

ラッキョウの機械収穫に関する研究(第1報)

ラッキョウの引抜き抵抗力

岩崎正美^{*}・石原 昂^{*}

Studies on Mechanical Harvesting of Baker's Garlic (I)

Pulling Resistance Force of Baker's Garlic Plants

Masami IWASAKI* and Akira ISHIHARA*

**Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture*

Summary

As the fundamental studies on mechanical harvesting of Baker's garlic, the pulling resistance force was measured at the sand fields by the trial lifting equipment newly designed.

Some of the results obtained in the experiments are summarized as follows.

1. Using lifting method (A), the percentages of the specimen which could be pulled up without the cutting of leaves during the growing state of Baker's garlic plants, were as follows.

I (June 13)	67%
II (June 24)	94%
III (July 8)	5%

On the other hand, lifting method (B), which removed the sand from the bottom of the bulbs to the ground surface, showed a percentage of more than 90%.

2. The maximum pulling resistance force of the root zone R_{max} (kg) decreased with the approach of the late stages of harvest.
3. The specimens which could be pulled up were better developed in leaf growth and in the numbers of bulbs than those of the specimens which could not be pulled up.
4. The results of the multiple regression analysis on the effect of the maximum pulling resistance force R_{max} (kg) revealed that the weight of bulbs W_b (g) was highly significant.

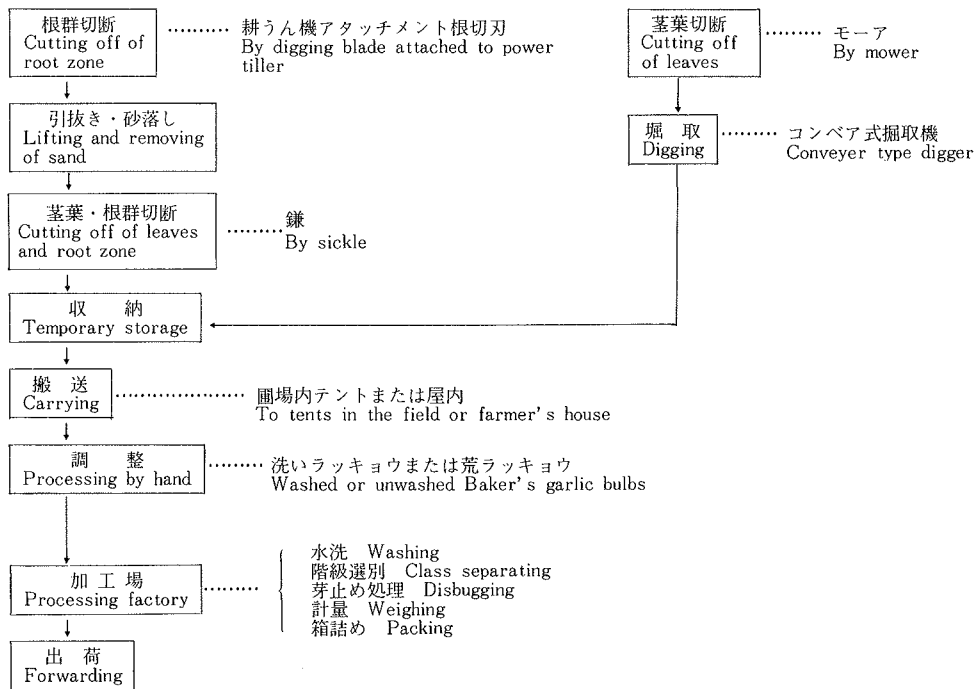
1. 緒 言

ラッキョウは、無灌水作物として不毛の地とされていた砂丘地に多く栽培されている粗放的な作物である。主要産地は、鹿児島・栃木・茨城・鳥取・千葉・福井・宮崎・静岡の各県にまたがっているが、全国の栽培面積はわずか2,500ha前後といわれている。鳥取県では、岩美郡福部村および東伯郡北条町の砂丘地を中心に栽培されており、特に福部村ではラッキョウ組合を設立して共同出荷を行っている。さらに、20~30haの規模拡大を計画しており、構造改善事業によるスプリンクラーの設置など、ラッキョウの生産農家の意欲は非常に大きい。栽培における労働は、8月の種球植付けど、5~6月の収穫・調整作業に集中し、なかでも後者は田植え時期と重複し、作業の省力化・機械化をせまられている。ここでは、まずラッキョウの収穫にあたって引抜きに要する抵抗力の測定を行ない省力化への糸口を

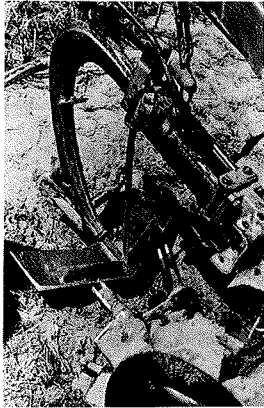
つかもうとした。なお、本研究の一部は昭和49年度文部省科学研究費の補助によるものである。

2. 現行の収穫・調整作業

ラッキョウの品種には、ラクダ・玉ラッキョウ・ハツ房などがあるが、鳥取県内では福部村を中心とした約140haにラクダ、北条町を中心とした約80haに玉ラッキョウが栽培されており⁶⁾、福部村と北条町とでは若干ではあるが、収穫・調整作業も異なっている。第1図に福部村における作業流れ図を示す。同図において、まず根群切断は、写真1(a)・(b)に示すような農家の考案による犁を改良した根切刃あるいは市販の根切刃を耕うん機に取り付け、立毛状態のままで根切り作業を行い、根群の切断および砂の剪断を生じさせて引抜き抵抗力を減じたのち、一株ずつ人力により引抜き根群に付着した砂を落とし、そのままあるいは、鎌で茎葉と根群を切断したのちコンテナに収納する。また一部では、モータにより



第1図 収穫以後の作業流れ図
Fig. 1. Flow chart of Baker's garlic harvesting .



(a) 犁を改良
(a) Improvement of plough



(b) 上田式
(b) Ueda type digging blade

写真1 根切刃
Photo. 1. Digging blade.

地上部の莖葉を切断後、コンベア形式の市販掘取機によって掘取り収納する方法がとられている。コンテナは、この後圃場内のテントまたは農家に運搬され、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整される。前者の洗いラッキョウは、1球ずつ分離されて20~27mmに調整される³⁾。筆者等の調査でも標本数91球で 26.1 ± 3.4 mmであった。このうち、加工場に集荷され、水洗・階級選別・芽止め処理・計量および箱詰めの後出荷される。また一部は塩漬けにされて出荷される。収穫以後の一連の作業中、最も労働力を要するのは、この調整作業であり、各方面で調整機械の開発⁷⁾が試みられているが、球根の形態が不揃いであるため姿勢制御を行い難く市販の域には達していない。

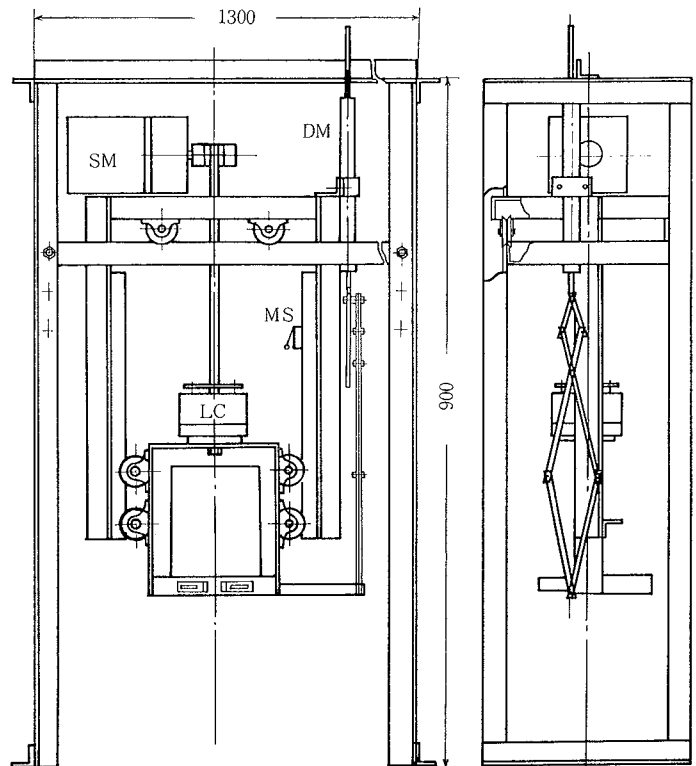
そこで、この洗いラッキョウの調整作業を省略して、わずかに莖葉と根群を残した荒ラッキョウの出荷が増加傾向にある。これは、1株ごとに根群が1.5~2.0cm、球根と莖葉が

4.5~5.0cmで全体として6~7cmの長さに調整される。今後共労働力不足から生じるこの傾向は一般消費者向けに対して各家庭の手作りの味を楽しむこととも合致して増加する傾向にあると推定される。

一方、北条地区では立毛状態でのラッキョウを直接人力により引抜き、その場で荒ラッキョウに調整する場合と、農家に持ち帰り洗いラッキョウに調整する場合とに分けられ、圃場内での機械力の導入はあまりみられない。

3. 実験装置および方法

1. 試作引抜き試験機 立毛状態でのラッキョウの引抜き抵抗力を測定するため、第2図に示すような引抜き試験機を試作した¹⁾。これは、莖葉締付け部と4つの滑車からなるヘッドをロードセルに接続した機構で、ヘッド



SM: サーボモータ
Servo motor
DM: 差動変圧器
Displacement meter
MS: マイクロスイッチ
Micro switch
LC: ロードセル
Load cell

第2図 引抜き試験機
Fig. 2. Trial lifting equipment.

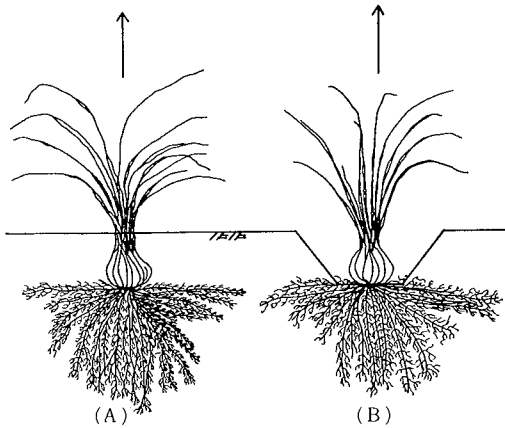
下の上下駆動は、サーボモータによった。茎葉締付け部は2ケのコイルスプリングにより締付け力を調整できる構造とした。引抜き抵抗力はロードセルで、茎葉締付け部の変位すなわち、ラッキョウの鉛直変位は差動変圧器で各々検出し、ストレンメータをかいしてX-Yレコーダに記録した。茎葉締付け位置は、地表より約10cm上方で、ヘッドの速度は1.5cm/secとした。

2. 実験方法 圃場は、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ある。実験は、同一圃場（種球用圃場）で昭和49年の収穫期に入ってから、I（6月13日）II（6月24日）III（7月8日）の3回に分けて行った。各試験日毎の圃場条件を表1に示す。引抜き試験は第3図に示すような(A)

表1 圃場条件
Table 1. Field condition

	深さ(cm) Depth	含水比(%) Moisture content	※硬度 Hardness (kg/cm ²)	湿潤密度 Wet density (g/cm ³)
I (June 13)	0	3.20	0.3	1.76
	10	4.29	0.9	1.80
	20	5.50	1.2	1.83
II (June 24)	0	1.05	0.4	1.79
	10	6.43	0.6	1.83
	20	6.64	0.7	1.86
III (July 8)	0	0.63	0.2	—
	10	5.58	0.2	1.85
	20	5.64	0.2	1.83

※山中式土壌硬度計による。
※ Yamanaka type soil hardness tester



第3図 引抜き試験方法
Fig. 3. Pulling test methods.

立毛状態での鉛直上方への引抜き抵抗力 (B)球根底部より地表までの砂を取り除いた根群による引抜き抵抗力の測定について行い、標本はランダム抽出とした。なお、試験方法(B)において取り除いた砂の範囲は、立毛状態での引抜きの際、剪断により生ずる砂の盛り上がり範囲すなわち予備実験で、ほぼ25cmの直径範囲内であったためその部分をとり除いた。引抜き試験と同時に、引抜き抵抗力に影響をおよ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。写真2に圃場における試験状況を示す。

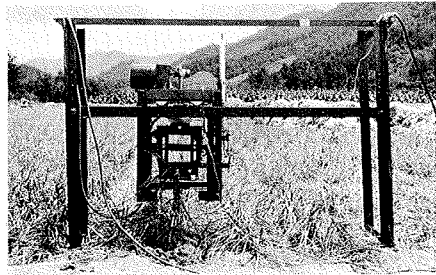
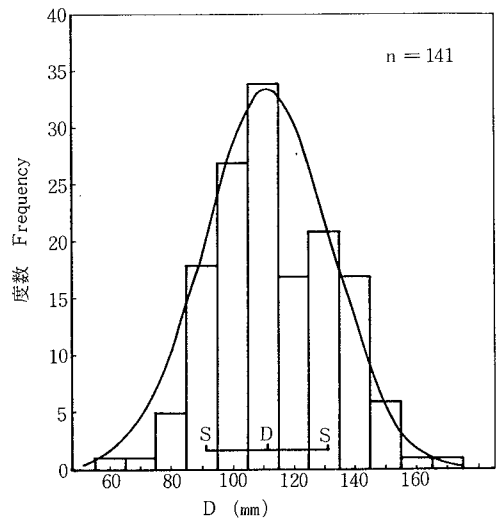


写真2 試作機による引抜き試験
Photo. 2. Measurement of pulling resistance force by the trial equipment.

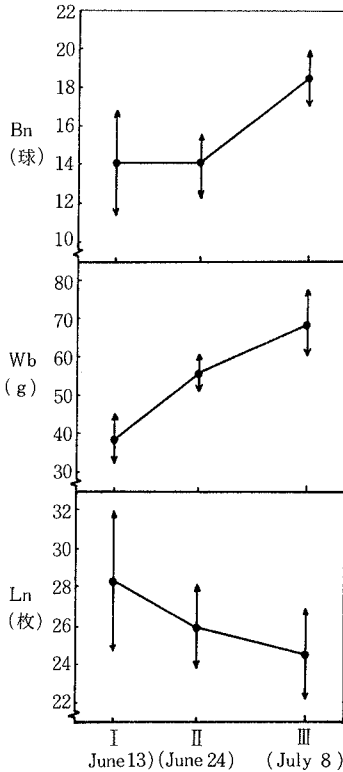
4. 実験結果および考察

1. ラッキョウの形態 地表面から球根底部までの深さ、すなわち球根深さD(mm)は、母平均mの95%



第4図 球根深さDの度数分布
Fig. 4. Histogram of bulb depth in sand (D).

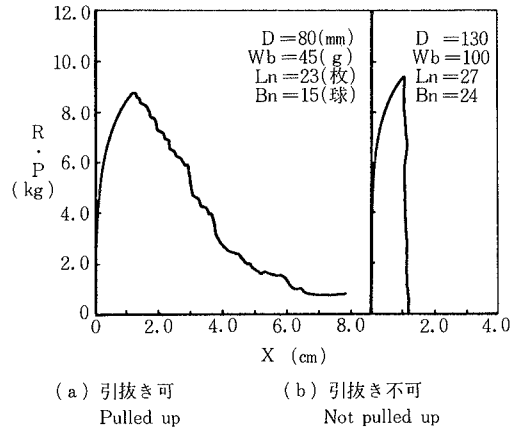
信頼区間で $108 \leq m \leq 116 \text{ mm}$ の範囲にあった。第4図に球根深さ D の度数分布曲線を示す。第5図には、試験日別による1株当りの球根数 B_n (球), 球根重量



第5図 収穫期における形態
 Fig. 5. Forms in harvesting season.
 B_n : Numbers of bulbs
 W_b : Bulb weight (g)
 L_n : Numbers of leaves

W_b (g), 茎葉数 L_n (枚) を示す。本供試圃場は、8月に植える種球用の圃場であり、通常5月末から6月末までの約1ヶ月間の収穫期間において、分球・肥大が行われていることがわかる。逆に茎葉数は減少傾向を示している。

2. 立毛状態における引抜き抵抗力 第6図に、 $X-Y$ レコーダによる引抜き試験方法(A)の引抜き抵抗力 R (kg) と、鉛直変位 X (cm) の記録例を示す。同図(a)が引抜き可能であった標本例、(b)が茎葉破断の例を示す。引抜き可能のこの標本では、鉛直変位 $X=1.3$ (cm) で最大引抜き抵抗力 $R_{max} =$



第6図 記録例
 Fig. 6. Relationship between pulling resistance force and displacement.

8.9 (kg) を示し、以後順次根群が破断され鉛直変位 $X=6.5$ cm 程度持ち上がって根群による抵抗力がなくなり、ラッキョウの全重量 W (g) と根群に付着した砂との和が示されることになる。同図(b)の茎葉破断例については、茎葉が破断されると同時に抵抗力はなくなり、1株あたり茎葉の最大引張力 P_{max} (kg) とそのときの鉛直変位 X (cm) が得られる。球根底部より地表面までの砂を取り除いた状態での引抜き試験方法(B), すなわち根群のみの引抜き抵抗力の測定についても同様の記録が得られた。

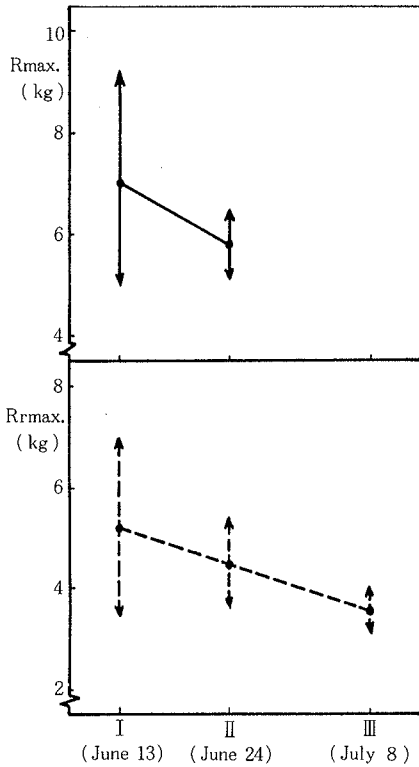
表2 引抜き可能割合(%)
 Table 2. Successful harvest percentage of bulbs without the cutting of leaves

	A	B
I	67	95
II	94	100
III	5	90

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

表2は、試験日別に引抜き可能であった標本と茎葉の破断した標本とに分けて、引抜き可能割合(引抜き可能標本数/全標本数)を百分率で示したものである。これから球根底部より地表面までの砂を取り除いた試験方法(B)による引抜き可能割合は90%以上の高い値を示している。試験日IIIにおいて試験方法(A)で5%と低いのは、茎葉の凋落がすすんでいることと、球根肥大による引抜き抵抗力の増大が考

えられる。第7図(a), (b)に各試験日毎の試験方法 (A)における最大引抜き抵抗 R_{max} (kg) と試験方



第7図 R_{max} および R_{rmax} の母平均95%信頼区間
Fig. 7. 95% confidence interval of population mean of R_{max} and R_{rmax}

法(B)における根群のみによる最大引抜き抵抗 R_{rmax} (kg) の母平均の95%信頼区間を示す。試験日Ⅲにおける R_{max} (kg) は、引抜き可能な標本数が少ないため省略した。同図から R_{max} および R_{rmax} とも収穫末期に近づくにつれて明らかに減少傾向を示しており、とくに R_{rmax} の減少は、根群の成長が停止して休眠期に入りつつあることをうかがわせる⁵⁾。また、表3に各形態間と最大引抜き抵抗 R_{max} との相関係数行列を試験日Ⅰ, Ⅱについてののみ示す。試験日を問わず形態間においては、球根重量 W_b と球根長径・短径 $a \cdot b$ および茎葉数 L_n と球根数 B_n とに比較的強い相関関係が認められる。また球根深さ D と各形態間にはほとんど相関関係は認められない。そして最大引抜き抵抗 R_{max} は形態間のうちで、球根重量 W_b とやや強い相関がある。

次に、引抜きが不可能な標本における1本当りの茎

表3 相関係数行列
Table 3. Correlation coefficient matrix

	D	Bn	Wb	Ln	a·b	Rmax
D	-	0.08	-0.06	-0.19	-0.36	0.31
Bn	0.15	-	0.52	0.78	0.63	0.30
Wb	0.15	0.65	-	0.75	0.86	0.60
Ln	0.25	0.80	0.65	-	0.64	0.13
a·b	-0.11	0.63	0.86	0.53	-	0.45
Rmax	0.22	0.43	0.79	0.60	0.54	-

a·b: Bulb diameter (mm)

Rmax: Maximum pulling resistance force (kg)

葉引張り強さ P_{max}/L_n は、試験日Ⅰにおいて、母平均 m の95%信頼区間で $0.15 \leq m \leq 0.49$ (kg/本) 同じくⅢにおいて $0.27 \leq m \leq 0.38$ (kg/本) の範囲にあった。なお前述のように本供試圃場は種球用圃場であり、球根肥大を促進させるため栽培管理面特に施肥において一般の圃場と若干の相違があるとみられ⁶⁾、筆者等の観察では、他の圃場と比較して茎葉の凋落が遅く、さらに供試圃場内においても、茎葉の色あるいは枯死の状態が一律でなかった。

表4 引抜き不可(P)および可(R)別による形態の平均値と標準偏差
Table 4. Mean and standard deviation of forms of P (not pulled up) and R (pulled up)

	a·b	Wb	Ln	Bn
P	34.2 ± 7.8	38.3 ± 21.1	18.2 ± 10.0	8.3 ± 4.0
R	41.8 ± 8.4	39.2 ± 16.5	34.1 ± 14.0	15.8 ± 6.1

表4は、試験日Ⅰにおける引抜き可能標本と、茎葉破断の標本とを分けて、各形態の平均値と標準偏差をみたものである。同表より各形態のパラツキは大きい、明らかに生育の悪いラッキョウが一般に引抜き不可能であることを示している。また、最大茎葉引張力 P_{max} と茎葉数 L_n の相関係数は0.88を得た。

なお、 R_{max} および P_{max} に至るまでのラッキョウの鉛直変位 X_R, X_P は、母平均 m の95%信頼区間で各々 $1.3 \leq m \leq 2.6$ (cm) および $0.9 \leq m \leq 1.9$ (cm) の範囲にあった。

3. 重回帰分析による引抜き抵抗の推定 立毛状態での引抜き抵抗に影響をおよぼすと考えられる因子は、砂地の物理性、試験日およびラッキョウの各形態が挙げられる。ここでは、目的変数として

最大引抜き抵抗力 Rmax および根群の最大引抜き抵抗力 Rrmax をあげ、この変動を説明するために説明変数として、試験日 T(日)、球根深さ D(mm)、球根長径・短径 a・b (mm)、球根重量 Wb (g)、莖葉数 Ln (枚)、球根数 Bn (球) をとりあげ、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²⁾。

$$R_{max}, R_{rmax} = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 D + \beta_3 a \cdot b + \beta_4 Wb + \beta_5 Ln + \beta_6 Bn + \epsilon \dots \dots (1)$$

ここに 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、 $\beta_1 \sim \beta_6$ 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ない、二つの試験方法(A)および(B)において引抜き可能であった112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)における球根底部から地表面までの砂をとり除いた標本については、 $D=0$ mmとした。これらの計算結果を表5の分散分析表に示す。

表5 分散分析表
Table 5. Analysis of variance

	自由度 D · F	平方和 S · S	平均平方 M · S	F
回 帰 Regression	6	840.9	140.2	37.69 **
残 差 Residual	105	390.5	3.7	
全 体 Total	111	1231.4		

** 1%有意水準 1% significance level
D · F : Degree of freedom S · S : Sum of square
M · S : Mean square F : F test

また回帰定数 β_0 、偏回帰係数 $\beta_1 \sim \beta_6$ は、

$$\beta_0 = 2.935$$

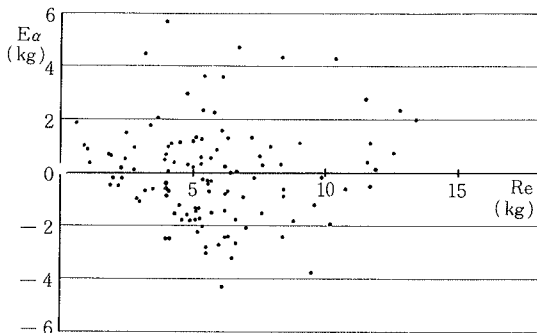
$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \end{pmatrix}$	=	$\begin{pmatrix} -0.150 \\ 0.026 \\ 0.015 \\ 0.077 \\ -0.047 \\ 0.003 \end{pmatrix}$	t 検定	
				-6.485 **
				6.964 **
				0.413
				4.660 **
				-1.390
		0.047		

(** : 1%有意水準)

となり、平均値0、分散1の標準化した値から求めた標準偏回帰係数 $\beta'_1 \sim \beta'_6$ は

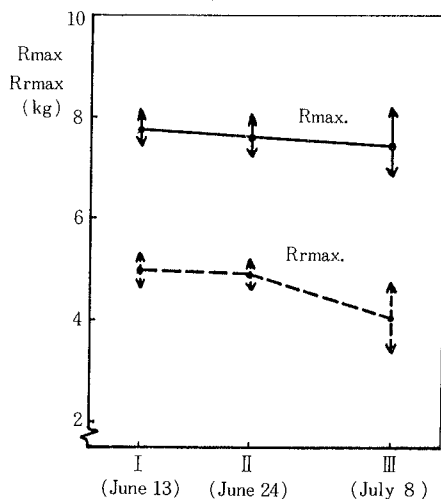
$$\begin{pmatrix} \beta'_1 \\ \beta'_2 \\ \beta'_3 \\ \beta'_4 \\ \beta'_5 \\ \beta'_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.390 \\ 0.398 \\ 0.055 \\ 0.615 \\ -0.147 \\ 0.005 \end{pmatrix}$$

を得た。個々の偏回帰係数の有意性を t 検定によつた結果、試験日 T、球根深さ D、球根重量 Wb に 99% の確率で有意性が認められた。標準偏回帰係数 β'_i から、球根重量 Wb、球根深さ D、試験日 T の順に引抜き抵抗力に強い影響をおよぼしていること



第8図 回帰推定値 Re と残差 Eα の散布図
Fig. 8. Distribution of regression estimate value (Re) and residual (Eα),

がわかる。第8図は、得られた偏回帰係数 $\beta_1 \sim \beta_6$ を(1)式に代入して112組の実験データから、最大引抜き抵抗力 Rmax および Rrmax の回帰推定値 Re と、実測した Rmax および Rrmax との差である残差 Eα との関係を示したものであり、重相関係数 0.82 を得た。次に試験日毎に各形態の母平均の範囲を(1)式に代入



第9図 Rmax および Rrmax の推定値
Fig. 9. Estimate value of Rmax and Rrmax.

して Rmax および Rrmax の推定値の範囲を第9図に示した。これから球根底部より地表面までの砂に

よる引抜き抵抗力はほぼ2.0～4.8 kgの範囲にあることがわかる。なお本分析においては、土壌物理性の影響を無視して説明変数に加えなかったが、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特に圃場含水比の変化により引抜き抵抗力は影響されるものと考えられる。

5. 摘 要

ラッキョウの収穫省力化への基礎的実験として引抜き試験機を試作して、立毛状態での引抜き抵抗力を測定した。

1. 試験A方法での引抜き可能割合は、I（6月13日）＝67%、II（6月24日）＝94%、III（7月8日）＝5%であったが、球根底部より上部の砂を取り除いたB方法による引抜き可能割合は90%以上であった。

2. 根群の最大引抜き抵抗力 R_{max} (kg) は、収穫末期に近づくにつれて減少傾向を示した。

3. 引抜き可能な標本は、不可能な標本に比べて、生育が良好で特に茎葉数、球根数が多かった。

4. 最大引抜き抵抗力 R_{max} (kg) に影響を及ぼ

すと考えられる因子のうちで、球根重量 W_b による影響が強いことが重回帰分析の結果判った。

参 考 文 献

1. 岩崎正美・石原 昂. 1975. 根菜類の引抜き抵抗力. 農業機械学会誌. 37- (1): 76-80.
2. 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正. 1972. 多変量解析法. 日科技連. p.25-157.
3. 川上一郎. 1974. ラッキョウ利用にあわせたつくり方. 農文協. p.98-100.
4. 佐藤一郎・田辺賢二. 1971. 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: 1-5.
5. ———. 山根昌勝. 1974. 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: 31-37.
6. 第23次鳥取農林水産統計年鑑. 1976. 鳥取農林統計協会. p.50.
7. 藤井嘉儀・佐藤一郎・石原 昂. 1973. ラッキョウ調整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: 5-12.