

ラッキョウ調製作業機械化に関する基礎的研究 (第1報)*

最適切断長と動作分析

岩崎正美**・石原 昂**

Fundamental Studies on the Mechanization of Baker's Garlic Processing Work (I)*

Optimum Cutting Length and Motion Analysis of the Conventional Method

Masami IWASAKI** and Akira ISHIHARA**

Summary

For the purpose of the processing mechanization of Baker's garlic after harvest, the relationship between optimum cutting length and bulb diameter during the harvest stage was clarified by measurements of bulb forms. Permissible cutting length due to optimum cutting length, which depend on experience and the sense of sight of workers, was obtained.

Furthermore, the efficiency and the accuracy of the conventional method was measured, and a motion analysis of the processing work was made by an 8 mm film editor.

The results obtained in the experiments are summarized as follows.

1. The long diameter D_1 (mm) of Baker's garlic bulbs, which grow during the harvest stage are at the range 12.2~30.2 mm. The short diameter D_s (mm) divided by D_1 (mm) are at the range 0.46~1.00 and D_s/D_1 approaches to unity with the decrease of D_1 .
2. Optimum cutting length l_0 (mm) by the conventional processing work showed a normal distribution.
3. The length between the maximum cutting length l_{max} (mm) and the minimum cutting length l_{min} (mm) is the permissible cutting length including the optimum cutting length l_0 .
4. As the permissible cutting range of the root side l_r (mm) is smaller than the permissible cutting range of the leaf side l_s (mm), the mechanical positioning of Baker's garlic is better if made by deciding where the cutting point should be from the root side.
5. If the standard of the cutting point of the root side is decided by the point of the stem, the mean range of the distance from the point of the stem to the cutting point of the root side during the harvest stage is about 2.8~4.7 mm.
6. The mean value of the efficiency and the accuracy using the conventional method which is influenced by the experiential year and the age of the workers, is 53 bulbs/min and 91 % each.
7. The efficiency of the conventional method measured by motion analysis increased with an increase in the number of the processing bulbs per cycle from 1.0 to 3.5. The required time of the working element 「B」 increased from 1.1 to 1.4 second. The relationship between the increase of efficiency and the decrease of accuracy for the cutting work was not recognized.

* 昭和52年10月農業機械学会関西支部(福山)にて一部講演

** 農学部農用作業機械学研究室

** Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture

1 諸 言

ラッキョウ収穫後に続く調製作業は、板に固定した包丁にラッキョウを押しあてて根と葉の切断を行っており、18~20人/10 a⁷⁾(洗いラッキョウ調製)もの多くの労働力を必要としている。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、毎年栽培農家は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。

ラッキョウ調製機の開発に関しては、福井農試⁵⁾および阿部・藤井^{1,6,7)}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、か動されなかった経過がある。

ここでは、ラッキョウ調製作業の機械化を考える上で、まず収穫期のラッキョウの形態を調査し、機械的に切断位置を決定するための基準となる位置や、切断許容範囲などを求め調製機開発のための基礎資料を得ようとした。さらに、慣行法の能率・精度を求め、動作分析を通じて省力化への足がかりをつかもうとしたものである。本研究を行うにあたり、本学付属砂丘利用研究施設長佐藤一郎教授および同施設山根昌勝助教授の御助言、御協力を得た。ここに記して厚く御礼申し上げます。

2 実験方法

1) 球の形態と切断許容範囲 まず収穫期間中の球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明確な基準がないため、筆者らの主観によったが、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。なお、対象としたラッキョウの品種は「ラクダ」である。

2) 慣行法の能率・精度と動作分析 慣行法の能

率・精度は現地ほ場(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。測定時間は1分間とした。精度における合格球や不合格球の判定は、筆者らが行った。

3 実験結果および考察

1) 球の形態 収穫期のラッキョウの形態は、同一品種であっても植付け深さ、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²⁾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。^{3,8,9)}ここでは、ラッキョウ調製作業省力化にとって必要と考えられる球の形態のうち、長径・短径のみについて以下に記述する。

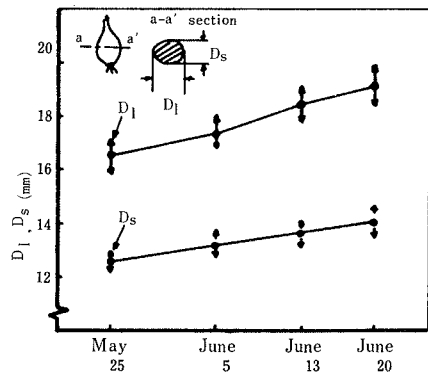


Fig. 1. D_l and D_s during the harvest stage.

Fig. 1 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) ともに収穫期間中も肥大しつづけていることがわかる。また Fig. 2 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. 1 および Fig. 2 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

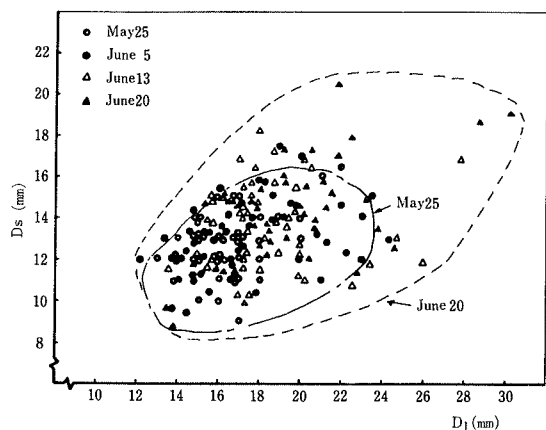


Fig. 2. The relationship between D_s and D_l during the harvest stage.

径 D_l との関係を示す。これによると、長径 $D_l = 12.2 \sim 30.2 \text{ mm}$ の範囲で $D_s/D_l = 0.46 \sim 1.00$ 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 の小さいほど球の肥大部の断面は円に近づく。これは1株の各々の球が小さい場合、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合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

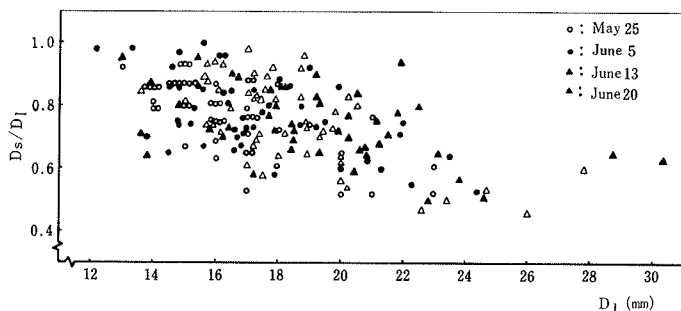


Fig. 3. The relationship between D_s/D_l and D_l .

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「根つき」、葉部の長すぎる「角あり」および球の肥大部近くを切断した「胴切り(切り過ぎ)」を好ましくないとしている。実際には、これら「根つき」「角あり」および「胴切り」のほとんどは、厳密に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あり、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。

そこで、まず最適切断長 l_0 (mm) となるように調

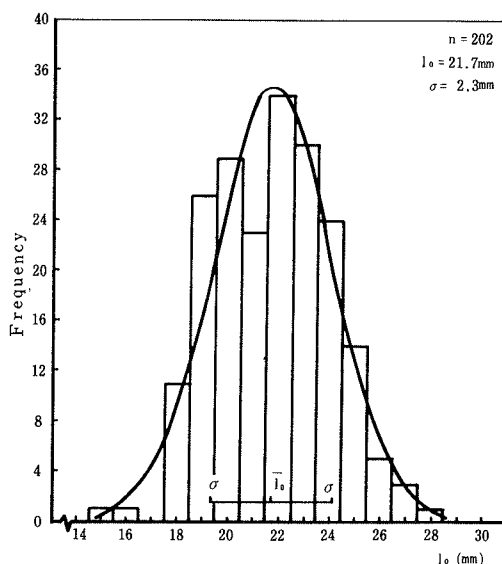


Fig. 4. Histogram of optimum cutting length (l_0).

製することを主婦 I (経験年数27年) に依頼した。その結果を Fig. 4 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

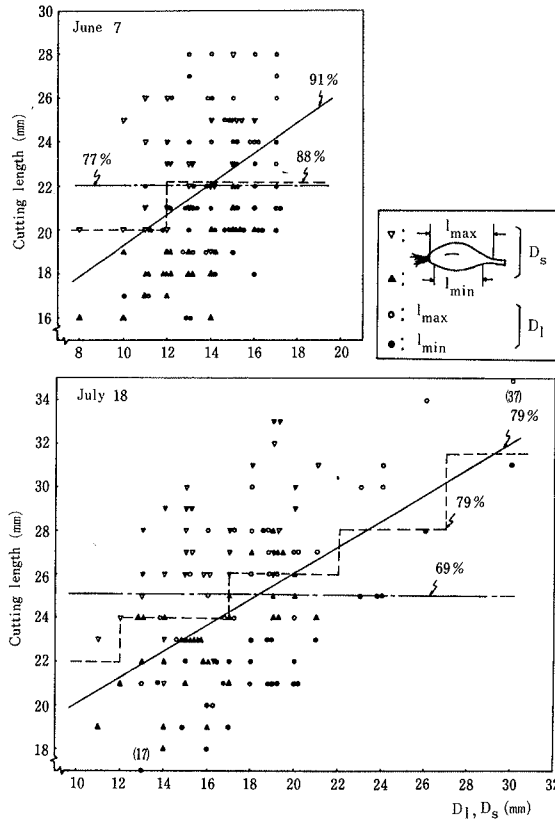


Fig. 5. Permissible cutting length for D_l and D_s (1977).

(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. 5 に示す。すなわち、許容する最長の切断長を 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) いいかえると、これ以上短く切断すると「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 $l_{max} \sim l_{min}$ 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1点鎖線で示したように6月7日で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、実線で示したように合格球は、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り、逆に長径 D_l から決めると l_{max} 以上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_o 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。

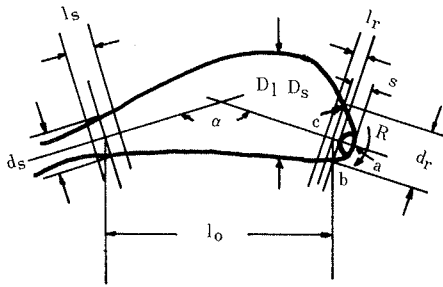
次に切断長 l の許容範囲 $l_{max} \sim l_{min}$ を根側の切断許容範囲と葉側のそれとに分けて、それぞれの長さを l_r, l_s (mm) とすると、各々の平均と標準偏差は6月7日で $D_s (D_l) : l_r = 0.8 (0.8) \pm 0.8 (0.7)$

(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から l_r の値が狭くなっている。このような切断許容範囲は作業者の視覚によっ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決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方が好ましい。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である。

そこで、Fig. 6 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

Table 1. Forms and permissible cutting length (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
b_l	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



- 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)
- a : Curvature (degree)
- R : Radius of the circumscribed circle of triangle abc (mm)

Fig. 6. Symbols of form.

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。

これらの各形態の測定結果を Table1に平均値と標準偏差で示す。標本は、福部村湯山の同一ほ場かか掘取った中から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_o は同一試験日であっても測定断面の D_l からと D_s からとはかなり異なり、平均値の差において1.1~3.5mm生じている。そしてそのときの切断断面巾 d_r, d_s の差も $d_r=2.3\sim 3.4\text{mm}$, $d_s=1.6\sim 2.5\text{mm}$ 生じている。根側の切断許容範囲 l_r は、前述の本学附属砂丘利用研究施設ほ場での標本例よりも1mm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狭くなっている。同一試験日において、長径 D_l からみた l_r, l_s が短径 D_s からみた l_r, l_s よりも狭くなっているのは、 D_l の捺印された断面が円に近いため、視覚的に切り過ぎの判断を生じやすいた

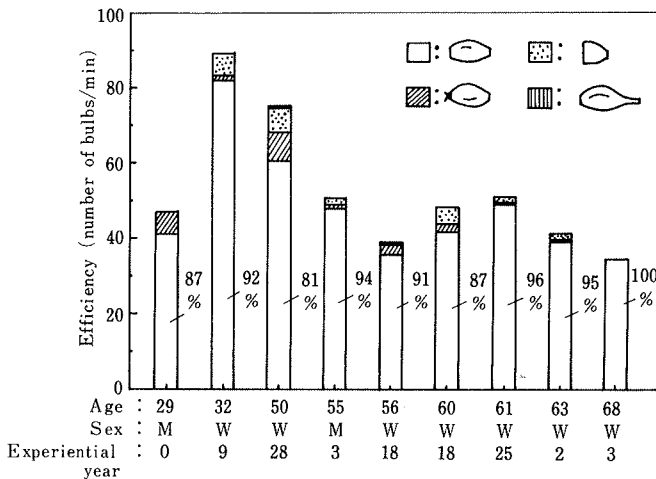


Fig. 7. Cutting efficiency by the conventional method.

めである。このことは、 D_r から見た d_r が10mm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 にそ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決定の目安

となる。

3) 慣行法の能率・精度 Fig. 7 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歳以上の年齢層が多くここにも顕著な老令化がみられる。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。なおここで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。Fig. 7の作業者のうち男性2名と32歳の

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け取る。次に精度についてみると合格率(合格球/全処理球数)は図中の百分率で示すようにすべて80%以上となっている。そして能率の高低によって、精度はあまり

Table 2. 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 to fixed knife	Grasp the cut off bulbs (Transport loaded to box the cut off bulbs)	G	TE	Transport empty to Baker's garlic
	Hold the cut off bulbs (Release the bulbs)	H (RL)	G	Grasp the stalks
	Transport empty to right hand	TE	TL	Transport loaded to fixed knife
	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 stalks	TL	RL	Release the leaves at the same time cut off

影響されていない。なお、不合格球の内訳は「根付き」および「胴切り」がほとんどを占める。

4) 慣行法の動作分析 Table. 2 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」と「B」の2つの作業要素に分けた。すなわち作業要素「A」はラッキョウをつかんで包丁の方へ移動する動作、作業要素「B」はラッキョウの根と葉を切断する動作である。ここでこの1サイクルは、同じ繰り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り返し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、サーブリッグ記号⁴⁾は「TL」で示した。

次に Fig. 8 (a) 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95%信頼区間で示したものである。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 Fig. 8 (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1.0~3.5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、これは個人差が生じていない。このように作業要素

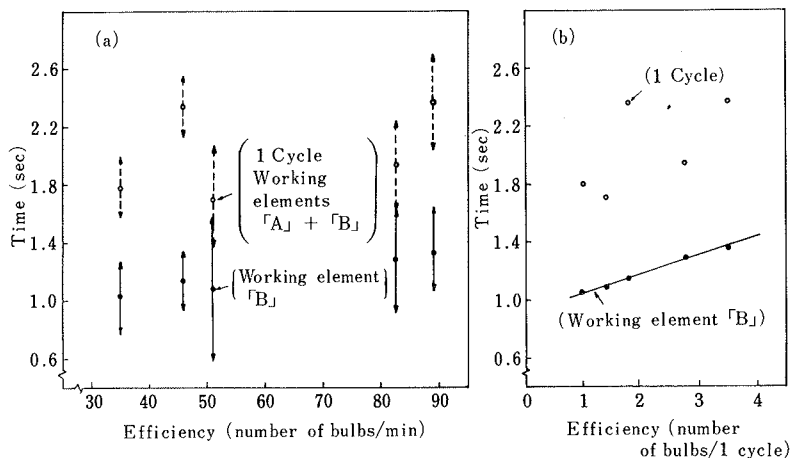


Fig. 8. The relationship between efficiency and required time by the conventional method.

「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一瞬手が止まり再びそれぞれの球に応じた切断位置を包丁に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つかんで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能率を向上させ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いわゆる「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。このように慣行法の能率は、1サイクルの調製球数の多少によって大きな影響をうける。

4 摘 要

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、切断長と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しうる切断長の範囲を求めた。

さらに、慣行法による作業者の能率・精度を測定し、エディタによって動作分析を行った。

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 $D_l = 12.2 \sim 30.2\text{mm}$ の範囲にあり、へんぺい度の逆数 (短径 D_s /長径 D_l) は $0.46 \sim 1.00$ の範囲にある。そして長径 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 $l_{max} \sim l_{min}$ が存在し、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 $l_{max} \sim l_{min}$ 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) 慣行法の能率・精度は、平均値でそれぞれ毎分53球と91%で、経験年数と年齢に影響される。
- (7) 動作分析の結果慣行法の能率は、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たがって高くなり、このとき作業要素「B」の所要時間も1.1~1.4秒へと増加する。そして能率・精度間に顕著な関係は認められない。

参 考 文 献

1. 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. p.18-22.
2. 川上一郎：ラッキョウ——利用に合わせた作り方——. 農山漁村文化協会. 1974. p. 91.
3. 小林 一：穀物の物性および測定法——力学的性質を中心に——. 農業機械学会. 1976. pp. 11-20.
4. 坪内和夫：人間工学. 日刊工業新聞社. 1974. p. 181.
5. 農業機械試験成績：福井農業試験場研究報告. 1961. p. 14-19.
6. 藤井嘉儀・川手俊三：ラッキョウ調製加工機の試作（第2報）. 鳥取大学砂丘研究所報告. 10. 1971. p. 22-28.
7. 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）. 鳥取大学砂丘研究所報告. 第12号. 1973. p. 5-12.
8. 三輪茂雄：粉粒体工学. 朝倉書店. 1972. pp. 65-84.
9. Mohsenin, N. N : Physical properties of plant and animal materials. Volume 1. Gordon and breach science pub., 1970. pp. 51-85.