各形態をノギスで測定した。そして切断許容範囲を求めるため，球の肥大部の長径および短径に沿って切断し，その切断面をスタンプインキをつけて捺印した。そして，これから最適切断長，切断許容範囲などを求めた。なお，これらの決定にあたっては，ラッキョウ組合でも基準がないため主観によったが，初期の試験の段階で，福部村海士ラッキョウ組合長および組合員の判断をあおいだ。

(2) 固定刃による切断試験 まず切断角 $\lambda = 0 \sim 60^\circ$ まで 15° ずつ変化させ，球のほぼ中央肥大部を切断した。また，切断部位別による切断抵抗力の変化をみるため，切断角 $\lambda = 30^\circ$ について，根ぎわ，中央肥大部および葉ぎわを切断した。これらは，1球の切断ごとに粘質物の影響を除くため，水を含ませた脱脂綿で刃を洗浄した。また，10あるいは25球の切断ごとに刃を取り替えた。

次に粘質物の付着・乾燥による影響をみるため，新しいカッター刃でまず10球切断後，刃を洗浄せずにそのまま放置して以後累積時間1205分まで90球を切断した。

切断面積 A (cm²)の計測方法は，スタンプインキでセクションペーパーに捺印し，これを切り抜いて自動面積計（HAYASHI DENKO製，AAM-5型，最小読取り $1/100$ cm²）で読取った。X-Yレコーダの記録から仕事 W (kg·cm)の算出にもこの面積計によった。

(3) 回転刃による切断試験 まず粘質物の付着・乾燥による切断トルクの変化をみるため，回転刃1枚で根ぎわのみ切断した。ラッキョウと回転刃の相対速度は 40.6 cm/s（回転刃60 rpm，クリップ速度 6.1 cm/s）で，まず10球をクリップの1つおきに供給した。そして，その

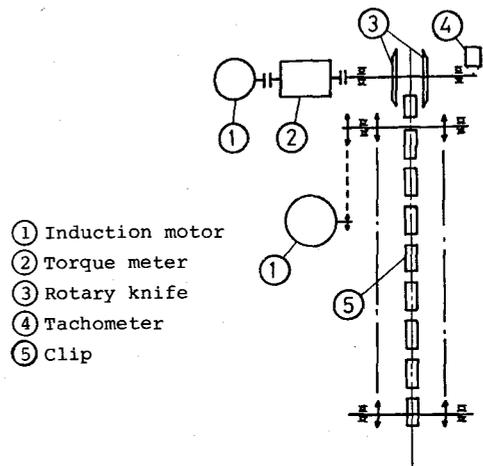


Fig. 36 Schematic diagram of experimental rotary knife cutting apparatus.

まま回転刃を洗浄せずに放置し、以後切断開始からの累積時間1085分まで切断後の放置時間をかえて各10球ずつ供給し、切断トルクを測定した。また、回転刃を2枚取付け、通常の切断作業を行うときと同様の葉側と根側の切断を行い、切断量と切断トルクの関係を求めた。

さらに、回転刃1枚でラッキョウ供給速度を2.88~11.3 cm/s、回転刃速度を32~188rpmまで変化させることにより、切断トルク変化と切味について調査した。

以上の試験におけるラッキョウの切断面積およびオシログラフペーパーに記録されたトルク曲線からの切断エネルギーの算出には、前述の自動面積計によった。

3 実験結果および考察

1) 球の形態 収穫期の球の形状は、同一品種であっても、植付け深、植付け姿勢、肥料などの栽培技術によって大きく影響され、川上²³⁾は、長卵型、棒状、丸型、双子型、わん曲型に分類している。一般に種子や穀物、果実および根菜類などの野菜は、不規則な形状をしており、これらの形状と寸法を詳細に記述するための基準も多く試みられている^{52,53,54)}ここでは、ラッキョウ調製省力化にとって必要と考えられる球の形態のうち長径・短径についてのみ以下に記述する。

Fig.37は球の最も肥大している断面の長径 D_l (mm)と短径 D_s (mm)を95%の母平均信頼区間で示した。長径 D_l (mm)、短径 D_s (mm)ともに収穫期間中肥大しつづけていることがわかる。また、Fig.38には、長径 D_l と短径 D_s の関係を試験日別に示したもので、収穫初期の5月25日と後期の6月20日について、その範囲を実線および破線で示した。Fig.37およびFig.38から、 D_l と D_s の関係をみると、収穫後期になるにしたがって、長径 D_l の増加が短径 D_s の増加に比べてやや大きくなる傾向を示している。そこで、へんべい度の逆数をとった D_s/D_l と長径 D_l との関係をFig.39に示す。これによると、長径 $D_l=12.2\sim30.2$ mmの範囲で $D_s/D_l=0.46\sim1.00$ の範囲にあり、 D_l の増加にともなって D_s/D_l は低下傾向が認められる。すなわち、長径 D_l の小さいほど断面は円に近づく。これは1株につきほぼ5~15球の球が小さい場合、互に接触面が小さいが、球の肥大・分球にともなって互に隣あった球が干渉しはじめ、鱗葉の生長の均一性が妨げられるためと考えられる。なお、収穫期間を通じて、 D_s/D_l の平均値は、0.75(5月25日)~0.77(6月20日)の範囲にあった。

2) 切断許容範囲 ラッキョウの根と葉を包丁によって切断する場合の最適な切断位置の決定方法には、ラッキョウ組合においても定められた規定がなく、作業者の個々の判断に任されているのが現状である。したがって調製された球の良否は、視覚による判断で経験的に行われている。一般には、根のついた「根付き」、葉の長すぎる「角つき」および球の中央近くを切断した「胴切り(切り過ぎ)」を好ましくないと

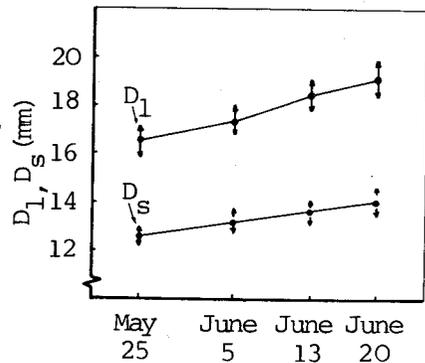


Fig. 37 D_l and D_s during the harvest stage.

している。実際には、これら「根付き」、「角つき」および「胴切り」のほとんどは、チェックされることなく市場に出荷されているのが現状である。ここでは、それらを便宜上不合格球と呼び、適切に調製された球を合格球として区別する。これらの不合格球と合格球の境界付近での判定はあいまいで、なかでも「胴切り」の判断、すなわち切り過ぎであるかどうかの判定には個人差が生じる。このことは、最適と思われる切断長の前後に許容しうる範囲すなわち、合格球となる切断長の範囲が存在することになる。

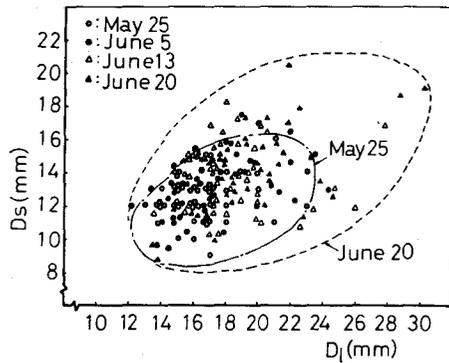


Fig. 38 The relationship between D_s and D_l during the harvest stage.

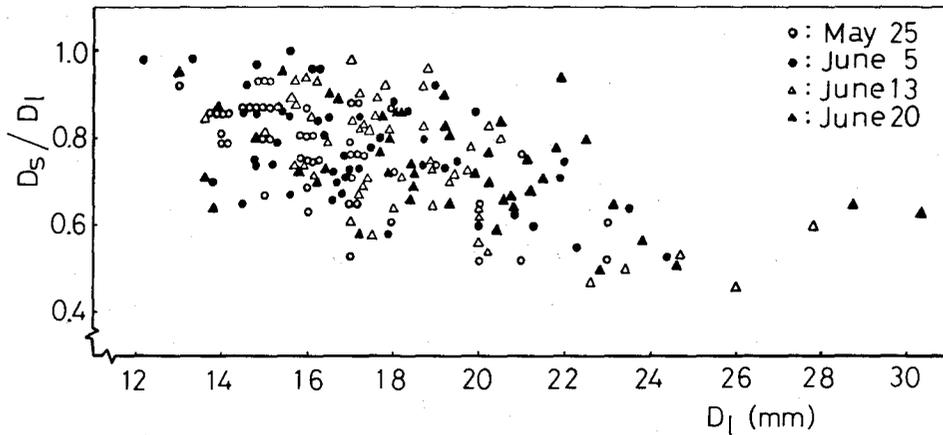


Fig. 39 The relationship between D_s/D_l and D_l .

そこで、まず最適切断長 l_0 (mm) となるように調製することを主婦（経験年数27年）に依頼した。その結果を Fig. 40 のヒストグラムで示す。ここでいう最適切断長 l_0 (mm) は、この作業者の主観によって判断され調製された長さである。同図から最適切断長 l_0 (mm) は、正規分布を示すが、収穫期間中も肥大・分球を続け、ほ場によって玉太りも異なるため、 l_0 の長さもそれらに影響されることになる。

次にラッキョウの形状を長径 D_l (mm)、短径 D_s (mm) で示し、これらと切断長 l (mm) の許容範囲を求めた結果を Fig. 41 に示す。すなわち、許容しうる最長の切断長を l_{max} (mm)、いいかえればこれ以上長く切断すると「根付き」あるいは「角あり」として不合格球になる限界、逆に最短の切断長を l_{min} (mm) といかえると、これ以上短かく切断すると「胴切り」として不合格球になる限界を示したものである。標本は 6 月 7 日および 7 月 18 日に本学付属砂丘利用研究施設で掘取ったものである。同図において $l_{min} \sim l_{max}$ 間が最適切断長 l_0 (mm) を含む切断許容範囲となる。いま、調製作業の機械化を考える上で、切断長 l (mm) を長径 D_l 、短径 D_s の大きさにかかわらず一定としたとき、合格球の割合は図中の一点鎖線で示したように 6 月 7 日

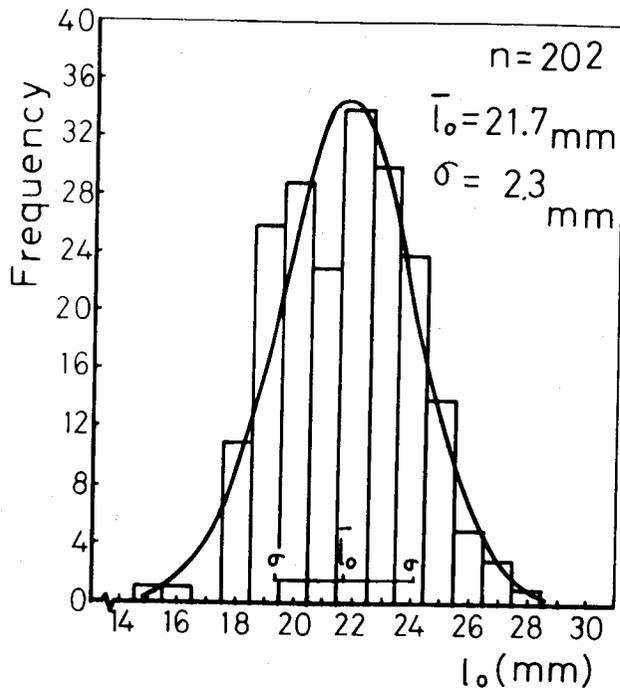


Fig. 40 Histogram of optimum cutting length (l_0).

77%, 7月18日で69%を得る。また、図中の破線で示したように、長径 D_l 、短径 D_s のいずれであっても、それらの値に応じて階段状に切断長 l を変化させたとき、合格球の割合は88%と79%を得、さらに D_l 、 D_s の増加にともなって l を直線的に増加させるとすれば、実線で示すように合格球は、各々91%、79%を得ることになる。このように切断長 l (mm)を固定するよりは、球の長径 D_l あるいは短径 D_s のいずれであっても、それらの値が大きくなるにしたがって切断長 l を大きくする方が合格球の割合は増加する。そして収穫期の初期にあたる6月7日に比べて7月18日では著しく合格球の割合が低下している。これは、球の玉太りにかなり生育差がみられるためで、7月18日では短径 D_s から切断長 l を決めると l_{min} 以下で切断する可能性が高くなる。なお長径 D_l と短径 D_s の関係は、6月7日で $D_s + 1 \leq D_l \leq D_s + 5$ (mm)、7月18日で $D_s + 1 \leq D_l \leq D_s + 7$ (mm)であった。また、最適切断長 l_0 の平均と標準偏差は6月7日で 21.9 ± 2.2 (mm)、7月18日で 25.2 ± 2.9 (mm)であった。

次に切断長 l の許容範囲 $l_{max} - l_{min}$ をさらに根側の切断許容範囲と葉側のそれとに分けて、それぞれの長さを l_r 、 l_s (mm)とすると、各々の平均と標準偏差は6月7日で D_s (D_l) : $l_r = 0.8(0.8) \pm 0.8(0.7)$ (mm), $l_s = 3.6(3.7) \pm 0.7(0.9)$ (mm)、7月18日で D_s (D_l) : $l_r = 0.7(0.9) \pm 0.8(0.7)$ (mm), $l_s = 3.4(4.0) \pm 0.9(0.9)$ (mm)となった。この範囲も球の形状によって著しく影響されるが、供試球は全体として分球は少ないけれども玉太りがよく、短縮茎から急激に肥大していることによる。このような切断許容範囲は作業者の視覚によつ

て経験的な判断に任されていることからこれを機械化する場合、切断位置決定のための基準となる位置を定めておく必要がある。葉側および根側の切断許容範囲 l_s , l_r のうち l_r の方が狭いため切断位置決定は、根側からする必要がある。したがって根側の切断位置を決定するための基準となる位置を見出すことが重要となる。

そこで、Fig. 42にラッキョウの長径 D_l または短径 D_s にそって得た断面の各測定項目について模式図を示す。同図において、 a は根を取り除いたとき球に残った短縮茎(盤茎)の部分で根側の先端である。 b および c は、根側の最適切断位置で切断したときの球の切断位置を示す。

これらの各項目の測定結果を Table 12 に平均値と標準偏差で示す。標本は福部村浜湯山の同一ほ場から掘取った中から、25球ずつ計200球を無作為に抽出した。同表から、まず最適切断長 l_0 は、同一試験日であっても測定断面 D_l からと D_s からとではかなり異なり、平均値の差において 1.1 ~ 3.5 mm 生じている。そして、そのときの切断幅 dr , ds の差も dr

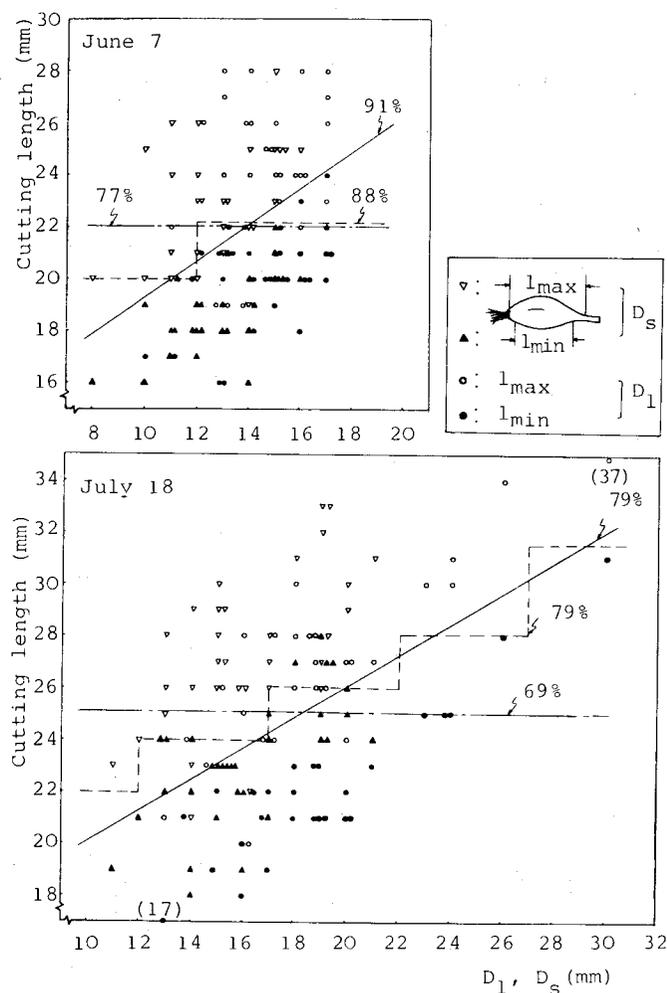
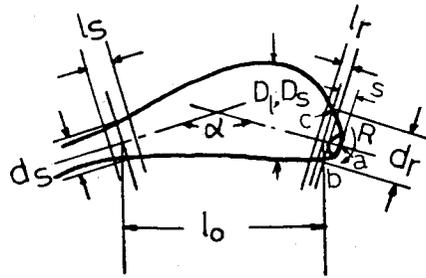


Fig. 41 Permissible cutting length for D_l and D_s (1977),

$= 2.3 \sim 3.4 \text{ mm}$, $d_s = 1.6 \sim 2.5 \text{ mm}$

生じている。根側の切断許容範囲 l_r は、前述の本学付属砂丘利用研究施設ほ場での標本例よりも 1 mm 前後大きな値となっているが、葉側の切断許容範囲 l_s に比べると同じようにせまくなっている。同一試験日において、長径 D_l から見た l_r , l_s が短径 D_s から見た l_r , l_s よりもせまくなっているのは、 D_l の捺印された断面が円に近いので、視覚的に切り過ぎの判断を生じやすいためである。このことは、 D_l から見た d_r が 10 mm 以上で D_s から見た d_s よりも大きいことからわかる。次に、根側の最適切断線から a までの距離 s (mm) は全収穫期間中長径 D_l , 短径 D_s に沿った断面を含めた平均値で $s = 2.8 \sim 4.7 \text{ mm}$ であり、 a を基点とした場合の機械的な根側最適切断位置設定の目安となる。

3) 固定刃による切断抵抗力



- l_r : Permissible cutting length of root side (mm)
- l_s : Permissible cutting length of leaf side (mm)
- l_o : Optimum cutting length (mm)
- D_l : Long diameter (mm)
- D_s : Short diameter (mm)
- s : Distance from optimum cutting point of root side to stem (mm)
- d_r : Optimum cutting width of root side (mm)
- d_s : Optimum cutting width of leaf side (mm)
- α : Curvature (degree)
- R : Radius of the circumscribed circle of triangle abc (mm)

Fig. 42 Symbols of form.

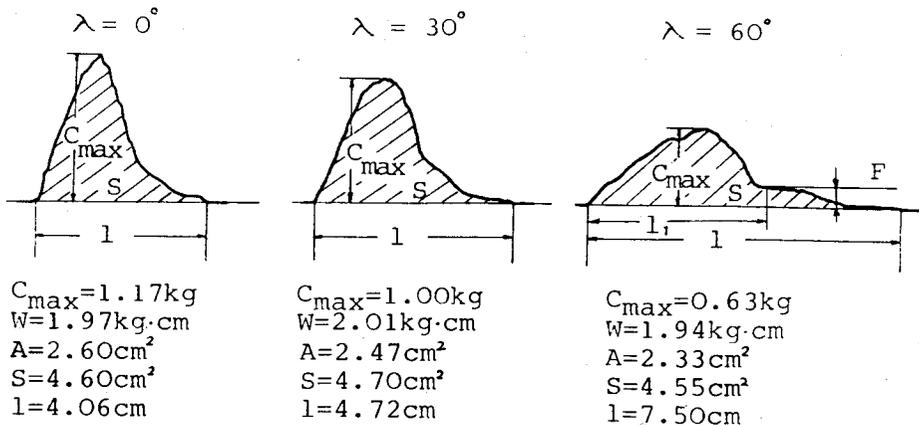


Fig. 43 Examples of recorded cutting resistance force by X-Y recorder.

(1) 切断角と切断抵抗力 まず, Fig.43にX-Yレコーダに記録された切断抵抗力の波形を切断角 $\lambda = 0, 30, 60^\circ$ について示す。切断部位は, 球のほぼ中央肥大部である。このような波形から最大切断抵抗力 C_{max} (kg), 仕事 W (kg·cm)および後述する摩擦力 F (kg)を求め

Table 12 Forms and permissible cutting lengths (1978)

Date		May 25		June 5		June 13		June 20	
Measured diameter		D_l	D_s	D_l	D_s	D_l	D_s	D_l	D_s
D_l	Mean	16.5	16.4	17.7	17.1	18.9	17.9	19.7	18.6
(mm)	S.D.	2.4	2.2	2.5	2.9	2.7	2.8	3.1	3.7
D_s	Mean	12.5	12.6	13.4	13.1	14.2	13.1	14.9	13.3
(mm)	S.D.	1.2	1.6	1.7	2.1	2.0	1.8	2.2	2.3
l_{max}	Mean	31.5	30.5	31.2	29.3	31.4	28.5	31.9	31.1
(mm)	S.D.	2.3	2.3	2.6	2.9	2.7	2.5	3.1	2.3
l_o	Mean	29.4	28.3	28.7	26.2	28.9	25.4	29.5	27.8
(mm)	S.D.	2.2	2.2	2.6	2.9	2.6	2.6	3.0	2.3
l_{min}	Mean	27.4	26.2	26.3	23.0	26.3	22.3	27.0	24.4
(mm)	S.D.	2.2	2.2	2.6	3.0	2.7	2.8	3.0	2.5
s	Mean	4.1	4.7	4.0	4.2	3.0	3.6	2.8	4.1
(mm)	S.D.	1.5	2.3	1.3	1.2	1.1	0.8	0.8	1.0
l_r	Mean	1.2	1.3	1.7	2.3	1.5	2.1	1.8	2.9
(mm)	S.D.	0.2	0.4	0.5	0.8	0.5	0.6	0.4	0.8
l_s	Mean	3.0	2.9	3.2	4.0	3.6	4.0	3.0	3.8
(mm)	S.D.	0.6	0.6	0.7	0.9	1.0	0.9	0.5	0.7
α	Mean	148	139	160	143	152	141	152	159
(deg.)	S.D.	21	26	17	27	19	25	21	21
R	Mean	6	4	6	4	8	5	8	5
(mm)	S.D.	2	1	2	2	2	1	2	1
d_r	Mean	10.7	7.4	10.3	8.0	11.1	8.3	11.2	8.1
(mm)	S.D.	2.0	1.4	1.6	1.1	1.9	1.2	2.3	1.2
d_s	Mean	7.5	5.9	9.7	7.4	8.8	6.9	9.7	7.2
(mm)	S.D.	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	1.7	0.8

た。ここで仕事 W ($\text{kg} \cdot \text{cm}$) は、斜線部面積 S (cm^2) から次式により求めた。

$$W = k_1 \cdot k_2 \cdot S \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $k_1 \cdot k_2$: ロードセルおよび差動トランスの較正直線から求めた係数、 k_1 (kg / cm), k_2 (cm / cm)

Fig. 44 は、最大切断抵抗力 C_{max} (kg) と切断面積 A (cm^2) の関係を切断角 λ (度) 別に示したもので、 A の増加と共に C_{max} も直線的増加傾向を示し、全体としてほぼ $C_{\text{max}} = 0.3 \sim 1.3 \text{kg}$ の範囲にある。そして切断角 λ を大きくするほど最大切断抵抗力 C_{max} は低下する。

Fig. 45 は仕事 W ($\text{kg} \cdot \text{cm}$) と切断面積 A (cm^2) の関係を切断角度 λ 別に示したもので、 A の増加にともなって W も増加する。特に切断角 $\lambda = 60^\circ$ において、両者間に高い相関関係 ($r_{60} = 0.93$) を得た。そして切断角 $\lambda = 60^\circ$ における仕事 W は大きな値をとり、Fig. 44 の最大切断抵抗力 C_{max} と逆の傾向を示した。

また、Fig. 46 は単位切断面積当たりの最大切断抵抗力 C_{max} / A (kg / cm^2) と仕事 W / A ($\text{kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$) を切断角 λ との関係で見たもので、矢印の範囲は母平均の95%信頼区間を示している。 C_{max} / A は、 λ の増加とともに低下傾向がみられるが、 W / A は $\lambda = 30^\circ$ で $0.64 \leq W / A \leq 0.79$ ($\text{kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$) と最も低い値を示し、 $\lambda = 45^\circ, 60^\circ$ では著しく増加した。

以上のように、切断角 λ が大きくなるにしたがって最大切断抵抗力 C_{max} や単位切断面積当たりの最大切断抵抗力 C_{max} / A が小さくなるにもかかわらず、仕事 W および単位切断面積当たりの仕事 W / A が増加する原因は、摩擦抵抗力の影響によるものと考えられる。すなわち、Fig. 47 および Table 13 に示すように、切断角 λ の増加にともなって作用角 γ が小さくなり、刃先における切断そのものに要する抵抗は小さくなるが、供試球は葉と根の両端をクリップで保持されているため、刃先を球が通過

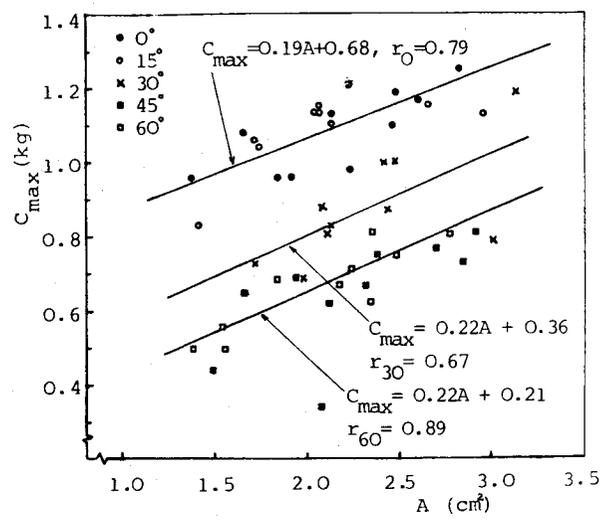


Fig. 44 The relationship between C_{max} and A .

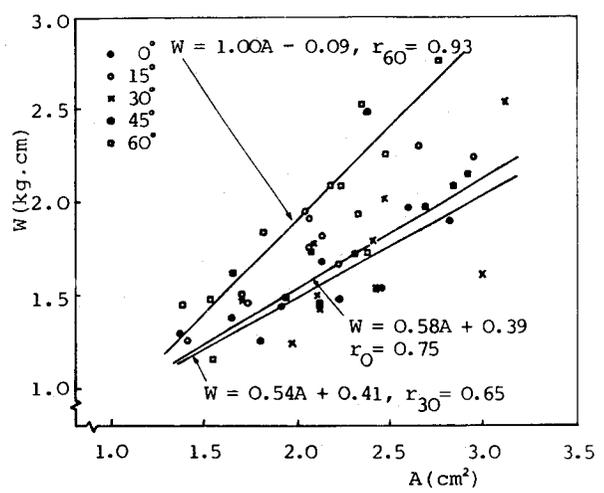


Fig. 45 The relationship between W and A .

しても垂直抗力 N_1, N_2 が働いている。これが摩擦抵抗力 $F(\text{kg})$ となって仕事 $W(\text{kg} \cdot \text{cm})$ に影響する。すなわち、球が刃を通過しなければならない距離 $l_c(\text{cm})$ は、Table 13に示すように切断角 $\lambda = 60^\circ$ では、 $\lambda = 0^\circ$ の2倍の距離 l_c を必要とし、結果的に仕事 W が増加することになる。なお、作用角 γ および球と刃の摩擦距離 l_c は次式より求めた⁵⁵⁾

$$\gamma = \tan^{-1}(\tan \delta \cdot \cos \lambda) \dots (9)$$

$$l_c = b_0 / \cos \lambda \dots (10)$$

ただし、 δ : 供試刃の楔角(度)

b_0 : 供試刃の幅(cm)

ここで、Fig.47において摩擦抵抗力 $F(\text{kg})$ は、動摩擦係数を μ_1, μ_2 とすると

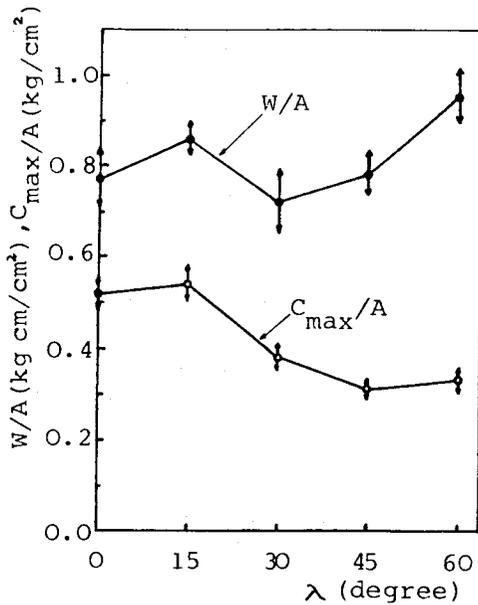


Fig. 46 The relationship between $W/A, C_{\max}/A$ and cutting angle λ .

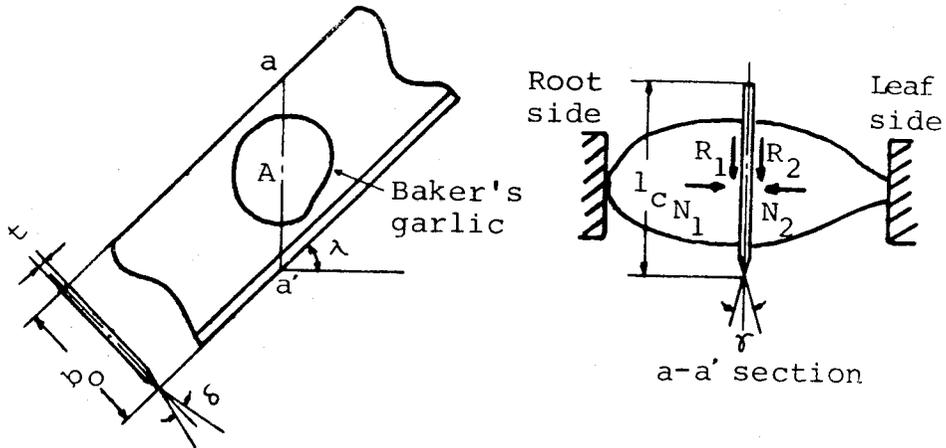


Fig. 47 Schematic diagram of cutting with a fixed knife.

Table 13 λ, γ and l_c

λ (deg.)	0	15	30	45	60
γ (deg.)	19.0	18.3	16.6	13.6	9.8
l_c (mm)	18.0	18.6	20.8	25.5	36.0

$$F = N_1 \mu_1 + N_2 \mu_2 = R_1 + R_2 \dots\dots\dots(11)$$

であるが、

$$N_1 \mu_1 \div N_2 \mu_2 \div R_1 \div R_2 \dots\dots\dots(12)$$

と考えられる。動摩擦係数 μ_1 、 μ_2 は、垂直抗力 N_1 、 N_2 が明らかでないため求められないが、このような切断条件下における摩擦抵抗力 F (kg)は、切断角 $\lambda = 60^\circ$ のX-Yレコーダの記録例から求めることが可能である。いま、Fig. 43の切断角 $\lambda = 60^\circ$ の記録例において、負荷の生じる切断開始位置から、刃先を通過した位置までの距離を l_1 (cm)とする。この l_1 の距離は、スタンプで捺印したラッキョウ切断跡から求めることができる。このとき、切断面積 A の2倍、すなわち刃の両側における摩擦抵抗力 F (kg)が得られる。

Fig. 48は、摩擦抵抗力 F (kg)と切断面積 A (cm^2)との関係を示したものである。これから単位面積当たりの摩擦抵抗力は、切断面積の増加とともに増加し、

$$R_1/A \div R_2/A \div F/2A = 0.07 \sim 0.20 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(13)$$

を得る。

実際の切断作業は、根側および葉側の両端は作業者の手によって支持されているため、垂直抗力 N_1 、 N_2 がほとんどなく摩擦抵抗力はもっと少ないと考えられるが、機械的に切断作業を行う場合、少なくともラッキョウの片方の切断面は拘束された状態にあるため、球との接触面を少なくするような刃形状または、ラッキョウが拘束されていない方向へ刃を傾斜させる必要がある。

(2) 切断位置と切断抵抗力 次に切断部位別の単位切断面積当たりの仕事 W/A ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$)および最大切断抵抗力 C_{max}/A (kg/cm^2)をFig. 49に母平均の95%信頼区間で示した。 W/A 、 C_{max}/A とも根側

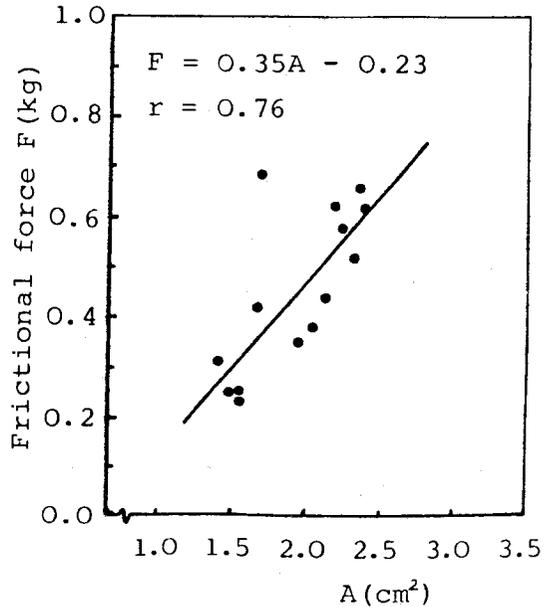


Fig. 48 The relationship between F and A .

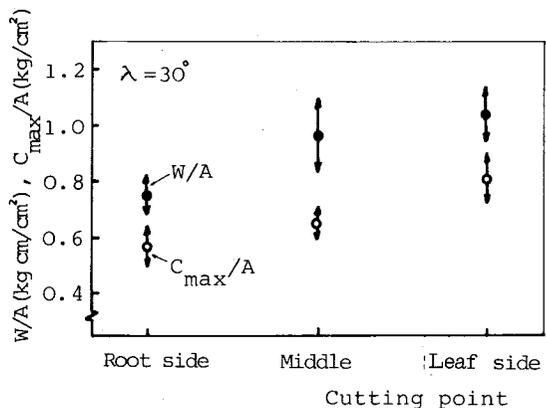


Fig. 49 The relationship between W/A 、 C_{max}/A and cutting point.

から葉側に切断部位が移行するにしたがって増加する傾向にあり、ラッキョウの組織すなわち維管束などの繊維質による影響が考えられる。

また、同一切断位置(中央肥大部)でも、Fig. 50に示すように一般に切断面積 $A(\text{cm}^2)$ が小さくなるにしたがって C_{max}/A は直線的に増加し、負の相関関係が認められた。また、 W/A と A の関係も同様の傾向が認められた。

(3) 粘質物の付着・乾燥と切断抵抗 次にFig. 51に、粘質物の固定刃への付着・乾燥が、切断抵抗力に

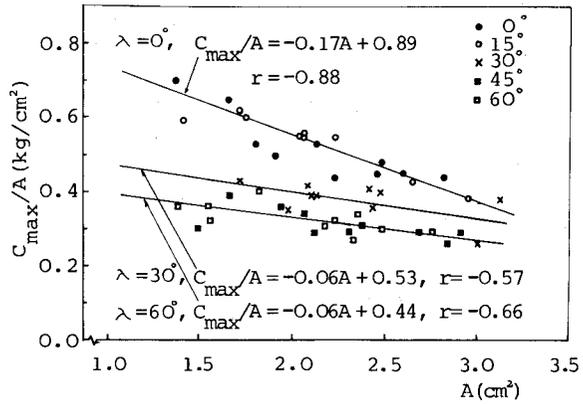


Fig. 50 The relationship between C_{max}/A and A .

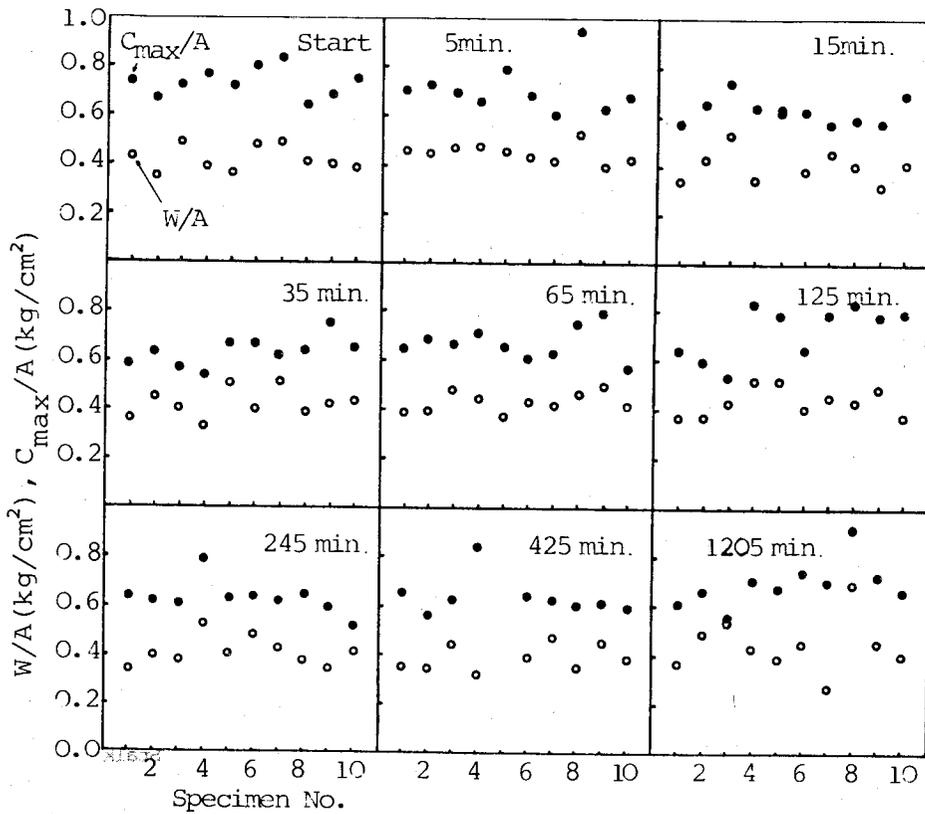


Fig. 51 The relationship between W/C , C_{max}/A and specimen No..

与える影響を示した。図中の数字はラッキョウ切断開始からの累積時間を示したものである。これによると、切断後そのまま放置した時間にほとんど影響されることなく、付着した粘質物の W/A および C_{max}/A への影響は認められない。なお、切断開始から1205分後の固定刃への付着量は0.01gであった。

4) 回転刃による切断トルク

(1) 粘質物の付着・乾燥と切断トルク Fig.

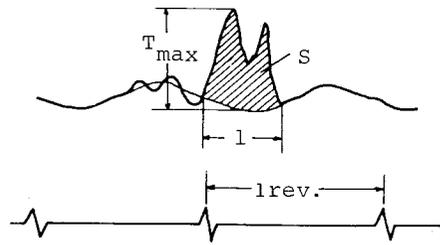


Fig. 52 An example of a recorded torque curve.

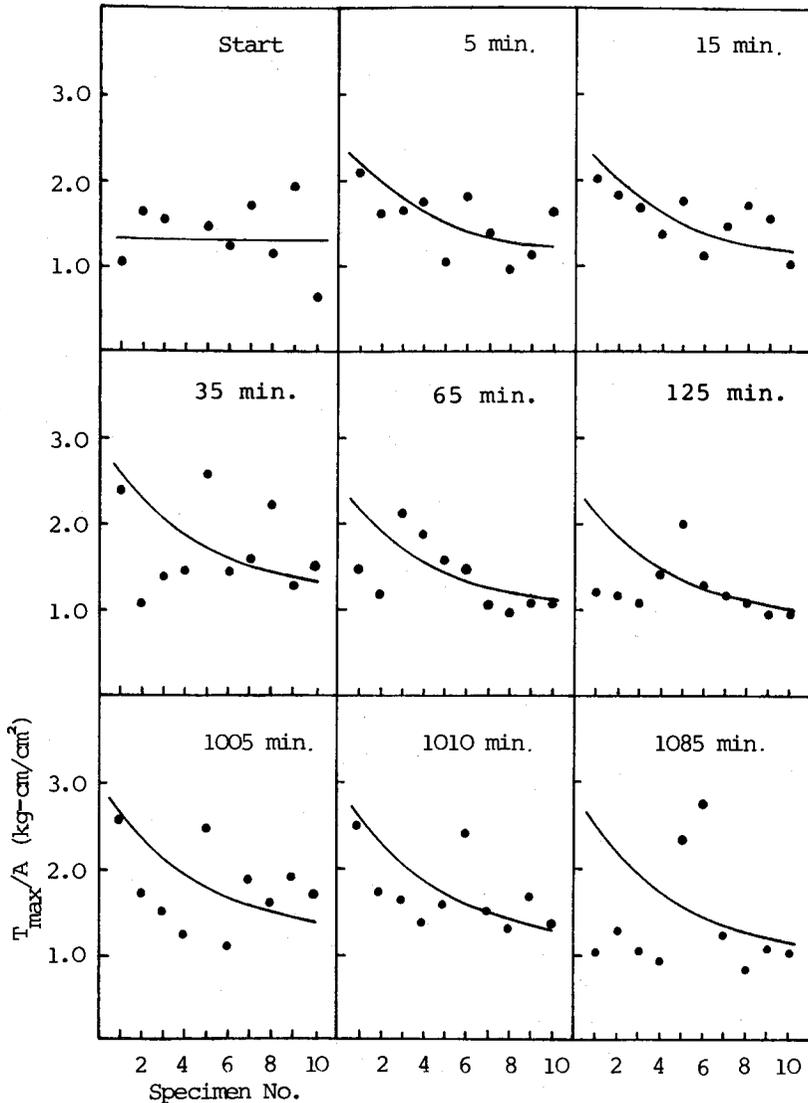


Fig. 53 The relationship between T_m/A and specimen No..

52にオシログラフに記録されたトルク波形の1例を示す。ラッキョウの切断に要したトルクは無負荷トルク波形を除いた斜線の部分となる。このような波形から平均トルク T_m ($\text{kg} \cdot \text{cm}$) および最大トルク T_{max} ($\text{kg} \cdot \text{cm}$) を算出した。ここで平均トルク T_m は斜線部面積 S を距離 l で除して求めた。Fig. 53にラッキョウの切断面積 A (cm^2) で除した単位切断面積当たりの平均トルク T_m/A ($\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$) をFig. 51と同じくラッキョウの供給順に示す。図中の数字は切断開始からの累積時間を示したものである。同図からスタート時は、ほぼ $T_m/A=0.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ の値を示すが、切断後放置して刃に付着した粘質物が乾燥すれば、切断を再開した1球目は、ほとんどが $T_m/A=0.8\sim 1.2 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ の高い値を示し、その後2球目以下急速に低下し、やがてスタート時の $T_m/A=0.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ の一定値に近づく傾向を示す。これ

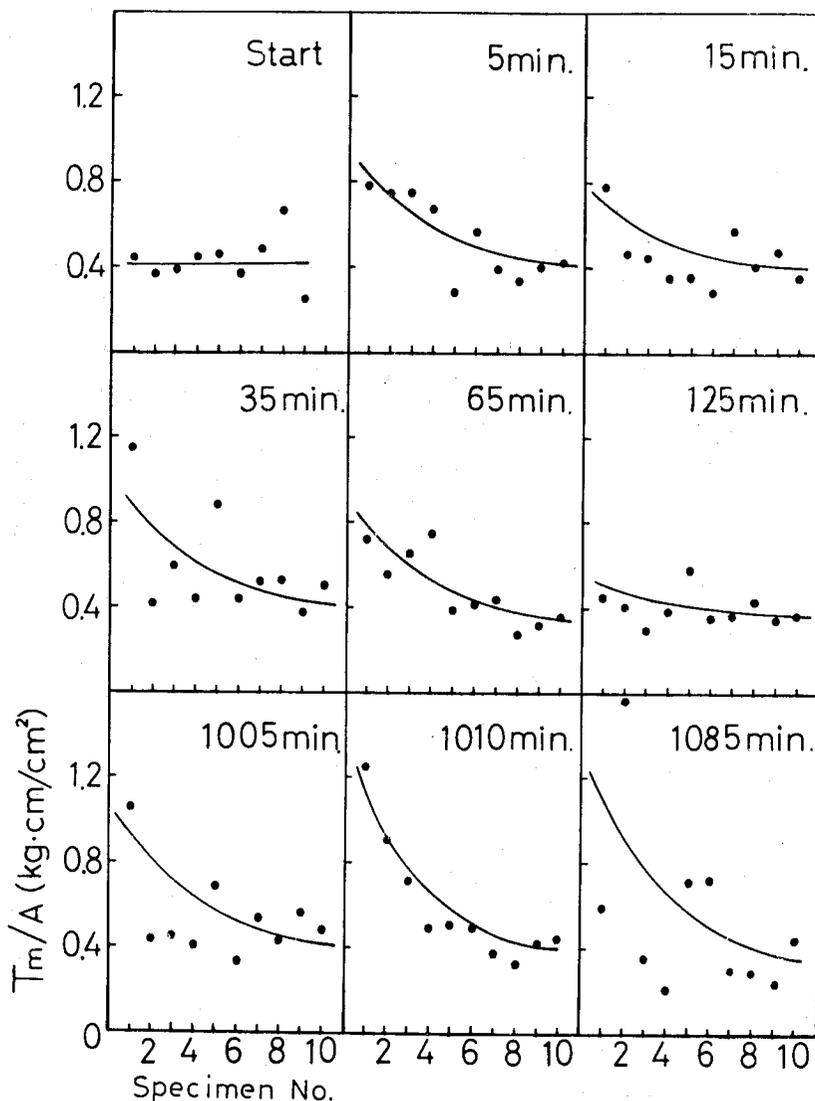


Fig. 54 The relationship between T_{max}/A and specimen No..

は、回転刃に付着した粘質物の乾燥によって、ラッキョウと回転刃間の摩擦抵抗が増加した結果とみられ、回転刃に付着した粘質物が湿潤状態になれば、刃の摩耗のない限り、スタート時とほぼ同じ値となる。同様に単位切断面積当たりの最大トルク T_{max}/A の変化についても Fig. 54 に示すように、ほぼ T_m/A と似た傾向を示していることがわかる。これら T_m/A および T_{max}/A は切断後の放置時間の変化にあまり影響されていない。Fig. 55は、スタート時から245分後の10球切断後に続く T_m

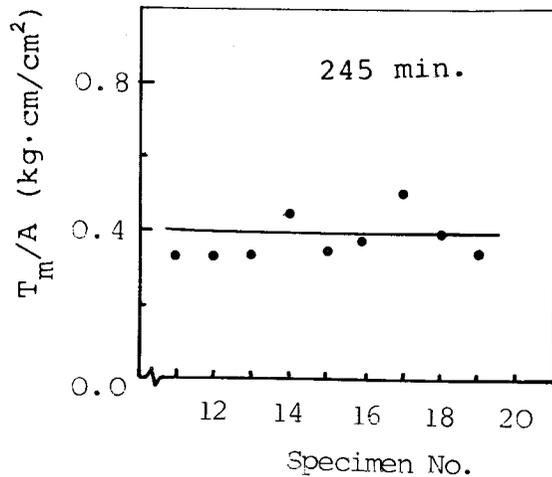


Fig. 55 T_m/A , after the time lapse, 245min., since the start of cutting.

$/A$ を示したものでスタート時にほぼ等しい $T_m/A = 0.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ を得ていることからわかる。そして回転刃の切断部分への粘質物の乾燥・湿潤の繰返しによる粘質物の付着量は肉眼による観察の限りでは変化なく、切断部分の外周に次第に付着堆積する。なお、本実験において200球切断後に付着した量は0.07gであった。さらに1085分後の第1および第5番目に供給したラッキョウは、完全な切断が行われず、ごくわずかな破断を生じた。後述する累積切断量11.8kgで、刃の摩耗による切味劣化が認められなかったことから、この原因は粘質物の付着乾燥によるものと考えられる。

以上のように、回転刃は粘質物の影響を著しく受けたが前述の固定刃はその影響をほとんど見出すことはできなかった。この原因がどこにあるのかは、本実験の範囲だけでは明確にすることはできないが、次のようなことが考えられる。

(i) 供試した固定刃は市販のカッター刃で表面がなめらか、したがって粘質物の付着も少ない。

(ii) 金属表面と粘質物との化学反応に遅速があり、回転刃でそれが速くサビを生じた。すなわち、回転刃の材質はS45Cであり、鉄Feがイオン化して Fe^{++} となり有機物である炭水化物やイオウSを含む蛋白質などと、有機・無機複合体を形成し、回転刃と粘質物が親和力⁵⁶⁾を増した。一方、固定刃はSK材であり、焼入れおよび防錆油⁵⁷⁾の塗布がなされており、Feのイオン化の進行が極めて遅かった。

なおFeのイオン化するすなわち腐蝕の原因となるラッキョウのpHを測定したところ、pH5.75から20時間後にはpH5.20へと変わった。また、原子吸光法による遊離鉄の析出量を測定した結果、回転刃で0.42mg、固定刃で0.06mgであった。

(iii) 固定刃の切断速度が13mm/sと遅いため、切断中に湿潤状態となった。

(2) 累積切断量と切断トルク 次に累積切断量と単位切断面積当たりの平均トルク T_m/A

の関係を Fig. 56(a) に示す。Fig. 53, 54 の結果から、一般に切断作業を中断して次の切断始めは、大きな切断トルクを必要とすることが明らかとなったので、試験ごとの10球供給のうち後半5球の T_m/A の平均値で示した。能率・精度試験をかねた調製作業であるので回転刃2枚で相対速度は 38.8 cm/s (クリップ速度 4.3 cm/s , 回転刃 60 rpm) である。これによると $0 \sim 11.8 \text{ kg}$ の切断量の範囲では、回転刃の切断部への粘質物、あるいは回転刃の摩耗などの影響は認められず、 T_m/A はほぼ 0.6 kg/cm^2 の一定値をとっている。なお切断量 5.1 kg で $T_m/A = 0.95 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ と高く、 7.4 kg で $T_m/A = 0.42 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ と低い値となっているのは、Fig. 56 (b) のラッキョウ切断面積 A と T_m/A の関係で明らかなように、ラッキョウ切断面積の小さくなるほど、 T_m/A が大きな値となるためである。

Photo 14 に 11.8 kg 切断後の回転刃への付着状態を示す。前述のようにラッキョウと回転刃とが直接切断時に接触しない部分に砂や根などとともに付着堆積しており、その付着量は葉側回転刃に 0.83 g 、根側回転刃に 1.43 g であった。

(3) 相対速度と切断トルク Fig. 57 にクリップ速度と回転刃周速度との相対速度と、単位切断面積当たり最大トルク T_{\max}/A および平均トルク T_m/A の関係をクリップ速度別に5球の結果の平均値で示した。同図(a) (b) は回転刃の回転方向別に各図中にクリップの進行との関係で図示し

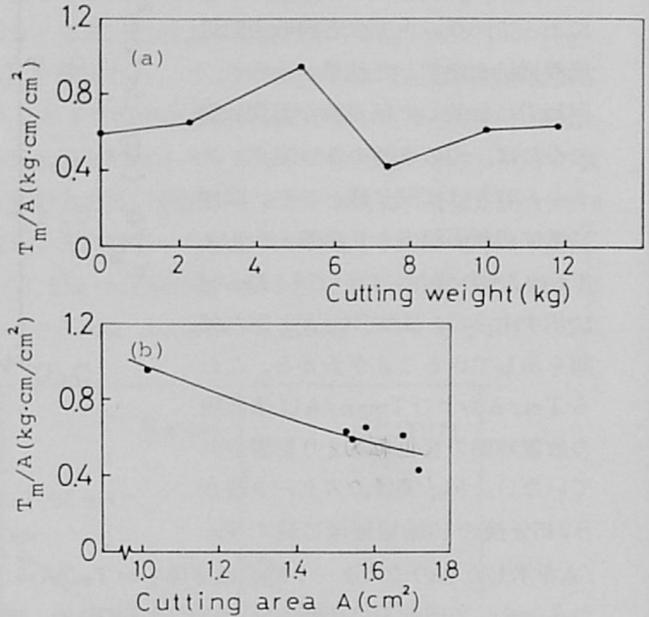
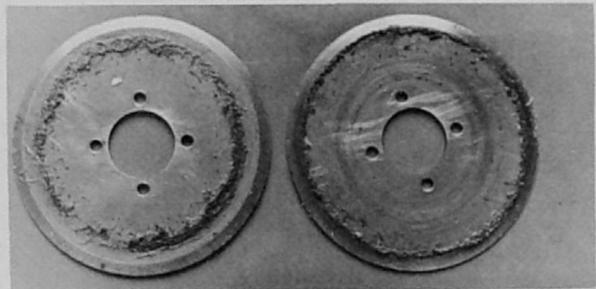
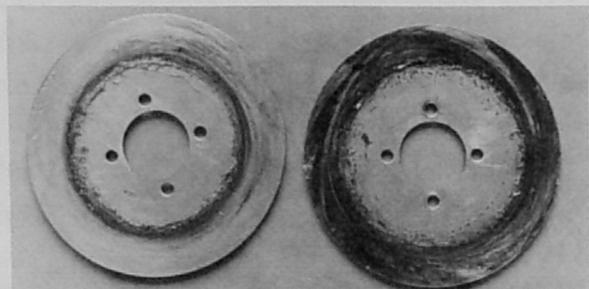


Fig. 56 The relationship between the weight of washed Baker's garlic, A and T_m/A .



Root side

Leaf side



Root side

Leaf side

Photo 14 Adhesives, roots, skins and sand attached to the rotary knives.

た。同図から相対速度の増加にともなう T_{max}/A 、 T_m/A とも増加する傾向にあり、特に(b)において顕著である。またクリップ速度別にみた場合、クリップ速度が増加するにしたがって、 T_{max}/A 、 T_m/A とも低下する傾向にある。これは、回転刃と球との接触時間が、クリップ速度との関係において決定されるため、摩擦抵抗の影響が大きい。この摩擦抵抗は、クリップではさまれた球の両切断面で回転刃と全面接触しているために大きくなり、根および葉は切断後、自由落下するためあまり問題にならないと思われる。切断後の球と刃面との接触による摩擦抵抗を避けるため、若干の逃げ角を持たせるよう刃形状を考慮すべきと思われるが、それによって粘質物の堆積を生じさせないようにしなければならない。

以上のように回転刃によるトルク測定を通じて、粘質物の付着・乾燥による影響が著しく、 T_{max}/A および T_m/A を増加させた。連続切断においては、付着した粘質物の乾燥が妨げられるため、ほとんど問題にならないと考えられる。しかし、

切断にともなう刃とラッキョウの接触する周辺に堆積するため、これを除去する必要がある。この解決策は、粘質物が水溶性であることから、水を含ませたスポンジ間に刃を通過させることなどによって防げるものと考えられる。ただし、サビを生じ難い材質、あるいは表面処理を施す必要がある。なお、ラッキョウのような比較的酸性の強い植物体と無機物である刃との接触面における化学反応が切断抵抗変化に与える影響についての説明は今後に残された課題である。

4 要 結

洗いラッキョウ調製作業省力化を目的として、まず収穫期間中における球の形態を求め、

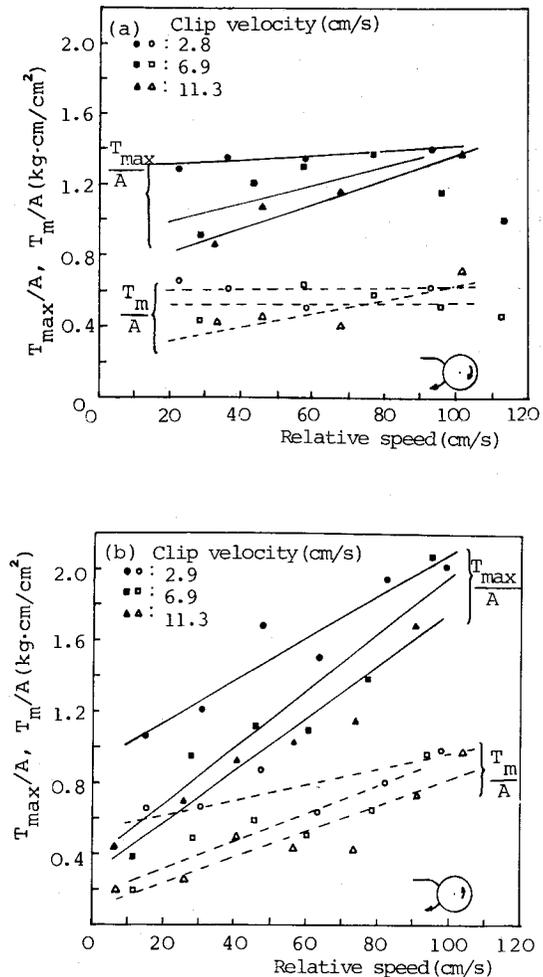


Fig. 57 The relationship between T_{max}/A , T_m/A and relative speed.

切断長の関係を明らかにしようとした。そして現在作業者の経験や視覚に頼っている最適な切断長をもとにして許容する切断長の範囲を求めた。

さらに、切断抵抗力測定装置および切断トルク測定装置を製作して、固定刃および回転刃によるラッキョウ切断抵抗力を測定し、切断角やラッキョウに含まれる蛋白質や可溶性無窒素物および炭水化物であるペントーゼンなどの多糖類を主とする粘質物の付着・乾燥が切断抵抗力に与える影響を調べた。

結果の概要は次のとおりである。

(1) 球は収穫期間中も肥大しつづけ、長径 $D_l = 12.2 \sim 30.2 \text{ mm}$ の範囲でへんぺい度の逆数(短径 D_s / 長径 D_l) は $0.46 \sim 1.0$ の範囲にあり、長径 D_l の小さいほど D_s / D_l は 1 に近づく。

(2) 同一試験日による最適切断長 l_0 (mm) は正規分布を示す。

(3) 最適切断長 l_0 を含む最長および最短の許容切断長 l_{\max} , l_{\min} の差, すなわち切断許容範囲 $l_{\max} - l_{\min}$ から、長径 D_l , 短径 D_s の値に応じて階段状もしくは、連続的に切断長を変化させることによって合格率は増加する。

(4) 切断許容範囲 $l_{\max} - l_{\min}$ をさらに根側と葉側の切断許容範囲, l_r , l_s (mm) に分けると、 $l_r < l_s$ となるため、ラッキョウ切断のための位置決めを機械的に行う場合、根側から行う必要がある。

(5) 根側の切断位置を決定するための基準となる位置を短縮茎の先端とすれば、根側の切断位置までの距離 s は、全収穫期間を通じて、平均値でほぼ $2.8 \sim 4.7 \text{ mm}$ の範囲にある。

(6) 固定刃による最大切断抵抗力 C_{\max} (kg) は、切断角 λ ($0 \sim 60^\circ$) の増加にともなって低下し、切断面積 $A = 1.3 \sim 3.2 \text{ cm}^2$ で $C_{\max} = 0.3 \sim 1.3 \text{ kg}$ の範囲にある。一方、仕事 W (kg·cm) は切断角 λ の増加によって、固定刃と球の接触距離が長くなるため増加する。

(7) ラッキョウの両端を固定した条件下での単位面積当たりの摩擦抵抗力は、ほぼ $0.07 \sim 0.20 \text{ kg/cm}^2$ であった。

(8) 切断部位別に見た単位切断面積当たりの最大切断抵抗力 C_{\max} / A および仕事 W / A は、根側 < 肥大部 < 葉側の順に増加する。

(9) 固定刃に付着した粘質物が乾燥しても、 C_{\max} / A および W / A にほとんど影響をおよぼさなかった。

(10) 回転刃に付着した粘質物が乾燥すれば、単位切断面積当たり平均トルク T_m / A および最大トルク T_{\max} / A は増加するが、繰返し切断してこの付着・乾燥した粘質物が湿潤状態になれば、 T_m / A および T_{\max} / A への影響はほとんどなくなる。

(11) 回転刃への粘質物の堆積は、球と直接接触しない部分に生じ、 11.8 kg の切断後の付着量は葉側および根側にそれぞれ 0.83 , 1.43 g であった。

(12) T_m / A および T_{\max} / A は、回転刃の周速度が一定であれば、クリップ速度が増加するにともなって減少した。そしてクリップ速度が一定であれば、回転刃の周速度が増加するにともなって増加した。

第7章 調製作業省力化に関する研究 (その1) ⁵⁸⁾

1 はじめに

ラッキョウ収穫後の調製作業は、第2章で述べたように板に固定した包丁に押しあてて行っており、多くの労働時間を費やしている。作業は比較的軽労働であるため、婦女子の雇用労働力に依存しているが毎年労働力確保に悩んでいる。このような事情から、現場では調製機開発への強い要望がある。

ラッキョウ調製機開発に関しては、福井農試¹⁶⁾および阿部・藤井^{17, 18, 19)}らが2本のVベルト間にラッキョウをはさんで、固定刃によって切断する機構の調製機を試作し、その能率・精度試験を行い慣行法との比較を行っている。また、福井県三里浜に農業構造改善事業の一貫として、全自動調製装置が導入されたが、か動されなかったなどの経過がある。

筆者は、現地ほ場での聞き取り調査において、根と葉を切断するのに必要な押し切りの負担をなくしたい希望のあることを知った。このことが、調製機開発への動機となった。すなわち、ラッキョウ調製機を開発する上で最も困難と考えられる種々異った形状を有するラッキョウの位置制御は人間が行うこととし、切断行為のみを省力化しようと試みたものである。

なお、ラッキョウの調製には、1株ごとに根と葉の一部を残した「荒ラッキョウ」と1球ずつ分離してすぐ漬けられるようにした「洗いラッキョウ」があり、ここでは後者の「洗いラッキョウ」への調製作業の省力化を目的としたものである。

2 実験装置および方法

1) 固定刃式試作半自動調製機 (1号機) Fig. 58 に、1号機の模式図を示す。全長80cm,

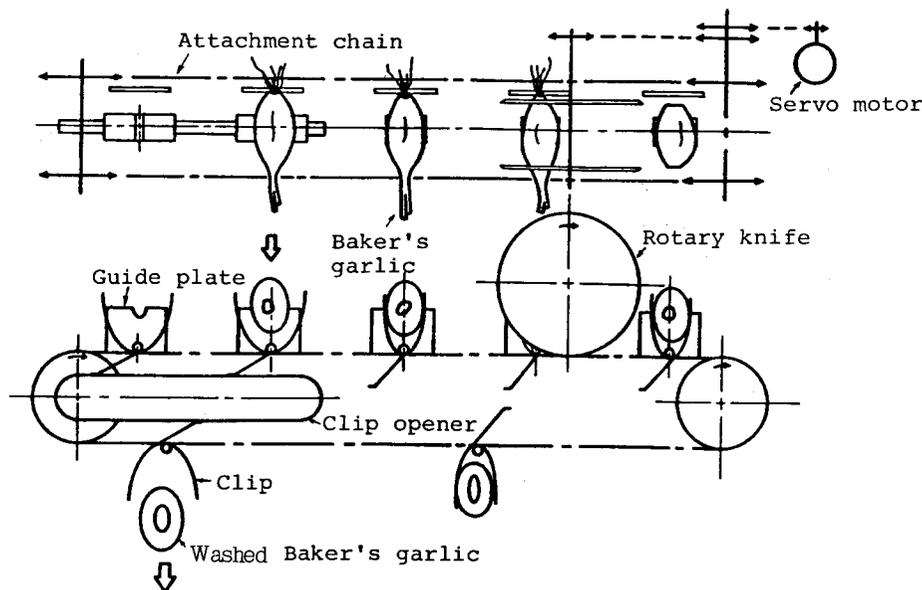
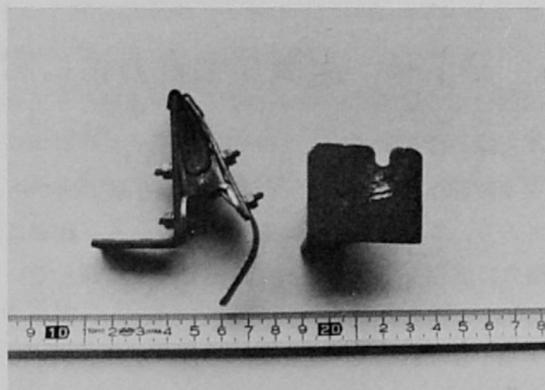


Fig. 58 Schematic diagram of experimental processing device (No.1).

幅17cmで要部は2本のアタッチメント付ローラチェーン間にビス止めしたラッキョウをはさむクリップと、このクリップの開閉を行うクリップオープナーおよび、根と葉を切断する2枚の回転刃である。クリップは目玉クリップを改造したもので、ラッキョウを直接つかむ部分はゴムでカバーし、ラッキョウに傷がつかないようにした。そして各クリップには、切り欠きをほどこしたガイドプレートを設けた (Photo 15・a)。これは、作業者がラッキョウをクリップに置くさいに位置決めを行いやすくするためのもので、ラッキョウの短縮茎(盤茎)をガイドプレートの切り欠きに合わせることによって、回転刃との位置関係を定めることができる。開いたクリップに置かれたラッキョウはクリップオープナーを通過するとクリップが閉じてはさまれる。そして回転刃に導かれ根と葉が同時に切断された後、再びクリップオープナーによってクリップが開くと自然落下して収納箱に入る (Photo15・b)。



(a) The clip and the guide plate



(b) Working view

Fig. 15 Experimental processing device (No.1).

クリップ速度は8.9cm/s、クリップ間隔は10cm、クリップ開閉回数は51回/minである。回転刃は直径100mm、周速度19.3cm/sで、切断長は自由に変更できるが、運転中は固定である。動力伝達は、出力20Wのサーボモータによりチェーン駆動とした。

2) 実験方法 まず1号機の能率・精度試験は、あらかじめ10~20分の練習の後に行った。能率は球数で求め、測定時間は2分間とした。精度における合格・不合格球の判定は、ラッキョウ組合でも明確な規格が設けられておらず経験的な判断に任されているため、立ち会ってもらったラッキョウ組合長の判断によった。また、慣行法による能率・精度と同一条件で比較するため、本学付属砂丘利用研究施設の作業棟において、慣行法の熟練者2名(主婦IおよびH)によって比較試験を行った (Photo16)。さらに、調製作業状況を8mmカメラで撮影し、エディタによって動作分析を行った。なお、供試したラッキョウは、品種「ラクダ」で昭和51年8月に本学付属砂丘利用研究施設ほ場に植付けたものである。

3 実験結果および考察

1) 能率と精度 Fig. 59に慣行法および試作機によるラッキョウ調製作業の能率と精度の試験結果を示す。まず慣行法の能率は、熟練者と初心者で大きな差がある。主婦Iで44球/minであり、初心者のS(22才, 男)で35球/minの能率を示している。一方、1号機による能率は、33~37球/minとなっており、ほぼ慣行法による初心者の能率に等しい。1号機のクリップ開閉回数は51回/min行われていることから、クリップ充てん率(能率/クリップ開閉回数)は65~73%の低い値となる。これの主な原因は、i) ラッキョウをコンテナから取り出すに要する間も、1号機は運転を続けていること、ii) クリップ速度が8.9cm/sと速すぎたため、ラッキョウをガイドプレートに合わせて置く、いわゆる位置決め動作にまごつきを生じる間にクリップが閉じてしまうことがあった、などが挙げられる。

次に精度についてみると、合格率(合格球/能率)は熟練者で91%、初心者で75%を得ている。1号機の場合59~63%で慣行法に比べて非常に低い。この原因は、i) 切断長を23mmで固定とした、ii) クリップの移動速度が速すぎて位置決め動作が完全に行えなかった、iii) クリップの閉じるさいにラッキョウが動くことがあった、iv) 根側の回転刃にブレがあった、などが挙げられる。i) については、第6章で述べたように

切断長を固定すれば合格率はかなり低くなるため、ラッキョウをはさんだときのクリップの開度の検出と連動して切断長の調節を行う方法について検討する必要がある。ii)については、能率とも密接な関係があるが可能な限りクリップ間の距離を縮めてクリップ速度を遅くする必要を認めた。iii)およびiv)は、主として試作上に起因する問題でここでは省略する。な



Photo 16 Comparative test of the traditional method and the experimental processing device (No.1).

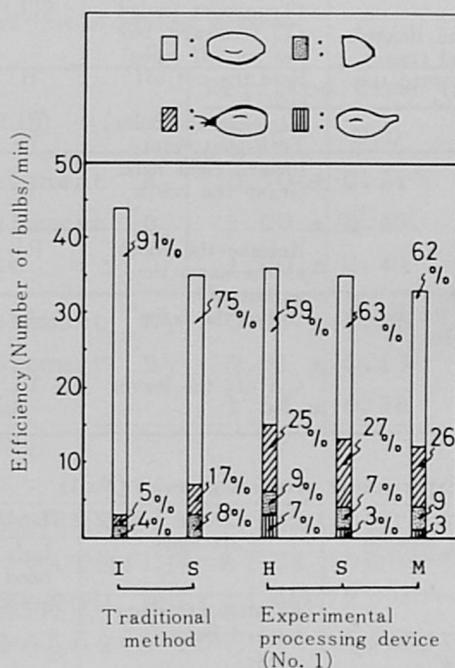


Fig. 59 Comparison of efficiency.

おラッキョウの位置決めは、切り欠きのあるガイドプレートのみにも頼っているが、ラッキョウをクリップに置くさいに切断位置を知ることができればさらに精度は向上するものと考えられた。

2) 動作分析 1号機による調製作業の能率および精度の向上を目的として、慣行法と1号機の調製作業状況を8mmフィルムに撮影し、これをエディタによって動作分析を行った。まずTable14(a)に慣行法の動作分析結果を示す。1サイクルは、ラッキョウをつかんで根と葉を切断し、再び次のラッキョウをつかむまでとした。そして、これを「A」、「B」2つの作業要素に分けた。ここでこの1サイクルは、同じ繰返し作業が行われるとは限らず、作業要素「A」では左手の動作において、調製したラッキョウを手の中におさめることを繰返し

Table 14 Motion analysis of operating for washed Baker's garlic

(a) Traditional method

Working element	Left hand	Therblig symbols		Right hand
		Left hand	Right hand	
「A」 Grasp the Baker's garlic and transport toward the fixed knife	Grasp the cut off bulbs (Transport loaded (TL) toward box the cut off bulbs)	G (TL)	TE	Transport empty (TE) toward Baker's garlic
	Hold the cut off bulbs (Release the bulbs)	H (RL)	G TE	Grasp the leaves Transport loaded toward the fixed knife
	Transport empty toward right hand	TE		
	Grasp the roots	G	P	Decide the cutting point of the roots side
「B」 Cut off the Baker's garlic	Release the roots at the same time as cut off	RL	TL	Cut off the roots side
	Grasp the bulbs	G	P	Decide the cutting point at the leaves side
	Cut off the leaves	TL	RL	Release the leaves at the same time as cut off

(b) Experimental processing device (No.1)

Working element	Left hand	Therblig symbols		Right hand
		Left hand	Right hand	
「A」 Grasp the Baker's garlic	(Transport empty toward Baker's garlic)	(TE)	(UD)	(Unavoidable delay)
	(Grasp the Baker's garlic)	(G)	(UD)	(Unavoidable delay)
	Hold the Baker's garlic	H	TE	Transport empty toward left hand
「B」 Put the Baker's garlic on the clip	"	↓	G	Grasp the bulb
	Hold the Baker's garlic	↓	TL	Transport loaded toward the clip
	"	↓	P	Position the bulb on the guide plate
	"	↓	RL	Release the bulb

た後に収納箱に入れている。また、作業要素「B」では、切断されるラッキョウが1球ずつとは限らず、複数球あるいは1株の場合もある。なお切断は、ラッキョウを手で持って固定している包丁に押しあてて移動させる動作と考え、サーブリック記号⁵⁹⁾は「TL」で示した。

次に、Table14 (b)に1号機による動作分析結果を示す。1サイクルは、右手がラッキョウをつかんでクリップに置いて、再び右手が次のラッキョウをつかむまでとした。そして慣行法における作業要素「A」、「B」に対応して「A'」、「B'」の2つの作業要素に分けた。1号機の場合も同じ繰り返し作業が行われるとは限らず、左手に数球のラッキョウをつかんで、これを右手が1球ずつ受取り、左手にあるラッキョウがなくなれば、左手が再びラッキョウをつかむ動作を繰り返す。クリップには、原則として1球ずつ置くこととした。

Table15は、慣行法と試作機による各作業要素「A」、「B」の所要時間を示したもので、8mmフィルムのコマ数から求めた。1サイクルの平均所要時間は熟練者(I)による慣行法で1.70秒、1号機で1.54秒でありわずかに1号機の方が少ない。しかし慣行法の場合作業要素「B」におけるラッキョウの切断は、1球に限らず2球あるいは、それ以上同時に行われることがあり、これが結果的に試作機と比較して高い能率をあげることになる。

Table 15 Required time of working element

		Required time (sec)	
		Mean	S.D
Traditional method	Working element 「A」	0.70 ± 0.21	
	Working element 「B」	1.00 ± 0.45	
	1 cycle	1.70 ± 0.44	
Processing device (No.1)	Working element 「A」	0.73 ± 0.38	
	Working element 「B」	0.81 ± 0.17	
	1 cycle	1.54 ± 0.38	

個々の作業要素についてみると、慣行法の作業要素「A」は、固定した包丁と作業者との間にあらかじめ積んであるラッキョウをつかんで包丁に押しあてるまでの動作であり、この動作中特に包丁に押しあてる寸前の位置決め動作は、後述する1号機のクリップへのラッキョウの位置決め動作に比べてむだな動作がみられない。そして1サイクルを通じてひじを支点にして手が動いており、通常作業域で調製作業が行われている。また1サイクルに占める所要時間の割合は、作業要素「A」で41%、「B」で59%となっている。

なお、作業要素「B」における所要時間の標準偏差が大きいのは、2球以上切断する場合を含んでいるためと考えられる。

次に1号機の作業要素「A'」は左手に持ったラッキョウを右手が1球ずつ受取りを繰り返して2~5サイクルの完了ごとに左手が未調製のラッキョウをつかむという動作が入っているため

所要時間の標準偏差が大きいと考えられる。作業要素「B'」は、定速度で動いているクリップにラッキョウを置く動作であるが、ガイドプレートにうまく短縮茎があたるように置かねばならない。この位置決め動作のまごつきや、クリップの動きに手が追従不可能であるとき、そのクリップへラッキョウを置くことを断念し、次のクリップへ動作を移さねばならず、むだ時間を費やすことになる。また、クリップが作業者の前から遠ざかる方向に移動することと、1号機のフレームによって作業者の前にむだな空間をつくったことにより大きな動作範囲を必要としたため、最大作業域で作業が行われる結果となった。今後通常作業域で作業が可能となるよう改良をはかる必要がある。

なお、1号機を使用しての動作は作業者によって異なり、慣行法に熟練した作業者が行くと、慣行法による動作と同じように両手でラッキョウを持ってクリップに置く。いずれにしても、慣行法に比べて「手待ち」をなくすことなどかなり改善できるように思われた。

4 要 結

ラッキョウの調製作業省力化を目的として、固定刃式半自動調製機（1号機）を設計・試作した。1号機は、手指の切傷、押し切りに要する力などをなくし、精神的な緊張を軽減させる効果を持つと思われるが、慣行法による熟練者の能率・精度を得るにはいたらなかった。いくつかの問題点をあげると次のようになる。

- (1) 精度向上のため球径に応じて切断長を変化させる必要がある。
- (2) 根側の切断許容範囲がせまいことから、ラッキョウの位置決めは、1号機のように根側から行うのがよいと思われる。そしてクリップにラッキョウを置くさいに切断位置を知ることができれば精度はさらに向上すると思われる。
- (3) 能率・精度向上のためにクリップの速度、間隔、進行方向および通常作業域での作業について検討する必要がある。

第8章 調製作業省力化に関する実験 (その2)⁶⁰⁾

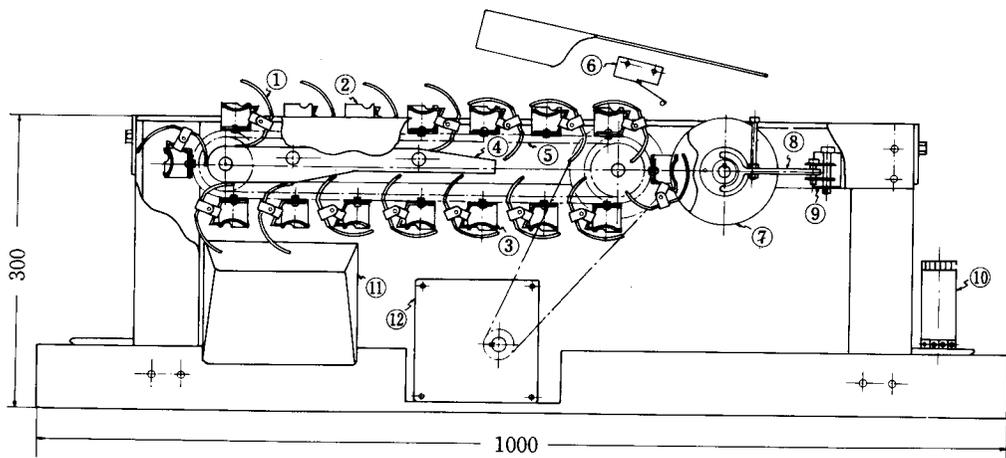
1 はじめに

1号機の能率・精度および動作分析などの実験結果から得た種々の問題点を解決すべく、新たにラッキョウの球径に応じて2段階に切断長を変化させる可動刃式半自動調製機(2号機)を設計・試作した。そして人間が定速度で移動しているクリップの定められた位置にラッキョウを置くいわゆる位置決め動作を行う場合、能率・精度よく行うことのできる最適なクリップ速度を求めようとした。

2 実験装置および方法

1) 可動刃式試作半自動調製機(2号機) 1号機から得た種々の知見をもとに、新たに2号機の設計・試作を行った。2号機は、一定速度で移動しているクリップに人間がラッキョウを置き、このクリップが機械的に閉じて2枚の回転刃によって根と葉を切断する機構で1号機と基本的に同じである。1号機との主な相違点は次の通りである。

- i) 球径の大きさに合わせて切断長を2段階に変化させる機構を持たせた。
- ii) クリップ間隔を可能な限り縮めた。
- iii) 人間が位置決め動作を含む追従作業を行うのに最適なクリップ速度を求めるべく、クリップ速度を無段変速とした。



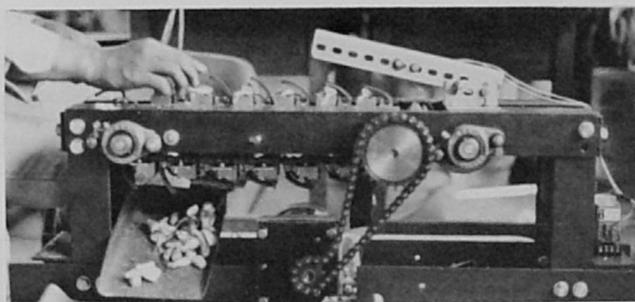
- | | | |
|--------------------|-----------------|-------------------|
| ① Clip | ⑤ Roller chain | ⑨ Solenoid |
| ② Leaf guide plate | ⑥ Micro switch | ⑩ Timer |
| ③ Root guide plate | ⑦ Rotary knife | ⑪ Chute |
| ④ Clip opener | ⑧ Sliding lever | ⑫ Induction motor |

Fig. 60 Experimental processing device (No. 2).

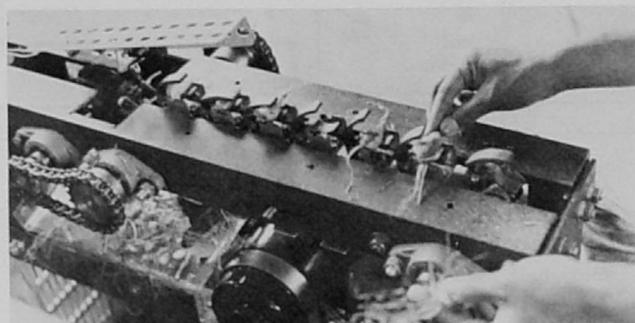
iv) 2枚の回転刃をフレーム内におさめた。

Fig. 60に2号機の概略図を示す。フレームは全長100cm, 幅17cm, 高さ30cmである。短縮茎をガイドプレート③の切り欠きに合わせて置かれたラッキョウは、クリップ①にはさまれ、回転刃⑦にいたる前にマイクロスイッチ⑥により球径の大小が検出される。ここでマイクロスイッチがONとなれば、オフディレイタイマ⑩を通じてソレノイド⑨に通電され回転刃⑦がしゅう動レバー⑧をかいしてスベリキー上をしゅう動し、設定された切断長に広がる。オフディレイタイマ⑩はクリップ速度に合わせて0~2秒間で自由に設定できる。ソレノイド⑨の吸引力は1.4kgで、ストロークは10mmである。マイクロスイッチ⑥のON-OFF作動位置における球径、OFF時における回転刃の間隔(切断長)およびON時のソレノイド⑨による回転刃のしゅう動範囲は任意に設定することができる。本実験ではマイクロスイッチ⑥のON時の球径をほぼ15.2mm以上とし、切断長の設定はOFF時25mm, ON時28mmとした。なお、回転刃⑦は同一軸上で構成されているが、しゅう動する回転刃は葉側のみとし、根側の回転刃は固定とした。これは根側の切断許容範囲が第6章で述べたように狭いためである。そして、ガイドプレートと根側回転刃の距離を3mmとした。

能率・精度の向上を計るには、クリップ間隔を縮める方がクリップ速度を遅くでき、通常作業域での動作につながるため、1号機のクリップ間隔10cmを2号機は6.25cmとした。そしてクリップ速度は0~15cm/s間で無段変速できる出力70Wのインダクションモータ(日本サーボ IMP-70)を取付けた。



(a) Side view



(b) Upper view

Photo 17 Experimental processing device (No. 2).

回転刃⑦の取付け位置をフレーム内におさめることにより、作業者に恐怖感をなくし、安全性を向上させた。さらにここで切断された不要の根および葉はそのまま自然落下するため、1号機のようにフレーム上に堆積することがなく、これらの除去の手間をなくした(Photo 17・a・b)。

2) 実験方法 まず慣行法の能率・精度を今回は収穫期に現地ほ場(鳥取県岩美郡福部村)を訪問し、無作為に調製作業中の方々の了解を得て調査した。2号機による能率・精度試験は、第7章での試験方法と同じであるが、クリップ速度を3~10 cm/sまで変化させ、調製されたラッキョウの精度判定は、筆者らが行った。なお、これら調製作業の1部は8mmフィルムに撮影し、エディタによって第7章と同じく動作分析を行った。

3 実験結果および考察

1) 能率と精度

(1) 慣行法 Fig. 61に福部村浜湯山で調査した慣行法による能率を作業者の年齢順に示した。50才以上の年齢層が多くここにも顕著な老化がみられる。能率は、35~89球/minの広範囲にあり、個人差が非常に大きい。若くてかつ経験年数の多い女性が高い能率を示し、高令で経験年数が浅いと能率は低い。なお、調製機との比較上能率を球数で示したが、一般に調製量で表わすことから、1球当たり3.5~4.5gとすると1日8時間労働として60~170kgの調製量となる。作業者のうち男性2名と32才の女性以外は、「切り子」としてラッキョウ収穫期間のみ雇用されており、調製量に応じて賃金を受取る。次に精度についてみると、合格率(合格球/能率)は、図中に示すようにすべて80%以上となっており、不合格球の内訳は

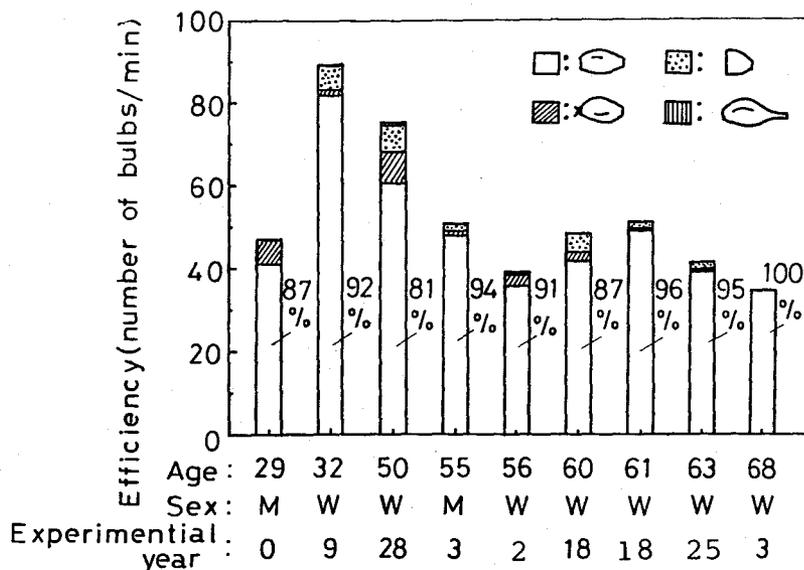


Fig. 61 Cutting efficiency by the traditional method.

「根付き」および「胴切り(切り過ぎ)」がほとんどを占める。

(2) 2号機

i) クリップ速度と能率 Fig. 62
 にクリップ速度と能率の関係を示す。作業者は3名(22, 23, 34才の男性)である。慣行法による能率に大きな個人差があったと同様、同一クリップ速度でかなりのバラツキを生じたが、クリップ速度3~10cm/sの範囲でほぼ30~60球/minの能率で、縦線をほどこした上限および下限の範囲内となった。クリップ速度5cm/s前後までは、クリップ速度の増加とともに能率も増加するが、それ以上クリップ速度が5~10cm/sと速くても能率はほとんど増加しないし、反面低下の傾向も認められない。すなわち、位置決め動作の精度は別として、能率からみる限り追従動作は速度に対してかなり適応性が認められる。図中の理論能率はクリップにすべてラッキョウを置いた場合である。クリップ速度5cm/s未満の低速時において、理論能率よりも実測値の方が高い例があるのは、1つのクリップに2球置く場合があることによる。同図(b)は(a)の能率を調製量で示したもので、ほぼ50~130kg/dayの範囲となり、慣行法の能率60~170kg/dayに比較してかなり低くなる。

ii) クリップ速度と精度 次に前項の作業者のうち1名(23才)によるクリップ速度と能率・精度の関係を

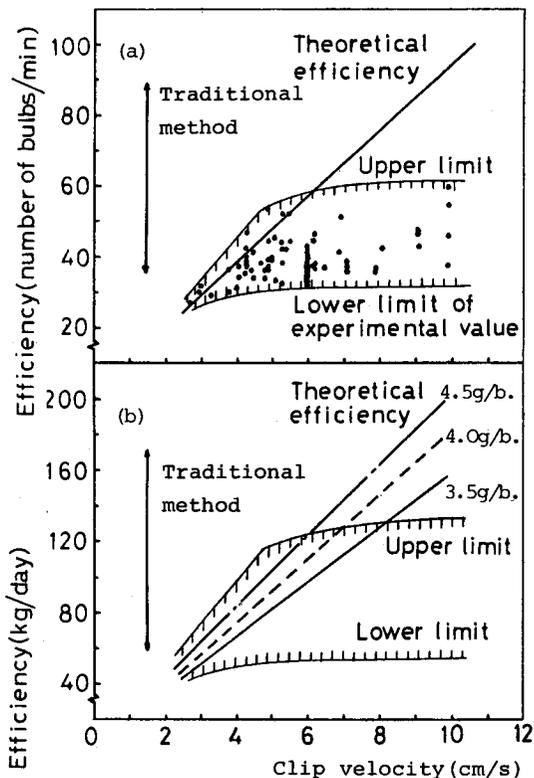


Fig. 62 The relationship between efficiency and clip velocity.

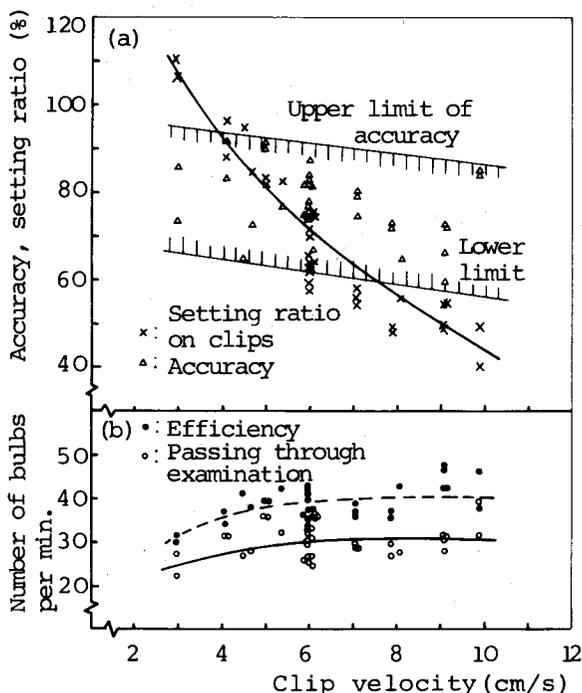


Fig. 63 The relationship between accuracy, efficiency and clip velocity.

Fig. 63 に示した。この作業者の作業については、クリップ速度にあまりこだわることなく可能な限り精度を維持することを意識して行うこととした。その結果能率は同図(b)に示すようにクリップ速度5 cm/sまで増加するが、その後は多少のバラツキを示し全体としてみれば、ほぼ横ばいとなった。そして合格率は、同図(a)に示すようにクリップ速度の増加とともにやや低下傾向を示し、全体として60~90%の範囲に存在し、平均値と標準偏差は $77.3 \pm 8.0\%$ であり、1号機の精度59~63%に比べて著しく向上した。

次に不合格球の内訳についてみると、慣行法と同じく「根付き」と「胴切り」が多かった。「胴切り」は切り過ぎすなわち根側を深く切断した場合であり、クリップのガイドプレートにラッキョウを置く位置によって左右されることから、「根付き」と「胴切り」とは負の相関関係が考えられるが、本作業者の全試験(32回)を通じての「根付き」と「胴切り」との相関係数は0.15であり、ほとんど認められなかった。また同図(a)において、クリップ充てん率(能率/理論能率)はクリップ速度の増加とともに急速に低下し、クリップ速度3.5cm/sで100%、9 cm/sで50%となっている。

以上のように、能率・精度の実験結果から最適なクリップ速度をさぐると、ラッキョウをクリップのガイドプレートに合わせて置く位置決め動作の正確度、すなわち精度がクリップ速度の増加にもなって低下することから、能率の鈍化が顕著となるクリップ速度5 cm/s付近が適当と思われる。そしてこのときクリップ充てん率は80%程度となる。

iii) 可動刃と精度 Fig. 64は、調製機に供給された球の長径 D_L と短径 D_S の関係をマイクロスイッチのON-OFF動作別に示した。マイクロスイッチのON-OFF動作点は、15.2mmであるので同図(I)がONまたはOFFの動作範囲となり(II)がすべてON、(III)がすべてOFFの動作範囲となる。クリップに球を置くさい、作業者は長径あるいは短径を判断しないが、長径、短径の差の大きい、いわゆるへんべいに近い球はクリップ上での安定からへんべいになった方を下面にして位置決めを行う場合が多い。このときマイクロスイッチの検出は、ほぼ短径 D_S の検出を行うことになる。したがってON-OFF動作は(1)に示すように長径 D_L の大きさにかかわらず、短径 D_S が小さくなるにつれて、OFFで切断されやすくなる。

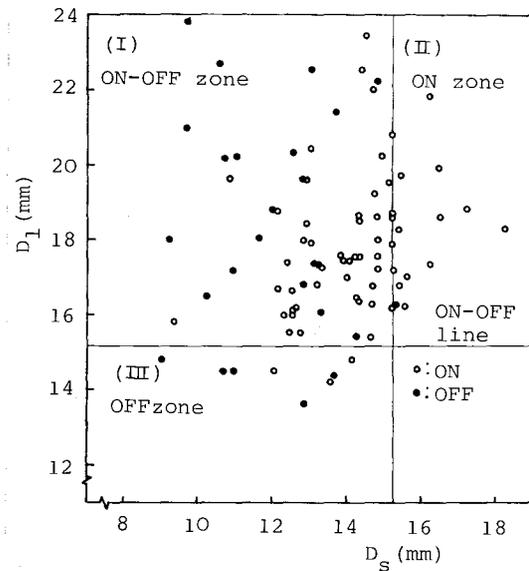


Fig. 64 The relationship between D_L , D_S and ON-OFF of the microswitch.

Fig. 65は、実際の切断長 l と長径 D_L および短径 D_S の関係を示したもので、これからも長径 D_L の変化にほとんど影響されることなくON-OFF動作を行っている。切断長の設定は、OFF

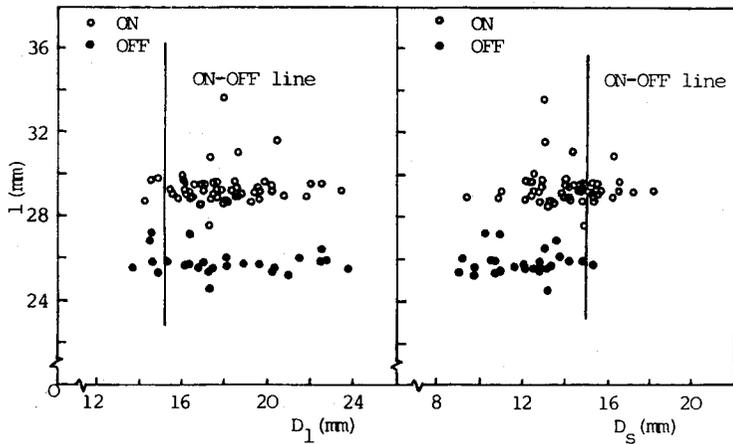


Fig. 65 The relationship between D_1 , D_s and the cutting length (l).

時25mm, ON時28mmであるが、クリップに置きさい若干の回転刃に対する傾きを生じて、設定よりも1mm前後長い切断長を得たものと考えられる。なお長径 D_1 および短径 D_s のおのおのから求めた最長および最短の許容切断長 l_{max} , l_{min} の回帰直線間にある割合を求めたところ、長径 D_1

からは、77%、短径 D_s からは79%を得た。なお、Fig. 64, 65の供試球は調製作業の能率・精度試験において、合格球として判断された球を無作為に抽出したものである。第6章で述べたように、可動刃によって切断長をかえることにより、合格率すなわち、精度や歩留りが向上することは当然であるが、精度に最も影響を与えるのは、クリップに置かれたラッキョウと根側の切断刃との位置関係によって決定づけられる。すなわち、クリップへの位置決めのおろかなずれが、そのまま「根付き」や「胴切り」となって合格球の割合を低下させる。したがってより以上の精度を上げるには、ガイドプレートの改良もしくは、これにかわるラッキョウ位置制御の自動化が今後に残された課題である。

2) 動作分析

(1) 慣行法 Fig. 66に能率と作業要素「B」および1サイクルの所要時間との関係を示す。

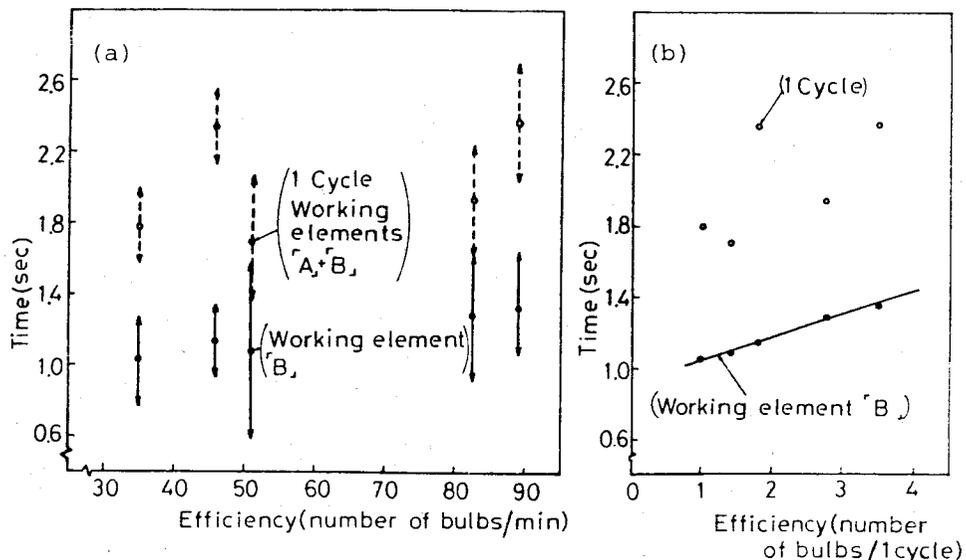


Fig. 66 The relationship between efficiency and required time by the traditional method.

ここで調製作業の1サイクルは、第7章と同じくラッキョウをつかんで根と葉を切断し、再び次のラッキョウをつかむまでとした。そしてこれを作業要素「A」および「B」に分けた。「A」はラッキョウをつかんで包丁の方へ移動する動作、「B」はラッキョウの根と葉を切断する動作である。まず同図(a)は、能率との関係を1サイクルおよび作業要素「B」について95%信頼区間を示したものである。1サイクルの所要時間は全体としてほぼ1.4~2.7秒の範囲にあり、かなり個人差がみられる。そして1サイクルおよび作業要素「B」の所要時間は、能率の増加とともにやや増加する傾向がみられる。このことは慣行法による能率が1サイクルの調製球数によって影響されることを示す。そこで同図(b)に1サイクルにおける調製球数との関係を示した。これから1サイクル当たり1~3.5球の調製を行っていることがわかる。このとき根と葉の切断作業を含む作業要素「B」の所要時間は、1.1~1.4秒まで1次直線となって増加しており、これには個人差が生じていない。このように作業要素「B」の増加する原因は、1サイクルの調製球数が多くなると包丁にラッキョウをあててから回転させるような切断あるいは切断中に1瞬手が止まり再びそれぞれの球に応じた切断位置に包丁をあてて切断行為に入るためである。これは、多数の球を1度に平面的に切断すると「胴切り」、「根付き」の原因となるからである。しかしラッキョウを拾い上げる動作である作業要素「A」の繰り返し回数を少なくすることが、結果的に大きな能率を上げることにつながっている、なお、作業要素「A」の所要時間は個人差を生じており、能率の増加と直接的な関係は乏しい。すなわち、慣行法における能率の差は、作業要素「B」の根と葉の切断行為の巧拙にあり、多くの球を1度に切断することのできる「技」を身につけているか否かにかかっており、熟練者は1株を持ってこれを1球1球分離することなく切断行為を行う。

以上慣行法による能率は、1サイクルにおける調製球数の多少によって大きな影響を受ける。

(2) 2号機 2号機を使用した調製作業の動作分析結果をFig. 67に示す。1サイクルは、

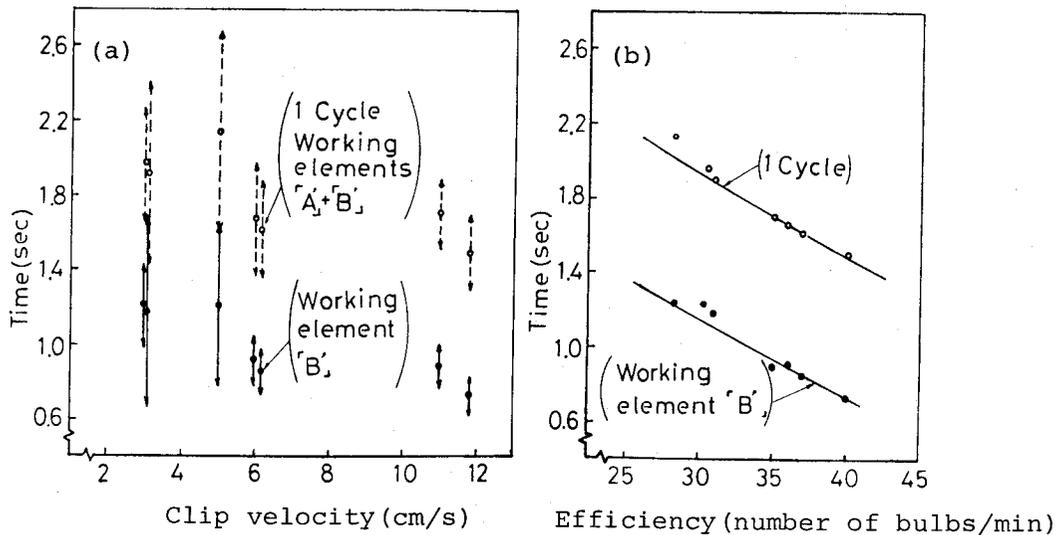


Fig. 67 Required time by the experimental processing device (No. 2).

第7章と同じく右手がラッキョウをつかんで再び右手が次のラッキョウをつかむまでとした。そして慣行法における作業要素「A」、「B」に対応して「A'」、「B'」の2つの作業要素に分けた。すなわち「A'」はラッキョウを受取る動作、「B'」は移動しているクリップにラッキョウを置く動作である。同図(a)は、1サイクルおよび作業要素「B'」の所要時間とクリップ速度の関係を95%信頼区間で示した。作業者はFig. 63と同一人物(23才、男性)である。これによると、1サイクルおよび作業要素「B'」ともにクリップ速度が増加するにともなってや、低下傾向がみられる。ここで慣行法と比較するために、各クリップ速度における能率と所要時間との関係を同図(b)に示した。1サイクルおよび作業要素「B'」の所要時間は、能率の増加にともなって1次直線となって低下傾向を示し、慣行法と逆の傾向となる。そして作業要素「A'」の所要時間は、能率に関係なくほぼ一定の0.8秒前後となっている。作業要素「B'」の所要時間は、0.7~1.2秒の範囲にあるが、この場合1サイクル当たりの調製球数はほぼ1球である(原則としてクリップには1球置くこととした)。これをFig.66(b)の慣行法と比較すれば、1サイクル当たり1球のとき「B」は約1.1秒であり、2号機の「B'」のほぼ中央値となる。慣行法と異って2号機の作業者は、いわゆる熟練者でなく経験年数を有さないため、その能率は慣行法の能率の低い方に位置するが、根と葉の切断作業に対し、クリップに置くだけの作業は、慣行法に比べて少ない所要時間で行える。しかし、作業要素「B'」の所要時間が能率の増加とともに低下することは、位置決め動作という精度と深い関係のある所要時間の短いことを示すもので、前述のように能率向上が精度の低下につながる。慣行法の場合、能率向上と精度との間に調製機のような明確な傾向がみられないのは、能率を上げるべく1サイクルの調製球数を多くしたときでも、作業要素「B」の所要時間を作業者の意志によって自由に費やすことができる。しかし、2号機の能率をあげるには、作業要素「B'」の位置決め動作を含む作業を速める必要がある。

なお、若干の精度の低下は免れないが1つのクリップに2球置くことにより、理論的には2倍の能率を上げることになる。一般にクリップに2球置く場合、それらは1株のうちの隣合った球であり、短縮莖とつながっているため、1つの球としてクリップにはさまれるが、回転刃によって根側が切断されると2つの独立した球となる。このとき2つの球は、それぞれが1つのクリップによって拘束されていなければならない。2号機のクリップ形状ではどちら一方の球が、クリップから切断時に脱落するが多かった。

以上のことから、今後本方式の半自動調製機の能率・精度を向上させるには、次の2点が主な課題となる。

- i) 1つのクリップに2球はさむことのできるクリップ形状。
- ii) 位置決め動作をより容易に行うための補助装置の開発。

特にii)については、ラッキョウの位置決めを自動的に行う全自動調製機への道につながると考えられる。

4 要 結

ラッキョウの球径に合わせて切断長を2段階に変化させる機構の可動刃式半自動調製機(2号機)を試作した。そして作業者が移動するクリップに能率・精度よくラッキョウを置くことのできる最適なクリップ速度を求め、合わせて慣行法との比較を行った。

結果の概要は次のとおりである。

(1) 2号機を使用しての最適なクリップ速度は、5cm/s付近とみられ、このとき能率はほぼ30~50球/min、精度は合格率でほぼ65~90%となり、1号機に比べて能率・精度ともに向上した。一方慣行法では、能率35~90球/min、精度80~100%の範囲にあり、2号機は、慣行法による能率・精度の低い方に属する。

(2) 慣行法による能率は、1サイクルにおける調製球数が1~3.5球へと増加するにしながら高くなり、このとき作業要素「B」の所要時間も1.1~1.4秒へ増加する。そして能率と精度間に顕著な関係は認められない。

(3) 2号機による能率は、動作分析の結果作業要素「B'」の所要時間が1.4~0.7秒へと減少することによって高くなるが、「B'」は位置決め動作を含むため能率の増加とともに精度は低下傾向となる。

(4) 今後半自動調製機の能率・精度向上をさらにめざすには、1つのクリップに2球はさむことのできるクリップの形状と位置決め動作をより容易に行うための補助装置(ガイドプレート)の改良など)の開発が必要と考える。

第9章 総 括

本論文は、砂丘地の特産物であるラッキョウの収穫・調製作業の省力化を目的として、掘取り機および調製機開発への接近を試みたものである。以下にこの研究の内容を総括して述べる。

まず、慣行法による収穫・調製作業の現状を明らかにし、その作業順序にしたがって収穫作業省力化に関する基礎実験として、収穫期におけるラッキョウの形態と引抜き抵抗力を中心とする力学的性質を、引抜き試験機を用いて明らかにした。

その結果、ラッキョウは収穫期間中も分球・肥大を続けるが休眠期に移行するため、葉の枯死が進行し根群も衰退する。したがって最大引抜き抵抗力は、ほ場含水比が一定であれば、収穫末期になるにつれて減少傾向を示す。植栽状態のままでの引抜き可能割合は、ほ場含水比の影響を受け、湿潤時に根群への砂付着および葉の破断する標本が多い。したがって、現行の収穫作業をそのまま機械化させる上においても、慣行法と同じく根切り刃によって根群を切断し、同時に砂を膨軟にして引抜き抵抗力を減じさせる必要があり、根切り刃が収穫作業にとって大きな役割を果たすことになる。

ここで、根群が砂中に残されても連作障害など生理上あまり問題にならないという前提に立てば、根群は根切り刃によって可能な限り多く切断された方が、引抜き抵抗力の軽減、砂落し作業および「荒切り」作業の省力化につながる。

そこで、根切り刃の砂中切削における根群切断効果をみるため、ほ場を大きな土壌槽とみため、各種検出器を取付けた可搬型根切り刃けん引装置を用いて、裸地および植栽地で砂地表面変位、けん引抵抗力および根群切断率などを測定した。

その結果、裸地におけるけん引抵抗力は切削深と正の高い相関関係にあり、耕うん後約3か月間の経時変化による影響は認められなく、ほ場含水比の影響を強く受けた。植栽地におけるけん引抵抗力は裸地のように切削深と正の高い相関関係を示さず、特にほ場含水比の高いとき低い相関関係を示した。これは、ほ場含水比の変化によって根群切断効果が異なるため、切削深と球深の差と、比抵抗との関係は乾燥状態から湿潤状態になるにしたがって正から負の相関関係へと変化した。そして根群切断率は、切削深が球深に近いほど、ほ場含水比が高いほど増加したが、刃形状、刃厚、切削角度などに有意差は認められなかった。なお、砂を下方に圧縮する湾曲側刃は鉛直側刃に比べて高い根群切断率を得る傾向が認められた。したがって根切り刃の根群切断率を高めるには、まず切削深の制御と砂に圧縮力などを加え、せん断強さを増加させるなどによって湿潤ほ場状態と同じような切削条件をつくる必要が明らかとなった。

引抜き抵抗力の測定とほぼ平行して、現行のラッキョウ収穫作業に合わせた根群切断—引抜き—砂落し—「荒切り」もしくは「荒ラッキョウ」調製—収納を機械化することを目的として引抜き式掘取り機の設計・試作を行い、本方式のラッキョウへの応用の可能性と、作物体、土壌および機械の3者間における問題点をは握しようとした。

1および2号機の試運転の結果、ほ場条件特に含水比の影響を著しく受けた。乾燥ほ場状態では、引抜き搬送が可能であったが、湿潤ほ場状態では根群への連続した砂付着により引抜き搬送が困難であり、根切り刃の作用に関する問題点提議への動機を得た。

収穫作業の省力化以上に労働力を必要とする調製作業は、板に固定した包丁にラッキョウを押しあてて行われている。ここでは、1球ずつすぐに潰けられるように調製した「洗いラッキョウ」への調製作業省力化を目的として、まず収穫期における球の形態と切断許容範囲を求めた。

次に根と葉を切断のさい包丁には、蛋白質、可溶性無窒素物および炭水化物である多糖類を主とする粘質物が付着・乾燥し、褐変や糊化を生じる。そこで切断抵抗力測定装置および切断トルク測定装置を製作して、固定刃および回転刃による切断抵抗力を測定し、切断角や粘質物が切断抵抗力に与える影響を調べた。

これらの結果、最適切断長を含む最長および最短の許容切断長の差すなわち切断許容範囲から、長径・短径の大きさに応じて切断長を変化させることによって高い合格率を維持できる。そしてこの切断許容範囲をさらに根側と葉側の許容範囲 l_r , l_s (mm) に分けると $l_r < l_s$ となるため、切断のための位置決めを機械的に行う場合、根側から行う必要がある。根側の切断位置を決定するための基準となる位置を短縮茎の先端とすれば、根側の切断位置までの距離は、全収穫期間を通じて平均値でほぼ2.8~4.7mmの範囲にある。

市販のカッター刃を供試しての最大切断抵抗力は切断角の増加にともなって低下するが、仕事は切断角を大きくすると摩擦抵抗が増えて高くなる。単位切断面積当たりの最大切断抵抗力および仕事は、根側<肥大部<葉側の順に大きな値となり、この原因は維管束などの繊維質によるものと思われる。

回転刃に付着した粘質物が乾燥すれば、単位切断面積当たりの平均トルクは、摩擦抵抗力の影響によって増加するがこの乾燥した粘質物が再び切断によって湿潤状態になれば切断トルクへの影響はほとんどなくなる。粘質物の回転刃への付着は、ラッキョウと直接接触しない部分に砂および根などととも堆積する。単位切断面積当たりの平均トルクおよび最大トルクは、クリップ速度が一定であれば、回転刃の周速度が増加するにしたがって増加する。したがって回転刃周速度は遅い方が好ましいが、粘質物の乾燥を防ぐ対策を講じなければ破断現象を生じる可能性がある。粘質物は水溶性であることから、刃に水分を供給することにより解決できる。

次に、現地ほ場での調査において根と葉を切断するのに必要な押し切りの負担をなくしたい希望のあることを知り、ラッキョウ調製機を開発する上で最も困難と考えられる位置制御は作業者が行うこととし、切断行為のみを省力化しようと試み、基礎実験を兼ねた半自動調製機的设计・試作を行った。そしてラッキョウ組合の協力を得て、慣行法との能率・精度の比較と、動作分析を行い調製機開発への基礎資料を得た。

その結果、固定刃式半自動調製機(1号機)は、手指の切傷や、押し切りに要する力をなくす効果はあるが、能率・精度ともに慣行法に比べて劣り、球径に応じて切断長を変化させる必要性と、作業者が移動するクリップに能率・精度よくラッキョウを置くことのできる最適

クリップ速度を求める必要性を生じた。これらの問題点を明らかにする目的で球径に応じて2段階に切断長を変化させる可動刃式半自動調製機(2号機)を新たに設計・試作した。これにより、最適なクリップ速度は5 cm/s付近であることが明らかとなった。このとき能率・精度は、30~50球/min・65~90%で1号機に比べて大きく向上したが、慣行法の能率・精度35~90球/min・80~100%の低い方に位置する。

動作分析より慣行法の能率は、1サイクルにおける調製球数が1.0~3.5球へと増加するにしたがって高くなり、このとき根と葉を切断する動作である作業要素「B」の所要時間も1.1~1.4秒へ増加する。そして能率・精度間に顕著な関係は認められなく、いわゆる経験によってみがかれた「技」の差が、能率・精度の差となって生じる。

一方2号機による能率は、クリップに原則として1球ずつのせる動作である作業要素「B'」の所要時間が1.2~0.7秒へと短くなることによって増加するが、「B'」は位置決め動作を含むため精度に低下傾向を生じる。

今後、この半自動調製機の能率・精度を高めるには、1つのクリップに2球置くことのできるクリップ形状と、位置決め動作をより容易に行うための補助装置の開発が必要と思われる。

結 言

本論文は、ラッキョウの収穫・調製作業省力化を目的として、まずラッキョウの収穫・調製作業の現状を調査した。そして収穫・調製作業の順序にしたがって、収穫期間中におけるラッキョウの形態と引抜き抵抗力を中心とする力学的性質を明らかにした。つづいて収穫省力化にとって重要な役割を果たす根切り刃の作用を、現地ほ場の裸地と植栽地で明らかにし、同時に引抜き式掘取り機の試運転を通じて本方式における問題点をは握した。

さらに収穫後に続く調製作業において、機械化を前提として、従来規格化されていない切断許容範囲を球の肥大部の長径・短径から定めた。そして調製に要する切断抵抗力を、固定刃および回転刃を用いて、切断角や粘質物の付着・乾燥との関係において明らかにした。続いて半自動調製機を設計・試作し、慣行法と能率・精度および動作分析を通じて比較・検討し、収穫・調製作業省力化への接近を試みたものである。

江戸時代より始まったといわれる長い栽培歴史とその間における農民の知恵によって今日までつちかわれてきた、ラッキョウ栽培における収穫・調製作業技術が、今後変革をとげていく過程で、本論文がいささかでも役立てば幸甚である。

参考文献

- 1) 伊藤克己, 塩野勇: 現代農業技術双書 ダイコン, カブ, ニンジン, ゴボウ, 家の光協会, 1971, 78
- 2) Gleason L. Grey and Willard R. Ellis: Individual Separation of Stones and Potatoes a Progress Report, Trans. of ASAE, 15(3), 1972, 406-408
- 3) E. Schäfer: Untersuchungen über die Trennung von Kartoffeln und Steinen mit umlaufenden Trennbürsten, Landtech. Forsch., 11(6), 1961, 170-175
- 4) Eaton, F.E. and R.W. Hansen: Mechanical Separation of Stones from Potatoes with Rotary Brushes, Trans. of ASAE, 13(5), 1970, 591-593
- 5) 石原昂・岩崎正美: 掘取機の選別機構に関する研究 (第1報), 農業機械学会誌, 35(1), 1973, 33-37
- 6) E. Schäfer: Trennung von Kartoffeln und Steinen mit geneigten Bändern, Landtech. Forsch., 10(5), 1960, 131-137
- 7) Walter G. Brenner und Klaus Grimm: Kartoffelernte im zweigeteilten Verfahren. Landtech. Forsch., 10(3), 1960, 70-76
- 8) D.C. Mc Rae: Recent Developments In Potato Harvesting Machinery, The Agricultural Engineer, 28(2), 1973, 43-47
- 9) J. Palmer, A.W. Kitchenman, A.B. Moore, G.M. Owen: Adaption of a Commercial Potato Harvester to a Commercial X-ray Separator, J. Agric. Engng Res., 18(4), 1973, 355-367
- 10) 岩崎正美・石原 昂: 掘取機の選別機構に関する研究 (第2報), 農業機械学会誌, 40(1), 1978, 41-46
- 11) 石原 昂・樋口英夫・竹内芳親・岩崎正美: 掘取収穫機械, 鳥取大学農学部農業機械学研究室, 1974
- 12) 北海道農業試験場物理部農業機械化第2研究室: たまねぎ収穫性能試験, 1973, 1-4
- 13) 富田貢, 本庄弘幸, 川崎健, 金谷豊: 茎葉付タマネギ用掘取機と拾上機の開発試験, 農業機械学会誌, 40(2), 1978, 187-194
- 14) 阿部勇; 野菜の機械化栽培の問題点, 農業および園芸, 49(1), 1974, 225-230
- 15) 後藤美明, 山本健司: 短根ニンジン収穫機の研究, 農業機械学会誌, 38(2), 1976, 301
- 16) 農業機械試験成績: 福井農業試験場研究報告, 1961, 14-19
- 17) 阿部正俊・藤井嘉儀・酒井永: ラッキョウ調製加工機の試作, 砂丘研究, 10(1), 1964, 18-22
- 18) 藤井嘉儀・川手俊三: ラッキョウ調製加工機の試作 (第2報), 砂丘研究所報告, 10, 1971, 22-28

- 19) 藤井嘉儀・佐藤一郎・石原昂：ラッキョウ調製加工機の導入と農業経営の変革（第1報），砂丘研究所報告，(12)，1973，5-12
- 20) 熊澤三郎：蔬菜園芸各論，養賢堂，1972，274-275
- 21) 農林省食品流通局野菜振興課：野菜生産状況表式調査結果（昭和51年産），1977，20
- 22) 鳥取県農林部編：鳥取県の砂地農業，1973，72
- 23) 川上一郎：ラッキョウ——利用にあわせた作り方——，農山漁村文化協会
- 24) 中国四国農政局鳥取統計情報事務所編集：鳥取農林水産統計年報（第18-25次），1971-1978
- 25) 鳥取県農林部：農産物生産費統計調査書（昭和52年産），野菜果実生産費，1978，15-17
- 26) 鳥取県農林部：農業経営指導の手引，1978，160
- 27) 岩崎正美・石原昂：引抜き式掘取機に関する研究（第1報），農業機械学会誌，40(2)，1977，171-178
- 28) 菅沼健二・小原勝蔵・山口豊・山下陽里：根菜類の掘取性能試験，農業機械学会誌，38(2)，1976，300
- 29) 古谷正：根菜の引抜き力に関する研究（第1報），農業機械学会誌，40(1)，1978，47-52
- 30) 岩崎正美・石原昂：根菜類の引抜き抵抗，農業機械学会誌，37(1)，1975，76-80
- 31) 佐藤一郎・田辺賢二：砂丘地におけるラッキョウ栽培に関する研究（第3報），砂丘研究所報告，10，1971，1-5
- 32) 奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉沢正：多変量解析法，日科技連，1972，25-157
- 33) 岩崎正美・石原昂：ラッキョウの機械収穫に関する研究（第1報），砂丘研究所報告，16，1977，35-42
- 34) 佐藤一郎・山根昌勝：砂丘地におけるラッキョウ栽培に関する研究（第5報），砂丘研究所報告，13，1974，31-37
- 35) 岩崎正美・石原昂：引抜き式掘取機に関する研究（第3報），農業機械学会誌，40(3)，1978，361-367
- 36) 岩崎正美・石原昂：引抜き式掘取機に関する研究（第4報），農業機械学会誌，41(2)，1979，251-256
- 37) 川上一郎：農業技術大系(8)，農山漁村文化協会，1973，応144
- 38) 木谷収・庄司英信：各種耕うん装置比較のための基礎的研究（第3報），農業機械学会誌，25(3)，1963，131-135
- 39) 戸刈義次：作物試験法，農業技術協会，1959，139-155
- 40) 川村登：農業機械計測におけるデータ処理，農業機械計測とコンピュータの応用，農業機械学会，1970，124-133

- 41) 畑村洋太郎・干々岩健児：土の切削機構の解明(第1報), 日本機械学会論文集, 40 (338), 1974, 2945-2955
- 42) 川村登：ブラウ曲面の研究(第3報), 農業機械学会誌, 14(3・4), 1953, 65-71
- 43) 松田明美・神近牧男・安東登志広：砂丘地の地面付近における温度の垂直分布について, 砂丘研究所報告, 16, 1977, 9-15
- 44) 岩崎正美・石原昂：引拔式掘取機に関する研究(第2報), 農業機械学会誌, 40(2), 1978, 179-185
- 45) Pori, W.L. and Price Hobgood: Mechanical Harvester for Fresh Market Onions, Trans. of ASAE, 13(4), 1970, 517-522
- 46) R.Wingate-Hill: Performance of a Top-lifting Harvester for Early Onions, J. Agric. Engng Res., 22(3), 1977, 271-281
- 47) Hatton, J.R., Copeland, C.M.: FMC Experimental Carrot and Onion Harvester, Trans. of ASAE paper, 1972, 72-147
- 48) 八鍬利郎：農業技術大系, 野菜編8, 農山漁村文化協会, 1973, 基13-39
- 49) 田中亮平：植物生理学大要, 一基礎と応用一, 養賢堂, 1965, 4
- 50) 藤卷正生他：食品化学, 朝倉書店, 1968, 95-101
- 51) 寺山宏：基礎生化学, 裳華房, 1960, 32-36
- 52) 三輪茂雄：粉粒体工学, 朝倉書店, 1972, 65-84
- 53) Mohsenin, N.N.: Physical properties of plant and animal materials, Volume 1, Gordon and breach science pub., 1970, 51-85
- 54) 小林一：穀物の物性および測定法, 一力学的性質を中心に一, 農業機械学会, 1976, 11-20
- 55) 江崎春雄：刈取機の設計要素に関する実験的並びに理論的研究, 関東東山農業試験場研究報告, 12, 1959, 168-170
- 56) 化学大辞典編集委員会編：化学大辞典2, 共立出版1963, 306
- 57) 機械設計便覧編集委員会編：機械設計便覧, 丸善, 1958, 1387
- 58) 岩崎正美・石原昂：ラッキョウ調製機に関する研究, 農業機械学会誌, 40(4), 1979, 541-546
- 59) 坪内和夫：人間工学, 日刊工業新聞社, 1974, 181
- 60) 岩崎正美・石原昂：ラッキョウ調製機に関する研究(第2報), 農業機械学会誌(投稿中)