

寒冷地圃場での野菜の貯蔵性 (第2報)

—凍害の人為的誘引—

岡村太成*・広田正司*・弘中和憲*・石橋憲一*

要 旨

品目, 温度, 時間に対するドリッ量によって, 4品目の野菜の凍害度を比較検討したところ, 品目は初期含水率に置換えられ, ドリッ量は3要因で重回帰することができた。

各品目について, 温度, 時間に対するドリッ量を推算する直交多項式から, ハクサイ・ダイコンのドリッ量は, これら要因の1次式となり, また, キャベツ・ニンジンでは, 温度の2次式になった。

本報でも, 土壌および積雪の効果を除外したが, 凍害度の大きい順は, ハクサイ, ダイコン, キャベツ, ニンジンとなり, ほぼ, 前報の結果と一致する。

Field Storage of Vegetables in Cold District (II)

—Artificial Inducement of Freezing Damage—

Taisei OKAMURA, Masashi HIROTA, Kazunori HIRONAKA and

Ken'ichi ISHIBASHI

Abstract

The freezing damage to the vegetables for four sorts being investigated under an artificial atmosphere in winter of Obihiro using drip as a criterion, multiple regression of drip on item (or initial moisture content), temperature (minimum) and time were calculated. Relationship between drip on temperature and time showed linearity from the orthogonal polynomials for Chinese cabbage and radishes, while quadratic curves on temperature were obtained for cabbage and carrots. The decreasing order of freezing damage is as follows: Chinese cabbage, radishes, cabbage and carrots, and this fact agreed much with the results reported in previous paper.

I 結 言

野菜の収穫が遅延できれば, それだけ貯蔵エネルギーの節減になるとの立場から, 前報¹⁾では, 昭和53年の帯広の晩秋を例にとり, 見掛けの弾性率を指標として, 野菜の圃場貯蔵性を凍害の進行との関連で検討し, ダイコン, ハクサイ等5品目の一般的貯蔵限界日を示した。

しかし, 実際の農作業上, 野菜の収穫後, 適当な被覆を施し, 圃場で一時保管することも少なくない。それ故本報では, 帯広の晩秋以後の典型的な3種類の気温日変化を人為的に再現し, その環境下で野菜の凍害を誘発させた。これによって, 土壌および積雪の影響を除去した

野菜自体の凍害由来のドリッ量に対する温度と時間の効果を解析し, 前報の圃場での実測値の検討資料にしようとするものである。

II 実験方法

1. 材料 昭和56年帯広産のダイコン, ニンジン, ハクサイおよびキャベツを店頭より実験の都度購入した。ダイコンとニンジンの試料として, 塊根の横断面(円)の中心と外周との大略中間部分から垂直方向に, それぞれ15.5mmφ×40mmの円柱2個をコルク・ボラで抜きとった。ハクサイとキャベツでは, 外側の葉柄を除去し, 内部の損傷のみられない葉柄から約1.5×5cmの小片を, それぞれ2個切りとった。これら2個の試料は後述するように, それぞれ凍害および含水率測定に供した。

* 帯広畜産大学 Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido

2. 人為的凍害の誘引 昭和44~51年の帯広畜産大学園場の気温の資料(開発土木工学教室所蔵)を用いて、晩秋に初めて-5, -10, または-15°Cに気温が低下したときの平均日温度変化を求めた。それによって模式的温度プログラミング・シートを3枚作成し、T社製MC-81型凍結(解凍)庫の温度調節を行ったが、実際に得られた温度(気温)変化経過をFig. 1に示す。ただし、庫内の温度調節精度は±0.5°Cであり、16cmの羽根による0.04m³/sの連続的強制冷気循環を施す仕様になっている。

前項で得られた凍害実験用の各試料を円径22mmφ、長さ20cmのガラス試験管内のステンレス製金網上に載せた後、サランラップ(ポリ塩化ビニリデン、11μm)とセロテープで試験管の開口部を覆った。これらの試験管を、あらかじめ所定の日(24時間)温度変化(冷却・昇温)すべく準備した凍結庫に入れたが、日単位での時間の累積効果を知るために、48(2日繰返し)および72時間(3日繰返し)区分も設定した。実験試料総数は要因水準数の積から、4(品目)×3(温度)×3(時間)×2(繰返し数)=72である。これら試料を所定の温度・時間の人為的環境にさらした後、30°Cの定温器内と室温に、それぞれ、30および60分保持することによって自然解凍させた。

3. ドリップの定量 Rahmanら²⁾が用いたような円錐のステンレス製金網をガラス沈澱管の内側に挿入し、上端を外側に曲げた。この金網の上に2項で得られた解凍試料を載せ、遠心器内を15°Cに維持させながら500rpm(43G)で5分遠心回転させ、人為的凍害に由来するドリップを金網の下に分離した¹⁾。金網に残った試料の重量(CNET)を精秤し、試料の初期重量(NET)との差を試料の初期重量で割ってドリップ率(DRIP, %, W. B.)とした³⁾。

4. 初期含水率の逆算 まず、3項で遠心分離後、金網

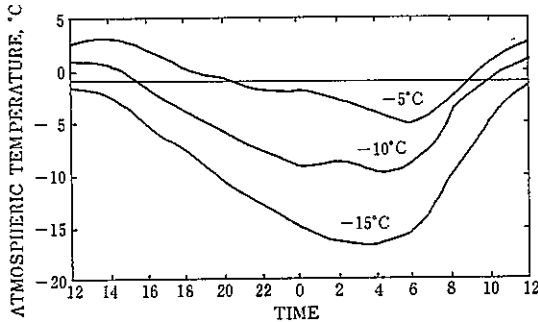


図1 昭和44~51年の帯広畜産大学園場での気象資料から求めた冬期の代表的平均日温度変化図

Fig. 1 Typical change in atmospheric temperature of a day at university's farm cooled down to the corresponding temperature, calculated from the data in 1969-76.

上に残った試料について前報の通り、AOAC総固形分定量法⁴⁾により残存含水率(RMC, %, B. W.)を求めた。次に2および3項で金網の下に分離したドリップを蒸留水で秤量容器の中に洗い流して集めた。このドリップを含む水溶液を上述の総固形分定量法に従い乾固させ、秤量容器風袋との重量差をドリップ中への流出総固形分量

表1 帯広の冬期の外気温変化に近似して人為的に凍結させた野菜の初期重量に対するドリップ率
Table 1 Percent drip of initial sample weight of the vegetables frozen under artificial atmosphere similar to that of winter at Obihiro

Vegetables	Time (hr)	Minimum temperature (°C)		
		-15	-10	-5
Radishes	24	58.82	26.59	27.19
		59.44	32.67	30.12
	48	58.10	52.13	33.35
		57.31	50.62	40.38
	72	55.27	49.53	43.29
		57.45	49.03	50.28
Carrots	24	34.42	11.20	8.26
		36.47	6.80	18.64
	48	32.38	21.24	13.84
		37.06	20.86	20.81
	72	27.23	15.32	18.02
		42.89	18.30	18.78
Chinese cabbage	24	80.53	86.15	74.40
		79.18	75.09	78.52
	48	77.92	84.74	82.33
		79.06	83.63	83.29
	72	79.88	83.86	84.52
		80.66	81.59	86.82
Cabbage	24	60.76	12.55	17.67
		59.53	16.75	14.04
	48	61.67	22.19	25.29
		63.42	19.87	22.04
	72	62.30	18.36	27.63
		61.97	33.32	28.61

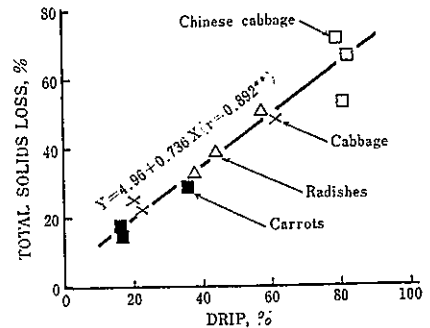


図2 凍結野菜の平均ドリップ率と総固形分流出率との相関性

Fig. 2 Correlation of percent total solids loss with percent drip of vegetables frozen at -5 to -15°C for 24 to 72 hr.

(SL)³) とし、試料の初期含水率 (IMC) を(1)式によって求めた。

$$IMC = \frac{CNET \times RMC \times \frac{1}{100} + (NET - CNET - SL)}{NET} \times 100(\%, \text{ W. B.}) \quad (1)$$

さらに右辺を整理して

$$IMC = \frac{CNET \times RMC}{NET} + DRIP - SLC \quad (2)$$

ただし、SLC=総固形分流出度 (% , W. B.)。

III 実験結果および考察

1. ドリップの要因 Table 1は品目、温度（最低気温）および時間（経過）に対するドリップであるが、これら要因効果について吟味する。前報で、凍害度を主として見掛けの弾性率によって検討したが、本報では、ドリップ量を指標とした。Fig. 2の通り、時間を無視した温度毎の平均ドリップに対する総固形分流出率 (SLC/(100-IMC)×100, %) は直線で表わされるが、この総固形分流出率は初期総固形分量に対するドリップ中への流出総固形分量であるので、当然ながら、これがドリップの多寡による野菜の凍害度判定法の妥当性を与える。

(1) 品目と含水率 Table 1の3要因に関する分散分析の結果から、品目の主効果の最も大きいことが判明した。そこで、Fig. 3のように試料の初期含水率に対するドリップに書き直すと、両者間に高度な相関性が認められた。それで、品目の初期含水率 (X₁)、温度 (X₂) および時間 (X₃) に対するドリップ (Y) の重相関係数として、R=0.833(n=72)を得た。回帰性は高度に有意になったが、寄与率では、初期含水率、温度および時間が、それぞれ85.5、11.0および3.5%であった。すなわち、ドリップの最大要因としての品目は、初期含水率と置換えることができる。

(2) 温度・時間 試料に用いた4品目の野菜の平均凍結点は約-1.0°Cであるので、Fig. 1の-1.0°C以下の温度と経過時間との積 (°C・hr) に対して、ドリップを打点したのが Fig. 4 である。このように、品目間に有意差はあるが、-5°C等、比較的高い温度のとき、ドリップは、時間（冷却・昇温過程の繰返し数）と直線的関係にある。-15°Cでは、一度に、ほぼ全量のドリップが生ずる

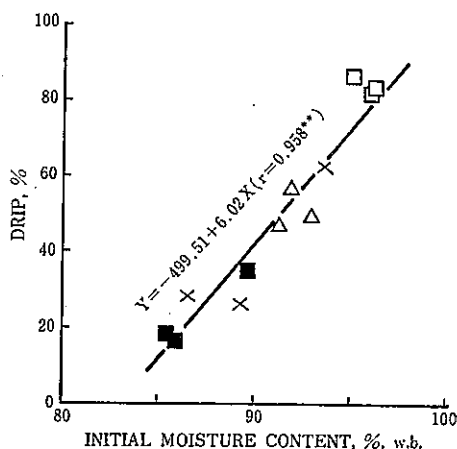


図3 凍結野菜の初期含水率に対するドリップ率の直線的増加
Fig. 3 Straight-line shows the increase in percent drip of frozen vegetables with the initial moisture content

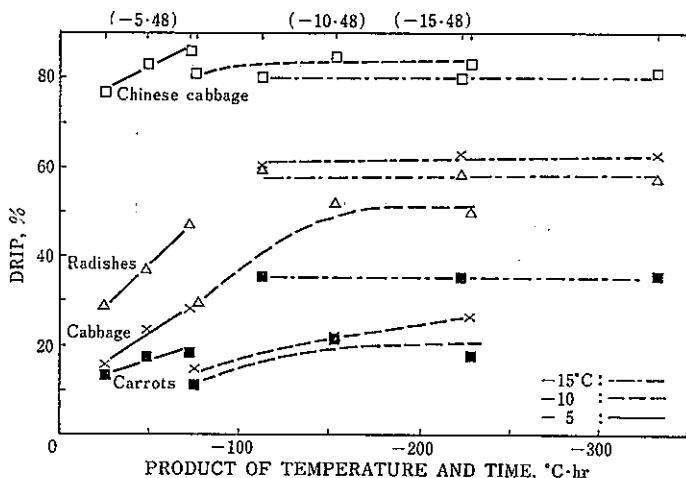


図4 図1の-1°C以下温度と経過時間との積に対する凍結野菜のドリップ率
Fig. 4 Relation between product of [temperature lower than -1°C] and [time] in each curve of Fig. 1 and percent drip of frozen vegetables.

ので、時間の影響は小さい。また、ハクサイは、温度、時間両者に左右されないが、ダイコンは、その逆である。これらの関係を分散分析したのが Table 2 であるが、品目（初期含水率）に高度な有意性のあることが判っているので、ここでは、品目毎に解析した。有意性のある要因（温度と時間）は、さらに1次および2次成分に分解した。ここでも、高含水率のハクサイは、温度、時間に関して有意性が認められないが、他の品目は、温度（1次成分）に最も影響されることが判る。

52

2. 直交多項式によるドリップの推算 Table 2で有意性の認められた要因(温度, 時間, 交互作用)の1次または2次函数としてのドリップの推算のための直交多項式^{5),6)}を求めた。ハクサイ以外の3品目についてであるが, これら直交多項式に基づく, $-5 \sim -15^{\circ}\text{C}$, 24~72hrの範囲のドリップ推定量を Fig. 5-7に示す。

これらは統計的有意差検定を施したドリップ模式図であるので, 単純化してある。ハクサイについては画いてないが, 要因(温度と時間)に対して, 水平的ドリップを示すので, ドリップは要因の0次成分で表現できる。ダイコンは要因の1次成分で表わせるが, キャベツでは, さらに温度の2次成分をも含むことになる。ニンジン温度のみの2次式である。試料に供した, これら4品目(ハクサイ, ダイコン, キャベツ, ニンジン)の平均初期含水率は, それぞれ, 96.0, 93.2, 91.5, 88.2%であるので, 高含水率では温度, 時間の0次成分, 中間含水率では温度, 時間の1次成分, 低含水率では温度の1, 2次成分に規制されるといえる。しかも, キャベツ, ニンジンでは, -7.7°C に極小値をもつ2次式である。一般に, $-1 \sim -5^{\circ}\text{C}$ を最大氷晶生成温度帯というが⁷⁾, それ以下の低温下で, かえってドリップの少ない現象が, キャベツとニンジンにみられたわけである。

3. 圃場越冬性との関連性

(1) 前報の結果との関連 気温と見掛けの弾性率の低下の関係から, 圃場貯蔵性の小さい順で, ダイコン・ハクサイ, キャベツ, ニンジンを得ているが, 土壌, 積雪の効果を除外し, ドリップを指標とする本報でも, ハクサイ, ダイコン, キャベツ, ニンジンとなり, ほぼ一致

表2 凍結野菜のドリップ率の分散分析表
Table 2 ANOVA of percent drip of frozen vegetables

(1) RADISHES					
Source	SS	d.f.	MS	Fo	R ²
Temperature ^a (A)	1305.07	2	652.54	77.17**	
l ^b (A)	1236.17	1	1236.17	78.89**	0.529
q ^c (A)	68.94	1	68.94	4.40	
Time (B)	462.52	2	231.26	27.35**	
l (B)	310.23	1	310.23	19.80**	0.126
q (B)	54.02	1	54.02	3.45	
A×B	450.24	4	112.56	13.31**	
l (A)×l (B)	436.48	1	436.48	27.85**	0.181
Error ^d	76.10	9	8.46		
error	188.09	12	15.67		0.164
Total	2293.93	17			1.000
(2) CARROTS					
Source	SS	d.f.	MS	Fo	R ²
Temperature (A)	1457.04	2	728.52	28.65**	
l (A)	1048.25	1	1048.25	38.70**	0.548
q (A)	408.79	1	408.79	15.09**	0.205
Time (B)	87.55	2	43.78	1.72	
A×B	89.95	4	22.49	0.88	
Error	228.82	9	25.42		
error	406.32	15	27.09		0.247
Total	1863.36	17			1.000
(3) CHINESE CABBAGE					
Source	SS	d.f.	MS	Fo	
Temperature (A)	28.12	2	14.06	1.63	
Time (B)	49.07	2	24.53	2.84	
A×B	56.09	4	14.02	1.62	
Error	77.72	9	8.64		
Total	211.00	17			
(4) CABBAGE					
Source	SS	d.f.	MS	Fo	R ²
Temperature (A)	6438.37	2	3219.18	209.95**	
l (A)	4577.44	1	4577.44	294.18**	0.665
q (A)	1860.93	1	1860.93	119.60**	0.269
Time (B)	222.38	2	1111.89	7.25*	
l (B)	215.17	1	215.71	13.86**	0.029
q (B)	6.66	1	6.66	0.43	
A×B	64.30	4	16.07	1.05	
Error	138.00	9	15.33		
error	202.31	13	15.56		0.037
Total	6863.05	17			1.000

a: Minimum temperature, b: linear, c: quadratic, d: Temperature (A), Time (B) and A×B were tested with Error, while l(A), q(A), l(A), q(B) and l(A)×l(B) tested with error.

*: Significant at $p < 0.05$, **: Significant at $p < 0.01$

した。後2者の模式図上での類似性は明白であり, さらに, ダイコンの見掛けの弾性率が晩秋, ゆっくり低下したことは, 本報の Fig. 5 (1次式)と符合する。また, 前報で, ダイコンとニンジンとの貯蔵限界差は12日となったが, これには, まず, 初期含水率, 次いで土壌中深さが関与したといえる。

(2) 低初期含水率品目への適用 筆者らは、Polleyらの食品熱特性表³⁾中の20品目の野菜の含水率(X_1)と凍結点(Y_1)から $Y = -6.09 + 0.0537X$ ($r^{**} = 0.580$)という高度に有意な回帰直線を算出した。しかし、含水率が高くても、凍結点の低いビート等、この回帰直線から大きく隔たる品目もあるので、可溶性固形分量と凍結点との回帰直線の方が、精度は高いが、一般的に低含水率は凍結点を低下させるといえる。それ故、野菜の圃場貯蔵性の延長の手段として、1) 圃場貯蔵するため野菜の予備乾燥、2) 低初期含水率品目の選定、3) 畝培土等による保温性付与が考えられる。1) は主として、葉菜に対するものであるが、予備乾燥後の一連の作業を経済

的に確立することはむづかしいであろう。2) については、西洋ワサビ(含水率73.4, 凍結点 -3.1)、ビート(87.6%, -2.8°C)等が該当する。これらの品目を積極的に選択することであるが、これに、3)を加えれば、有効性が高まる。さらに、畝の培土の際、フィルム併用によって、土壤中環境ガスのCA近似が期待されよう。

IV 摘 要

前報で見掛けの弾性率を主たる指標として、帯広の晩秋の圃場での野菜5品目の一般的貯蔵限界日を示したが、本報では、人為的に凍害を誘引して、ドリップにより、野菜自体の耐凍性を比較検討した。

1. ドリップに対する総固形分流出率は、直線関係(Fig. 2)になるので、ドリップを凍害度の測定に用いることができる。
2. ドリップに対する最大の主効果をもつ要因は、品目で、温度(X_2)、時間(X_3)が、これに続く。
3. 品目は初期含水率(X_1)に置換えられるので、ドリップ(Y)は、 X_1 , X_2 および X_3 で重回帰できる。
4. 品目(初期含水率)毎に、要因(温度と時間)を1次および2次成分に分け、直交多項式を求めた。
5. 直交多項式によるドリップでは、ハクサイ、ダイコンが直線的で、キャベツ、ニンジン、は、温度の2次式になった。
6. 土壌および積雪の効果を除外した本報でも、凍害

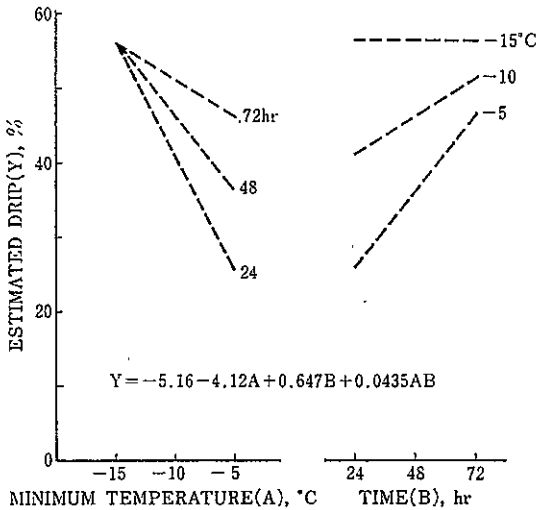


図5 表2から求めた直交多項式による凍結ダイコンの推定ドリップ率

Fig. 5 Estimated percent drip of frozen radishes from the orthogonal polynomial calculated from Table 2.

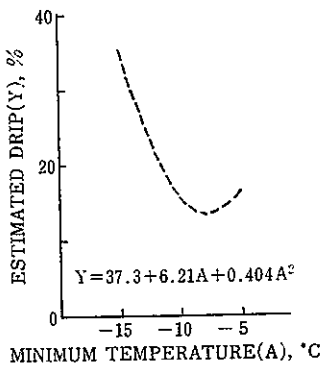


図6 表2から求めた時間の要因を含まない直交多項式による凍結ニンジンの推定ドリップ率

Fig. 6 Estimated percent drip of frozen carrots from the orthogonal polynomial irrespective of time calculated from Table 2.

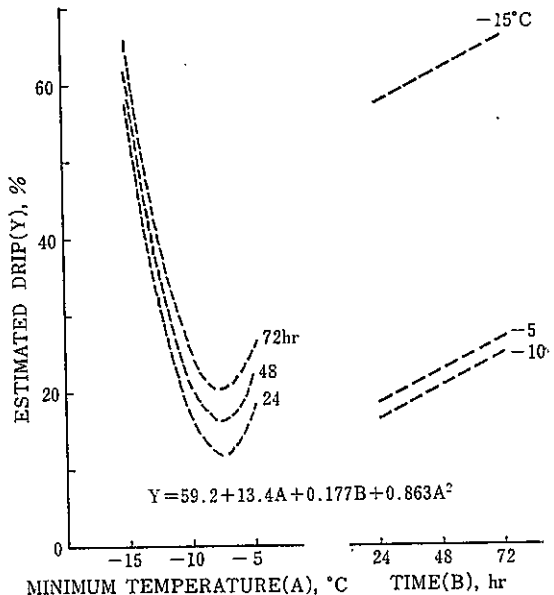


図7 表2から求めた直交多項式による凍結キャベツの推定ドリップ率

Fig. 7 Estimated percent drip of frozen cabbage from the orthogonal polynomial calculated from Table 2.

度の大きい順は、ハクサイ、ダイコン、キャベツ、ニンジンとなり、ほぼ、前報と一致する。

7 低い含水率の品目に培土を施すことで、圃場貯蔵性を高めることができよう。

(原稿受理昭和57年12月28日・質問期限昭和59年2月28日)

参考文献

- 1) 岡村太成・金子憲治・石橋憲一・弘中和憲：寒冷地圃場での野菜の貯蔵性(第1報)、凍害の進行との関係、農機誌, 44: 645-652 (1983)
- 2) Rahman, A. R., Henning, W. L. and Westcott, D. E.: Histological and physical changes in carrots affected by blanching, cooking, freeze drying and compression. J. Food Sci., 36: 500-502 (1971)
- 3) 岡村太成・石橋憲一・弘中和憲・小崎浩：凍結野菜に関する基礎的研究(第2報)、凍結ハクサイの遠心分離条件とドリップ量との

- 関係、冷凍, 55: 587-592 (1980)
- 4) AOAC: Official method of analysis of the Assoc. of the Official Analytical Chemists, p.559 (1970)
- 5) 田口玄一：実験計画法(上), 新版, 丸善, p.22-27 (1962)
- 6) Cunningham, S. D., Denman, P. J. and Sanders, W. L.: A simple and rapid method for estimation of concentration of textured soybean protein in raw beef-soy blends. J. Food Sci., 44: 1326-1328 (1979)
- 7) 加藤舜郎：食品冷凍の理論と応用, 改訂新版, 光琳書院, p.324 (1966)
- 8) Pooley, S. L., Snyder, O. P. and Kotnour, P.: A compilation of thermal properties of foods. Food Technol., 34: 76-94 (1980)
- 9) Gutschmidt, J.: Low temperature biology of food-stuffs, edited by Hawthorn, J. 1st ed. Pergamon Press, London, p.300 (1968)

コメント

【閲読者】ドリップを人為的に作出して耐凍性を論じたのは面白い着想と想う。

しかし、ドリップ率と品質劣化の関係については、溶脱(Fig. 2)のほかに、品質劣化の一般的指標との関係

を明らかにして、研究内容を拡充して載きたい。

【著者の見解】連報から、ドリップ率、見掛けの弾性率および総固形分流出率間の相互依存性を見出したが、今後ビタミンC含量、色調およびフレーバ等の一般的指標に対するドリップ率の寄与率を解明したい。

＜小資料＞

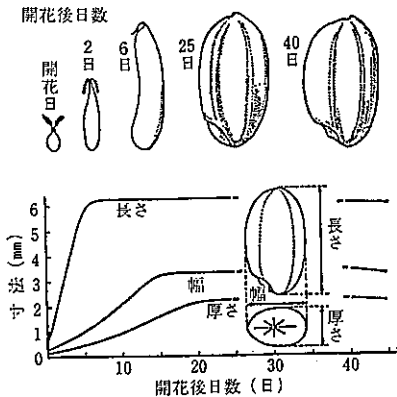


図 玄米の外形発達経過(品種 よねしろ, 星川1972)

「籾の成熟過程における粒形変化」

農産物は成熟過程において形状が変化するので、どの時点で収穫するかが問題となる。また、品質は形状による影響が大きいため、生育過程と形状変化の性状を把握する必要がある。星川* は籾の開花後の経過日数と米粒の3軸長の発育状況をとらえ、開花20日後には3軸長共にほぼ一定値に達することを報告している。また、屑米の除去選別には厚さ基準で分離するのが効果的である。

*星川清親：生物科学, 23(2), 6675, 1972.