



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	テンサイ品種の生育型に関する作物学的解析
Author(s)	黒沢, 厚基; KUROSAWA, Koki
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 19(1), 99-149
Issue Date	1994-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12160
Type	departmental bulletin paper
File Information	19(1)_p99-149.pdf



テンサイ品種の生育型に関する作物学的解析

黒 沢 厚 基*

(博士論文, 北海道大学大学院農学研究科)

(平成5年9月30日受理)

Agronomical study on the developmental types of sugar beet varieties

KOKI KUROSAWA**

(Doctoral thesis, Graduate School of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo 060, JAPAN)

目 次

I. 緒 言	99
II. 新旧栽培品種の特性	100
1. 材料および方法	101
2. 結果および考察	102
III. 栽培品種の生育型の解析	106
A. 生育過程の解析による品種の生育型	106
1. 材料および方法	106
2. 結果および考察	107
a. 収穫期における品種間差	107
b. 生長曲線の算出	107
c. 生長曲線による生育型	110
d. 生長速度による生育型	113
e. 生長解析による生育型	116
B. 生育型と根重および根中糖分の関係	121
1. 材料および方法	121
2. 結果および考察	121
IV. 生育の年次間変動と生育量の予測	124
A. 生育の年次間変動	124
1. 材料および方法	124
2. 試験期間中の気象条件	124
3. 結果および考察	125
a. 生育の推移と年次間変動	125
b. 収穫期における年次間変動	127

c. 年次間変動と気象要素との関係	130
B. 収量の予測	134
1. 材料および方法	134
2. 結果および考察	139
V. 総合論議	142
摘 要	144
謝 辞	145
引用文献	146
Summary	147

I. 緒 言

わが国におけるテンサイの栽培は、1870年(明治3年)に東京開墾局新宿試験場で最初の試作が行われた。翌年には札幌官園で北海道においてはじめて栽培試験が行われた。その後、製糖事業が成り立たず一時中断した時期や戦争・経済不況の影響により、栽培面積が減少した時期があったものの今日まで営々として続けられ、今やテンサイは北海道畑作の基幹作物の一つになった。1991年(平成3年)の栽培面積は71,900 ha、収量は57.23 t/ha、根中糖分は17.6%であるが、これを25年前と比較すると、栽培面積は3割増、単位面積当り収量は実に2倍に向上している。栽培面積は行政面からの指導もあったが、最近の数年間は安定しており、単位面積当りの収量は世界のトップレベルにある。今日の高水準の安定した収量および根中糖分を維持できるようになった要因として、紙筒移植栽培を筆頭とする栽培

* 現住所: 日本甜菜製糖株式会社
〒060 札幌市中央区北3条西4丁目1番地

** Present address: Nippon Beet Sugar Mfg. Co.,
Ltd. Chuo-ku, Sapporo, 060 Japan

法の開発と改良, 施肥の増加と合理化, 褐斑病およびヨトウガ等の諸病害虫に対する防除法の確立などが挙げられるが, 品種の果たした役割もきわめて大きいものがある。

わが国におけるテンサイの育種は1906年(明治39年)に品種比較試験が行われて以来, 今日まで続けられてきたが, 一方では, 外国の優良品種が多数導入され, 原料確保に多大の貢献を果たした。原料テンサイの取引は, 従来, 根重のみによる買い上げ制度によって行われていたが, 1986年(昭和61年)に, 根中糖分も合わせて評価する, いわゆる「糖分取引」制に移行し, これを契機に耕作者が栽培する原料テンサイの根中糖分は飛躍的に高くなった。根中糖分の向上は, 品種によるところが大きく, 近年根中糖分の高い品種が優良品種として認定されている。今後のテンサイ栽培にとり, 収量の多収, 安定を図り, かつ, 良好な根中糖分を得るためには品種特性をよく理解することが重要である。

本研究は, 新旧の基幹品種を現在の栽培技術で栽培することにより, 収量, 根中糖分等の主要農業形質における品種間差を明らかにし, 品種特性の変遷について検討した。

テンサイの品種は, 従来より, 根重型, 糖分型, 中間型に分類されているが, これは根重と根中糖分との間に負の相関関係が存在することに基づくもの

であり, 品種の収量特性は主として収穫期の根重と根中糖分により区別されている。本研究は, 上記のごとく分類される品種の生育における相違を, 品種の生育型として捉え, その生育過程を解析することによって, 品種間差を明らかにしようとした。

農作物の収量を予想することは関係者にとって従来より高い関心を持たれているが, 的確な予想は困難である。収穫期において諸形質が示す値は播種期から収穫期に至る生育過程の累積結果であり, 生育途中で様々な環境要因の影響を受けて, 地域間, あるいは年次間変動を生じる。本研究は, この年次間変動をもたらし要因として気象要素をとりあげ, 生育過程との関係を解析し, 生育型の解析結果を応用することにより, テンサイの生育量の予測を試みた。

II. 新旧栽培品種の特性

北海道におけるテンサイ栽培の歴史をみると, 1965年(昭和40年)以後はそれ以前に比べて増収の程度が促進された(Table 1)。これには紙筒移植をはじめとする栽培技術の改良, 肥料の増施と合理化, 新農薬の使用等に加えて品種改良による成果も大きかった^{21,22)}。1945年(昭和20年)以後における品種の変遷をみると, 1955年(昭和30年)以前は本育192号を中心とする本育系統が主として栽培さ

Table 1. Yearly changes in sugar beet cultivation in Hokkaido

Year	Cultivated area (ha)	Root weight (t/ha)	Sugar beets processed (t)	Sugar production (t)	Sugar extraction (%)	Percentage of transplanted area (%)
1945	14,760	7.13	86,861	8,186	9.42	—
1950	15,414	11.96	181,091	19,103	10.55	—
1955	16,771	23.35	391,584	49,566	12.66	—
1960	43,768	22.96	1,004,719	135,545	13.49	—
1965	53,786	31.28	1,682,626	246,796	14.67	21.2
1970	54,029	43.01	2,323,556	343,520	14.78	75.1
1975	47,955	36.67	1,758,376	224,277	12.75	79.7
1980	64,820	54.77	3,550,252	535,483	15.08	91.8
1985	72,382	54.17	3,920,838	574,243	14.65	95.8
1986	72,132	53.54	3,861,848	630,143	16.32	96.1
1987	71,377	53.62	3,827,243	626,115	16.36	96.3
1988	71,829	53.58	3,848,511	648,623	16.85	96.4
1989	71,913	50.95	3,663,925	614,271	16.77	96.6
1990	71,953	55.50	3,993,571	643,607	16.12	97.1
1991	71,900	57.23	4,114,784	718,821	17.47	97.2

(Quoted from statistics published by Hokkaido Government)

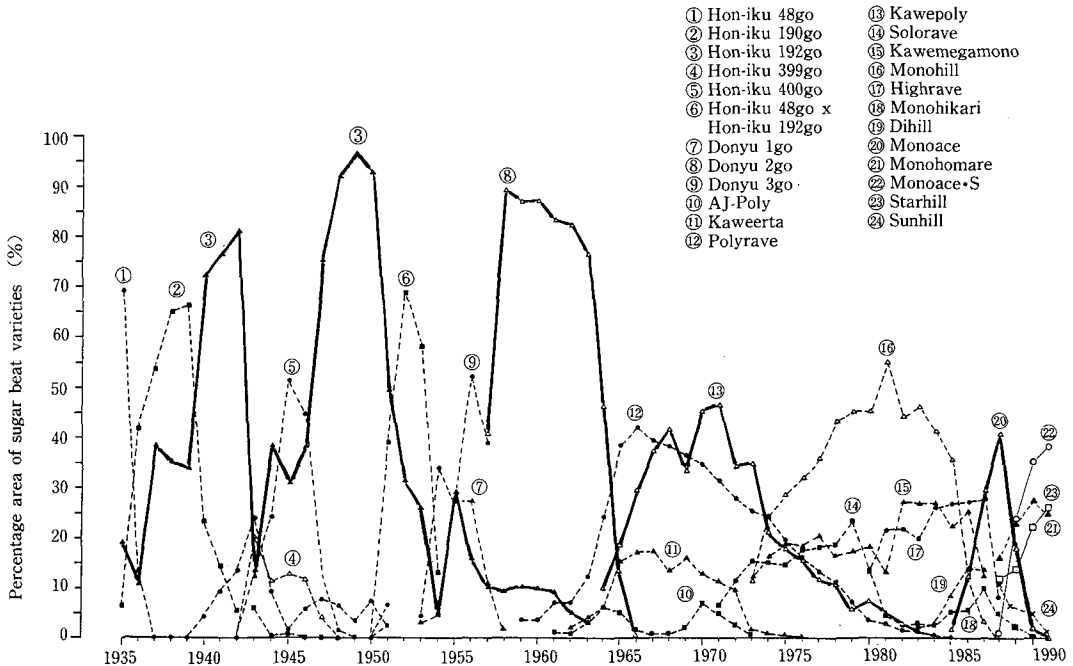


Fig. 1. Yearly changes in percentage area of main sugar beet varieties in Hokkaido from 1935 to 1991. Quoted from the statistics "History of Agricultural Technology after the Second World War", Agricultural Statistics Association, 1971, and "Statistics of Sugar Beet", Hokkaido Government, 1957-1991.

れ、昭和30年代は「導入2号」が栽培面積の80%以上を占めた (Fig. 1)。その後昭和40年代はヨーロッパ品種が普及した。即ち、「ポリラーベ」、「カーベポリ」等の多胚性の倍数体品種が栽培された。以後ヨーロッパからの輸入品種が主として栽培される時代となり³⁵⁾、昭和40年代後期より単胚性品種が急速に普及した。この期間に収量の増加は著しかったが、根中糖分の向上は停滞した。1986年 (昭和61年) に糖分取引制度が導入され、「モノエース」等の根中糖分の高い品種が広く栽培されるようになった (Fig. 1)。

本試験では上記のように変遷した新旧品種を現在の慣行条件で栽培し、品種の特性および生育型を比較した。すなわち、昭和40年代初頭まで作況を支配する主要因であった褐斑病およびその他の病害虫を完璧に防除し、紙筒移植栽培法により実施したものである。

1. 材料および方法

a. 試験区

1) 供試品種

旧品種として、昭和10年代および昭和20年代の

主要品種であった「本育192号」および昭和30年代を代表する品種として「導入2号」、糖分取引制度に移行した現代の新品種として高糖性の「モノエース」、新旧品種の中間として、根重の増加が著しかった昭和40年代の品種として「カーベポリ」を試した。

2) 施肥量

現在の施肥基準である1983年 (昭和58年) 設定の道施肥標準量 (新標準) および旧品種が栽培されていた当時の施肥基準である1957年 (昭和32年) 設定の道施肥標準量 (旧標準) の2処理とした。それぞれの10a当たりの要素量 (N-P₂O₅-K₂O, kg/10a) は下記の通りである。

新標準 16.0-25.0-16.0

旧標準 7.5- 9.8- 3.8

b. 試験設計

分割区法 (大試験区: 施肥量, 小試験区: 品種)

生育時調査: 2反復, 収穫時調査: 4反復, 1区面積: 14.4 m², 畦幅: 60 cm, 株間: 24 cm, 畦長: 6 m, 1区: 4畦

c. 栽培方法

紙筒移植法とし、栽培管理は現在の慣行法に従った。

d. 播種期および移植期

播種期 1988年3月26日

移植期 1988年5月6日

e. 調査方法

生育特性は6月22日、8月23日に1区20個体2反復で調査し、収穫特性は10月25日に1区20個体4反復で調査した。

2. 結果および考察

10月25日に実施した収穫調査結果をTable 2に示した。

全重では品種間に有意差がみられなかったが、根重、根中糖分、糖量、茎葉重、T/R比、カリウム、

ナトリウム、アミノ態窒素では品種間差が顕著であった。

施肥量間ではカリウム、ナトリウムで有意差がみられなかったが、根重、根中糖分、糖量、茎葉重、全重、T/R比、アミノ態窒素で有意差が認められた。

施肥処理別に品種間差をみると、まず、根重については、「モノエース」は「本育192号」に比べ、新および旧標準施肥量で35~40%、「導入2号」に比べ新標準で34%、旧標準で25%、「カーベポリ」に比べ新および旧標準施肥量で11~12%それぞれ上回った。

根中糖分についても「モノエース」は「本育192号」に比べて、新および旧標準施肥量で共に5%、「導

Table 2. Performance trial for old and new varieties

Treatment	Root weight		Sugar content		Sugar weight		Top weight		Whole plant weight		T/R ratio ²⁾		K		Na		amino N		
	t/ha	Rel. ¹⁾	%	Rel.	t/ha	Rel.	t/ha	Rel.	t/ha	Rel.	Rel.	meq ³⁾	Rel.	meq	Rel.	meq	Rel.		
New standard amount of fertilizer																			
Hon-iku 192go	34.9	100	16.35	100	5.72	100	55.7	100	90.7	100	1.61	100	3.16	100	0.31	100	1.93	100	
Donyu 2go	37.0	106	15.97	98	5.91	103	54.9	99	92.0	101	1.48	92	3.20	101	0.30	97	1.75	91	
Kawepoly	44.7	128	16.57	101	7.41	130	49.5	89	94.2	104	1.11	69	3.05	97	0.35	113	1.75	91	
Monoace	48.9	140	17.11	105	8.36	146	43.3	73	92.2	102	0.88	55	2.78	88	0.28	90	1.48	77	
Old standard amount of fertilizer																			
Hon-iku 192go	29.1	83	16.61	102	4.84	85	33.5	60	62.7	69	0.15	71	3.21	102	0.24	77	1.17	61	
Donyu 2go	32.5	93	16.49	101	5.36	94	38.4	69	70.9	78	1.20	75	3.16	100	0.30	97	1.14	59	
Kawepoly	37.4	107	17.31	106	6.48	113	34.4	62	71.8	79	0.92	57	2.92	92	0.36	116	1.05	54	
Monoace	41.1	118	17.43	107	7.16	125	30.4	55	71.6	79	0.74	46	2.64	84	0.28	90	0.89	46	
Amount of fertilizer																			
New standard	41.4	100	16.50	100	6.85	100	50.9	100	92.3	100	1.27	100	3.05	100	0.31	100	1.73	100	
Old standard	35.1	85	16.96	103	5.96	87	34.2	67	69.3	75	1.00	79	2.98	98	0.29	94	1.06	61	
L. S. D.	5%	4.2	10	0.43	3	0.77	11	9.8	n. s.	10.7	12	0.33	20	n. s.	—	n. s.	—	0.20	12
	1%	n. s.	—	n. s.	—	n. s.	—	n. s.	—	19.7	21	n. s.	—	n. s.	—	n. s.	—	0.38	22
Variety																			
Hon-iku 192go	32.0	100	16.48	100	5.28	100	44.6	100	76.7	100	1.38	100	3.18	100	0.27	100	1.55	100	
Donyu 2go	34.8	109	16.23	98	5.64	107	46.6	104	81.4	106	1.34	97	3.18	100	0.30	111	1.45	94	
Kawopoly	41.1	128	16.94	103	6.94	131	41.9	94	83.0	108	1.01	73	2.99	94	0.36	133	1.40	90	
Monoace	45.0	141	17.27	105	7.76	147	36.9	83	81.9	107	0.81	59	2.71	85	0.28	104	1.18	76	
L. S. D.	5%	2.3	6	0.22	1	0.35	7	5.0	11	n. s.	—	0.17	12	0.15	5	0.05	19	1.55	100
	1%	3.1	9	0.30	2	0.48	9	6.8	15	n. s.	—	0.23	17	0.20	6	0.06	22	0.22	14
C. V. (%)	6.35		1.45		6.30		12.87		7.43		14.46		4.66		17.99		11.49		

¹⁾ Relative value compared to Hon-iku 192go in new standard amount of fertilizer (Upper table), New standard (Middle) and Hon-iku 192go (Bottom). ²⁾ Ratio of top weight to root weight. ³⁾ Milliequivalent per 100 g on beet.

入2号」に比べて新標準で7%, 旧標準で6%, 「カーベポリ」に比べて新標準で4%, 旧標準で1%上回っていた。

糖量については「モノエース」は「本育192号」に比べて新標準施肥で46%, 「導入2号」に比べて新標準で43%, 旧標準施肥で31%, 「カーベポリ」に比べて新標準で16%, 旧標準で12%上回っていた。

茎葉重については, 「モノエース」は旧品種に比べて顕著に低かった。

T/R比については「モノエース」は新および旧標準施肥とも「本育192号」および「導入2号」の1/2程度であった。

非糖分については, カリウム, アミノ態窒素に関し「モノエース」は新および旧標準施肥共に旧品種の80%程度で差が明らかであった。ナトリウムについては「カーベポリ」が最も高い値であったが, 新品種と旧品種の差は明瞭ではなかった。

収穫期における諸特性の結果は以上であったが, 6月22日, 8月23日, 10月25日の調査結果を以下に示した。なお, 上記のように収穫期の調査結果では, 品種間差は, 全重以外で明らかであり, かつ, 新標準施肥区においてより顕著であったが, 施肥処理と品種間の交互作用はいずれの形質でも有意差が認められなかったので新標準施肥区について検討した結果を示した。

葉長 (Fig. 2) は「導入2号」が生育中期に他3品種に比べやや長く, 葉数 (Fig. 3) は「カーベポリ」が生育初期より他3品種に比べ少い推移を示したが, 両形質とも品種間差に有意性はみられなかった。

全体の乾物重 (Fig. 4) は生育中期の8月以後「モ

ノエース」が高く, 「本育192号」および「導入2号」が低く推移し, 「カーベポリ」は「本育192号」および「導入2号」よりやや高く推移した。収穫期においても「モノエース」は高いが, 8月に比べ品種間差は小さくなった。根部乾物重 (Fig. 5) は生育中期以後「モノエース」が「本育192号」および「導入2号」に比し高く, 「カーベポリ」は新旧品種の中間であっ

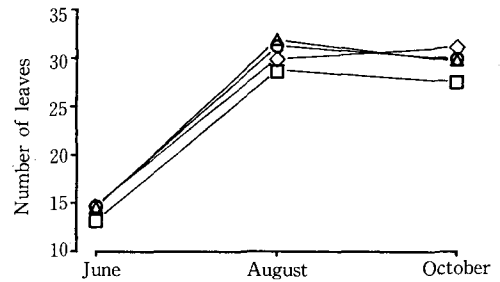


Fig. 3. Seasonal changes of number of leaves in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go, □: Kawepoly, ○: Monoace.

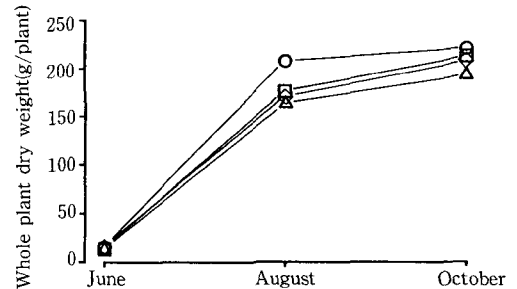


Fig. 4. Seasonal changes of whole plant dry weight in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go, □: Kawepoly, ○: Monoace.

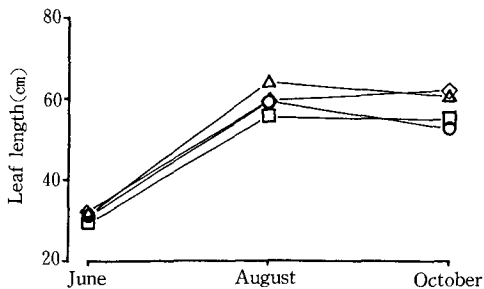


Fig. 2. Seasonal changes of leaf length in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go, □: Kawepoly, ○: Monoace.

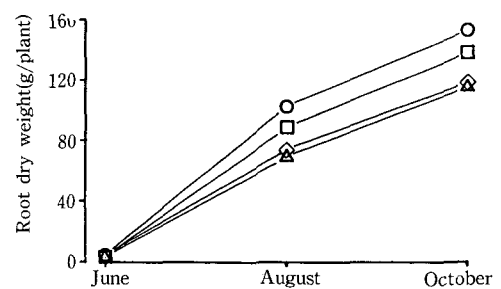


Fig. 5. Seasonal changes of root dry weight in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go, □: Kawepoly, ○: Monoace.

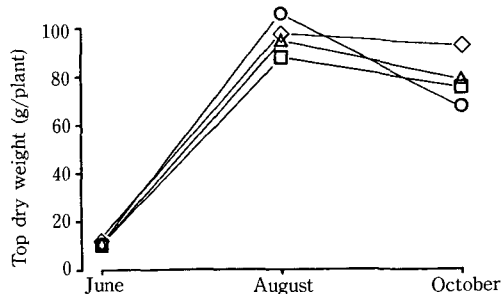


Fig. 6. Seasonal changes of top dry weight in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

た。茎葉部乾物重 (Fig. 6) は4品種共8月以後の生育後期に茎葉重が減少し、その程度は「モノエース」が最も著しかった。このような茎葉部の減少を、茎葉を構成する部位別にみたところ (Fig. 7), 葉身および葉柄が8月以後に減少していた。この傾向は葉身、葉柄共「モノエース」で最も顕著であり、特に葉柄の減少が他品種に比べ明らかであった。

根中糖分 (Fig. 8) は、生育初期より収穫期に至る迄「モノエース」は「本育192号」および「導入2号」に優っており、「カーベポリ」は8月以降新旧品種の中間であった。

非糖分 (Fig. 9) については、カリウム、ナトリウム、アミノ態窒素のいずれも「モノエース」は生育初期より収穫期にいたるまで供試品種の中で最も低く推移した。

以上のように、新品種である「モノエース」は現在の栽培条件の下では、昭和10~20年代の主要品種であった「本育192号」に比べて、根重で40%, 根中糖分で5%優り、昭和30年代の基幹品種である「導入2号」に比べて、根重で30%, 根中糖分で6%上回っていた。このように品種改良の実績は目覚ましいものがあった。次に、上記のような差をもたらした要因を生育面から解析した。

生育最盛期である8月の生育を比較すると、「モノエース」は根部の乾物重で「本育192号」に42%, 「導入2号」に48%, 茎葉の乾物重で「本育192号」に9%, 「導入2号」に13%優っており、生育期前半の生育は旧品種に比べて極めて旺盛であった (Fig. 5, 6)。8月以後は「モノエース」の茎葉重は「本育192号」, 「導入2号」および「カーベポリ」に比較して減少傾向が急激であり、収穫期には「本育192号」に比べて27%, 「導入2号」に比べて13%低いもの

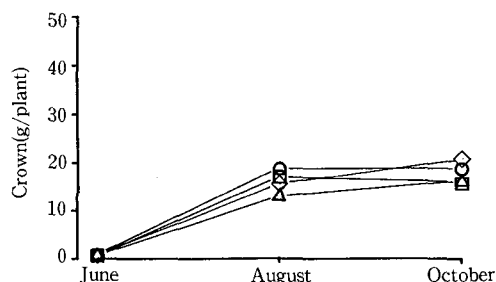
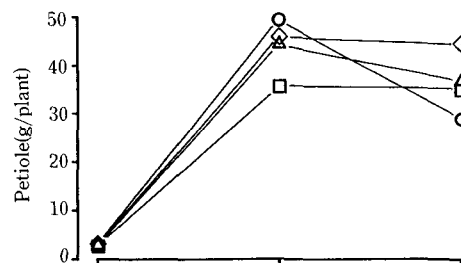
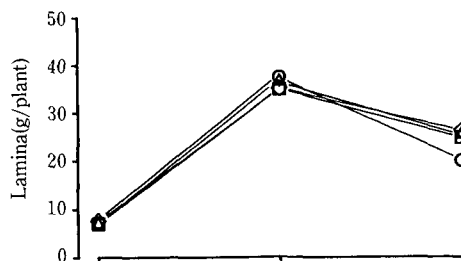


Fig. 7. Seasonal changes of dry weight in three parts of top (lamina, petiole and crown) in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

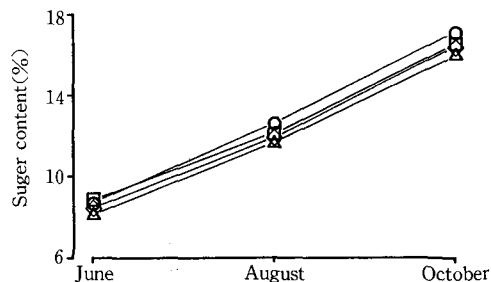


Fig. 8. Seasonal changes of sugar content in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

となった (Fig. 6)。

葉面積指数 (Fig. 10) は「モノエース」, 「導入2号」共8月は5以上, 「本育192号」は4.7であり,

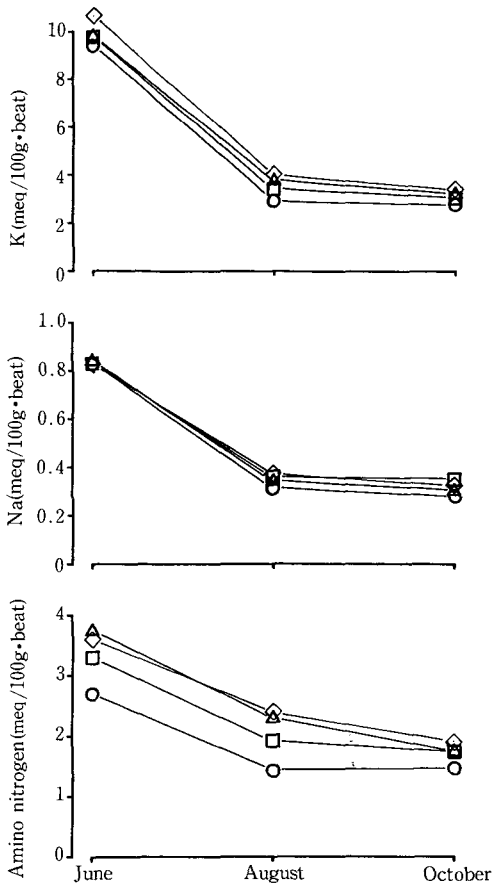


Fig. 9. Seasonal changes of potassium, sodium and amino nitrogen involved in roots in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

10月には3品種とも3以下となった。8月から10月の減少程度は「モノエース」が他品種に比しやや明らかであった。一方、「カーベポリ」は8月に4.3, 10月に3.2で減少割合は前3品種に比べて小さかった。

このように「モノエース」の生育は生育期の前半は旧品種に比べ旺盛であり、後期は地上部の減少が著しかった。後期に葉面積が大きいことは、IIIで詳細に検討するが、相互遮蔽が生じ、下層の葉では呼吸による消費が同化量を上回ることとなり^{20,33,34)}、登熟にとって不利であることから「モノエース」の生育の様相は根重、根中糖分の上昇に有利といえる。

全乾物重に対する根部乾物重の割合 (Fig. 11) は

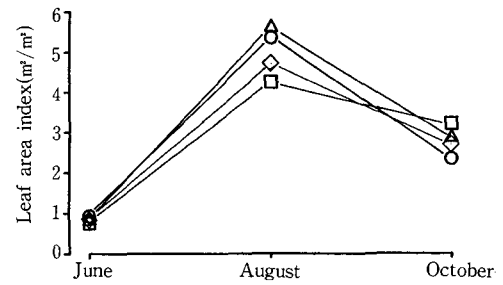


Fig. 10. Seasonal changes of leaf area index in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

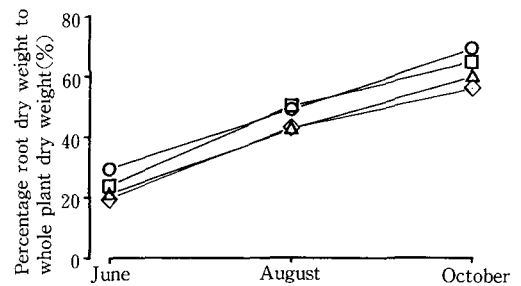


Fig. 11. Seasonal changes of percentage root dry weight to whole plant dry weight in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

生育全期間を通じて「モノエース」が高く、収穫期では「本育192号」が56%, 「導入2号」が60%であったのに対し、「カーベポリ」は65%, 「モノエース」は69%と高かった。これにより光合成生産物の根部への分配割合⁵⁾は「モノエース」が高く、いわば効率の良い生育ということができよう。

Fig. 9に示したように「モノエース」は、非糖分の割合が旧品種に比べて低く、また根部乾物重に対する糖量の割合 (Fig. 12) は「モノエース」が顕著に高く、この点においても育種の進展が明らかであった。なお、育成期が「導入2号」と「モノエース」の間である「カーベポリ」の諸特性はこれらの2品種のほぼ中間であった。

以上のように新品种の「モノエース」は根重、根中糖分共に旧品種を凌駕した。その理由については新品种は生育初期および前半は旧品種に比べて生育が旺盛であり、その後生育最盛期より秋の収穫期にいたる期間は茎葉重の減少が著しく、同化産物の根部への転流割合が高いことが主要因と推測される。

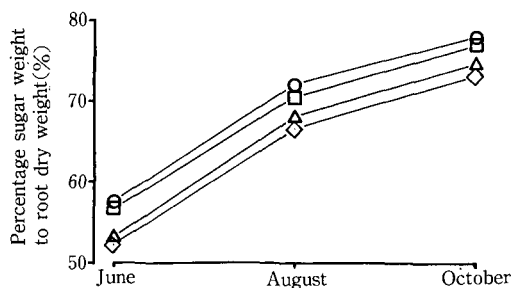


Fig. 12. Seasonal changes of percentage sugar weight to root dry weight in four varieties.

◇: Hon-iku 192go, △: Donyu 2go,
□: Kawepoly, ○: Monoace.

これは品種改良の観点からみれば、全体の生育量は新旧品種で差はないものの、結果として生産物の根部への分配を高めたとみることができる。野村ら^{21,22)}は旧品種として「導入2号」、新品種として「ソローベ」を供試し、直播および移植栽培、更に、肥料水準を変えて新旧品種の比較試験を実施した。その結果、直播および移植栽培、標準施肥量および5割増量のいずれの条件においても「ソローベ」は「導入2号」に比べて、根重で20~40%増加し、根中糖分も同等以上の値を示し、本研究と同様に新品種の特性の優れていることを明らかにした。

昭和40年代初頭からテンサイの栽培品種は米国からの導入系統からヨーロッパ品種へ大きく転換したが、このことが製糖原料の生産量を安定的に増加させ、テンサイ糖業に大いに寄与したといえよう。更に、昭和61年よりテンサイの原料買い上げ方法は、いわゆる糖分取引制度へと移行し、根中糖分をより高く評価する方式となった。従来は、根重のみを評価する重量取引であったため、品種の評価として根重を重視したことにより、根重の向上に比し根中糖分の向上は停滞していたが、糖分取引制度への移行と共に根中糖分の高い品種が栽培されるようになった。テンサイの根重と根中糖分とは負の相関関係にあるが、昭和60年に認定された「モノエース」は旧品種に比べ、根重の向上と共に、根中糖分も顕著に向上していた。このような品種の育成が近年のテンサイ糖業に貢献したことは明らかである。

III. 栽培品種の生育型の解析

THEURER³⁶⁾によれば、テンサイの生育は環境要因、栽培法、遺伝子型 (genotype) によって変わる

が、葉と根部との生育には調和のとれた型があるとし、これを生育型 (growth pattern) とした。小倉ら²³⁾は地域および年次によって変化する作物の生育の生産過程を類型化し、生育型 (growth type) として認識した。本研究では生育型を、様々な環境条件下において、品種の諸特性に差をもたらす生育の仕方、あるいは様相としてとらえ、特性の差を検定することにより、品種の生育型を明らかにし、生育型と環境条件との関係について解析を試みた。

A. 生育過程の解析による品種の生育型

テンサイの品種は根部の収量 (根重) および根中糖分の両形質に基づき次の3型に分類される²⁷⁾。根重が高く根中糖分の低い根重型、根重が低く根中糖分が高い糖分型、および両形質とも中間の中間型である。これら3型の分類は収穫時の特性に基づいている。収穫時の収量および根中糖分は、播種から収穫にいたる迄の生育過程を経た最終結果として表れることから、品種間差をもたらす要因をその生育過程の中に求めることが出来る⁵⁾。この点に関する知見を得ることが出来れば実際の育種の場にも応用することが可能となろう。

本研究は以上のような目的のもとに特性の異なる3品種を用いて生育の過程で定期的に抜き取り調査を実施し、生育曲線を当てはめ、生育過程を解析することにより、品種の生育型における差を明らかにすることを試みたものである。

1. 材料および方法

a. 実施年

1975年~1982年および1984年の計9年

b. 実施場所

帯広市上清川町

c. 土性土質

火山性砂壤土

d. 供試品種

「カーペメガモノ」(ドイツ, KWS 社育成の根重型品種), 「モノホープ」(てん菜研究所育成の中間型品種), 「ツモ」(スウェーデン, Hilleshög 社育成の糖分型品種)

e. 試験設計

3×3 ラテン方格法2組

f. 施肥

硫酸アンモニア, チリ硝石, 過磷酸石灰, 溶性燐肥, 硫酸加里の単肥配合とし, 10a 当り要素量は N: 16 kg, P₂O₅: 20 kg, K₂O: 16 kg。

Table 3. Means of five characters at harvest time (Oct. 20) during nine years

Variety	Root weight (g/plant)	Sugar content (%)	Sugar weight (g/plant)	Top weight (g/plant)	Whole plant weight (g/plant)
Kawemegamono	672	17.06	115	576	1,248
Monohope	693	17.32	120	743	1,436
Zumo	690	17.91	124	488	1,178
F-values in variance analysis					
Variety	1.76	38.26**	7.17**	92.24**	58.64**
Year	20.44**	15.55**	23.49**	21.88**	25.77**

** : Significant at the 1% level.

g. 栽培方法

畦幅：50 cm，株間：28 cm，株立本数：7,143 本/10 a。1筆の圃場を4等分して4年輪作した。テンサイを栽培した年次以外はイネ科とマメ科牧草を混合して栽培した。播種期は9ヶ年とも4月1日，移植期は圃場状態が気象の影響を受けたため年次により異なり，5月3日～5月25日の範囲であった。その他の栽培管理は一般慣行法によった。

h. 調査方法

5月30日より10月20日迄10日間隔で15回抜取り調査を実施した。1回の抜取り本数は1区25個体で6反復とし，1品種当り150個体とした。抜き取った個体は直ちに最下葉痕跡部の位置で切断し，茎葉部はそのままに，根部は水洗後に生重量を測定した。茎葉部は生重測定後に葉身，葉柄，冠部に分割してそれぞれ生重を測定し，その後で80℃で2日間通風乾燥して乾物重を測定した。根部は根中糖分を測定するために作成したブライ（根部の粥状サンプル）を乾燥して乾物重を測定した。根中糖分の測定は冷水浸出法（Sachs-Le Docte 法 精糖技術協会 1962）によった。葉面積は1981，1982，1984の3ヶ年のみ，1区5～10個体宛2反復につき全個体の葉身を採取し，林電工製製の自動葉面積計により測定した。

2. 結果および考察

a. 収穫期における品種間差

通常の収穫期である10月20日の調査時における根重，根中糖分，糖量，茎葉重および全重の調査結果をTable 3に示した。

品種間差についてみると，根重においては3品種は同等であったが，根中糖分においては品種間の実数値の差は小さいものの1%水準で有意性がみら

れ，「ツモ」が最も高く，次いで「モノホープ」，「カーベメガモノ」の順であった。糖量は根重と根中糖分を乗じた値であるが，品種間に有意差が認められた。茎葉重では品種間差が顕著であり「モノホープ」が高く，「ツモ」は低かった。全重は根重と茎葉重を加えた値であるが，根重に品種間差がみられなかったものの茎葉重で品種間差が大きかったため全重の品種間差は顕著であった。

一方，Table 3に示したように，9ヶ年の年次間差はいずれの形質においても有意性が示された。本試験では前記のように栽培圃場の土壌条件，および栽培条件は9ヶ年ともほぼ同一と考えられるので，この年次間差の大部分は気象条件による影響とみることができる。年次間差については次章で検討する。

品種と年次の交互作用は，いずれの形質でも有意性は示されなかった。

b. 生長曲線の算出

各品種の生育型の比較を行うに当たり，まず生育の過程を生長曲線で表すことを試みた。生物の生長曲線に関する数式については多数の提案があるが^{18,42,44)}，テンサイについては少ない。本研究では生長曲線を生育の回帰式としてとらえて曲線式を求めた。増田¹³⁾および増田・黒沢¹⁵⁾はテンサイの根部の生育についてROBERTSON²⁰⁾の生長曲線（ロジスチック曲線）を当てはめたところ，1本の曲線で表すよりも，2本の曲線を組み合わせることにより，適合性の高い生長曲線を得たことを報告している。本研究は上記の増田・黒沢¹⁵⁾の方法に従い根部の生長曲線を求めたものであり，その概要は以下の通りである。

ロジスチック曲線によれば，根重は次式で表され

る。

$$\log \frac{R_t}{A - R_t} = a + bt$$

A: 理論最高根重

R_t : 時間 t における根重

a : 定数

b : 相対生長率 (曲率)

t : 時間 (本研究では調査回数)

上記のように、本研究では根部の生長を2本の生長曲線で表したが、生育の比較的初期に当てはめる根重の生長曲線式を第1次根重生長曲線式、それ以後に当てはめる曲線式を第2次根重生長曲線式とした。本研究では、5月30日より10日間隔で15回のサンプリングを実施し、ロジスチック曲線は逐次代入法⁴⁰⁾によって求めた。次に、いつの時点で第1次根重生長曲線式と第2次根重生長曲線式とに区別するかが問題となるが、これは下記の方法によった。まず、サンプリング1回目から3回目までの測定値で第1次根重生長曲線式、3回目より15回目までの測定値で第2次根重生長曲線式を求めた。次に、1回目より4回目までの測定値で第1次根重生長曲線式、4回目より15回目までの測定値で第2次根重生長曲線式を求めた。以下同様に、順次測定値の組み合わせをずらして11組の根重生長曲線式を求めた。ここで、実際の根重の生育を表す曲線は連続していなければならないので2つの生長曲線は理論的には1点(転移点: tc)で接する。上記の式をそのまま採用すると、2つの根重生長曲線式は実測値の誤差等により接しないことがある。そこで第1次根重生長曲線式の定数 a を a_1 、第2次根重生長曲線式のそれを a_2 としたとき、 a_1 または a_2 のいずれか1つを求めた後で2つの根重生長曲線式が接する条件をもとに他の定数 a_2 または a_1 を求める。本研究においては第2次根重生長曲線式の a_2 を最小自乗法により求めた後に、2つの根重生長曲線式が接する条件より導かれた下記式から a_1 を求めることとした。

$$a_1 = \log \frac{A_2 \cdot b_1}{A_1 \cdot b_2} + a_2 - (b_1 - b_2)$$

$$\left\{ \log \frac{A_1(b_1 - b_2)}{b_2(A_2 - A_1)} - a_2 \right\}$$

A_1, A_2 : 第1次および第2次根重生長曲線式の理論最高根重

b_1, b_2 : 第1次および第2次根重生長曲線式の

相対生長率

次にこのようにして求めた対になった曲線式による計算値と実測値の差の標準偏差を求め、これが最小となる組合せを選んで求める2つの生長曲線を決定した。以上の手法により求めた根重の生長曲線をFig. 13に示した。根重は図のように互いに接する2つのロジスチック曲線で示される。この接する点(転移点, tc)は、2つの根重生長曲線式が接する条件より導かれる次式により求めることができる。

$$tc = \frac{1}{b_2} \left\{ \log \frac{K \cdot A_1 - A_2}{K(A_2 - A_1)} - a_2 \right\}$$

$$K = \frac{10^{(a_1 + b_1 t)}}{10^{(a_2 + b_2 t)}}$$

増田¹³⁾は茎葉重と根重との比は生育が進むに伴い、指数関数的に下降することから、この比の対数について生育時期に関する1次回帰式を求め、これにより茎葉重の生長曲線式を示した。本研究では、

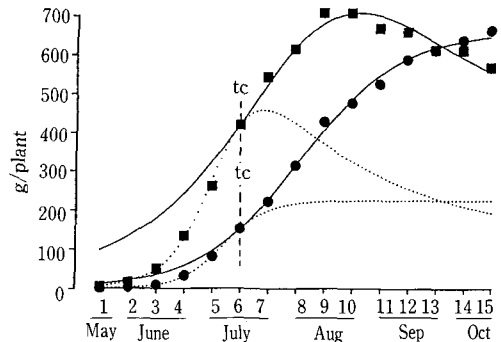


Fig. 13. Growth curves for root and top fresh weight expressed by the following formulae using means from 1975 to 1982 and 1984 ("Kawemegamono").

●: Root weight, ■: Top weight.

tc : Time that primary curve transfer to secondary curve.

Growth curves are calculated by the following formulae.

Root weight (g/plant):

Primary curve (early growth)

$$\log \frac{R}{205 - R} = -3.0586 + 0.5866 t$$

Secondary curve (later growth)

$$\log \frac{R}{669 - R} = -1.9758 + 0.2416 t$$

Top weight (g/plant):

$$\log \frac{T}{R} = 1.0189 - 0.1119 t + 0.0026 t^2$$

R : Root fresh weight (g/plant),

T : Top fresh weight (g/plant),

t : Sampling time (1: May 30th).

上記の対数が生育時期に関して1次回帰式よりも、2次回帰式によく適合することから、茎葉重の生長曲線式として、下記式を使用した

$$\log \frac{T_t}{R_t} = l_0 + l_1 t + l_2 t^2$$

T_t ：時間 t における茎葉重

R_t ：時間 t における根重

l_0, l_1, l_2 ：係数

Fig. 14 に明らかなように $\log T/R$ の2次回帰式の寄与率は99.8%ときわめて高かった。前記のように根重では2つの曲線を組み合わせることにより求めたため、根重との関係より求められる茎葉重の生長曲線も2つの曲線式から成り立つこととなった (Fig. 13)。

以上の手法により求めた生長曲線について、供試3品種の根重の生長曲線を Fig. 15 に、Table 4 には生長曲線の各係数を示した。生長曲線式から求めた値の、実測値に対する回帰係数は3品種、9ヶ年共0.984~1.002であった。回帰係数の平均値および相関係数を Table 5 に示したが、適合度は高いといえよう。回帰係数に品種間および年次間の有意差はみられなかったことから、適合性は3品種、9年間で同様であったといえる (Table 5)。

茎葉重の生長曲線を Fig. 16 に、Table 6 には生長曲線の各係数を掲げた。生長曲線から算出した値

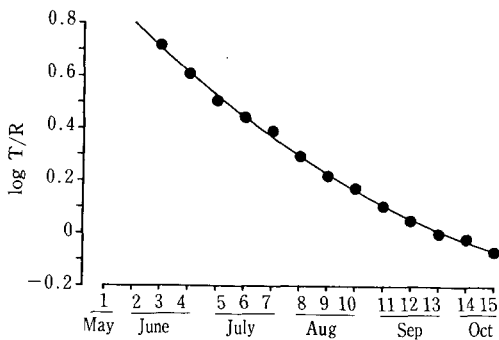


Fig. 14. Quadratic regression curve for $\log T/R$ calculated using means from 1975 to 1982 and 1984 ("Kawemegamono").

Regression curve was calculated by the following formula.

$$\log \frac{T}{R} = 1.0189 - 0.1119 t + 0.0026 t^2$$

(Contribution ratio due to regression was 99.8%)

R : Root fresh weight (g/plant),

T : Top fresh weight (g/plant),

t : Sampling time (1: May 30).

の実測値に対する回帰係数は3品種、9ヶ年共0.943~1.014、相関係数は0.979~0.999であった。回帰係数および相関係数の平均値を Table 7 に示した。適合度は高かったが根重に比べてやや劣った。適合性においては根重と同様に品種間差はみられなかったが、年次間差は有意性が認められた (Table 7)。これは Fig. 16 に示すように、茎葉重の生育は経時的にみると根重に比べて変動が大きかったこと、さらに、次章で検討するが茎葉重は年次間差が

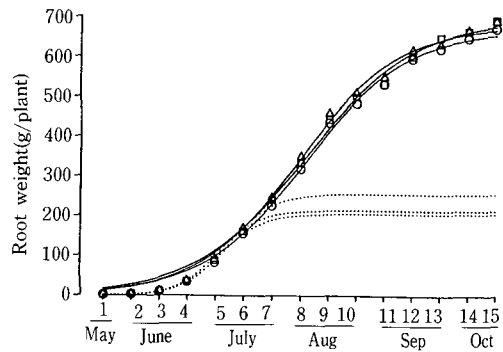


Fig. 15. Growth curves of three varieties for root fresh weight expressed by the following formulae using means from 1975 to 1982 and 1984.

○: Kawemegamono, □: Monohope, △: Zumo.

Growth curves were calculated using the following formulae.

Kawemegamono:

Primary curve:

$$\log \frac{R}{205-R} = -3.0586 + 0.5866 t$$

Secondary curve:

$$\log \frac{R}{669-R} = -1.9758 + 0.2416 t$$

tc: July 17.

Monohope:

Primary curve:

$$\log \frac{R}{255-R} = -3.1261 + 0.5688 t$$

Secondary curve:

$$\log \frac{R}{697-R} = -1.8445 + 0.2250 t$$

tc: July 22.

Zumo:

Primary curve:

$$\log \frac{R}{214-R} = -3.1107 + 0.6065 t$$

Secondary curve:

$$\log \frac{R}{680-R} = -1.9643 + 0.2468 t$$

tc: July 17.

t: Sampling time (1: May 30).

Table 4. Means of parameters¹⁾ in the equations for the growth curve of root weight and variance analysis for them

Variety	Means of parameters					
	A ₁	A ₂	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
Kawemegamono	248	702	-3.1080	-1.8980	0.5699	0.2291
Monohope	263	729	-3.2009	-1.8030	0.5837	0.2183
Zumo	258	705	-3.1591	-1.9130	0.5862	0.2394

Variance analysis for characters							
Source of variation	D. F.	F-values of parameters					
		A ₁	A ₂	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
Variety	2			1.77			
Year	8	3.08*	10.72**	13.02**	4.78**	6.69**	5.16**

** : Significant at the 1% level.

¹⁾ Parameters of the following equation for the growth curve of fresh root weight. A₁, a₁, b₁ are in the equation for the primary growth stage and A₂, a₂, b₂ are in the one for the secondary growth stage.

$$\log \frac{R}{A-R} = a + bt$$

A : Theoretical maximum root weight (g/plant)

R : Root weight (g/plant)

t : Sampling time. The first sample was taken on May 30th.

高い形質であるためと考えられる。

根中糖分の生育初期より収穫期にいたる推移は Fig. 17 に示したようにサンプリング時期に対する 1 次回帰式によく適合した。回帰式の係数および相関係数を Table 8 に示したが、サンプリング時期との相関は極めて高かった。

c. 生長曲線による生育型

本項では前項に記した方法により生長曲線式を求め、これより導かれるパラメーターおよび生育特性を示すパラメーターを用いて品種間差を表すことを検討した。

上記のパラメーターが品種間差を表わし得るかを検討するために品種と年次について分散分析を行った。

根重については生長曲線式の係数に品種間差はみられず、年次間差が高く表れた (Table 4)。

供試した 3 品種は根重型、中間型、糖分型に分類されるものの、根部の肥大に関しては変異の幅が狭かったことによるものと考えられる。収穫期 (10 月 20 日) の根重は Table 3 に示したように、9 年間の平均で「カーベメガモノ」672 g, 「モノホープ」693 g, 「ツモ」690 g で有意差はなかった。

茎葉重の生長曲線式の係数は t の係数に品種間差

Table 5. Means of regression coefficients of calculated root weight to actual values, their standard deviations and correlation coefficients between calculated values and actual ones. And variance analysis for regression coefficients

Variety	Regression coefficient	Standard deviation (g/plant)	Correlation coefficient
Kawemegamono	0.9932	21.692	0.9967**
Monohope	0.9937	21.192	0.9970**
Zumo	0.9940	18.078	0.9976**

** : Significant at the 1% level.

Variance analysis for regression characters

Source of variation	D. F.	F-value
Variety	2	
Year	8	1.858

がみられ、また根重と同様に、年次間差は高いものであった (Table 6)。

Table 9 に品種間で有意差のみられたパラメーターと F 値を示した。通常の収穫期である 10 月 20 日の茎葉重 (T 15) および根中糖分 (S 15), 茎葉重が最大となる時期 (tlm) およびその時の根重

Table 6. Means of coefficients¹⁾ in the equations for the growth curve of top weight and variance analysis for them

Variety	Means of coefficients		
	l_0	l_1	l_2
Kawemegamono	1.0797	-0.1224	0.0031
Monohope	1.0699	-0.1145	0.0030
Zumo	1.0782	-0.1274	0.0030

Variance analysis for coefficients				
Source of variation	D. F.	F-values of coefficients		
		l_0	l_1	l_2
Variety	2		6.57**	
Year	8	71.12*	37.07**	20.26**

** : Significant at the 1% level.

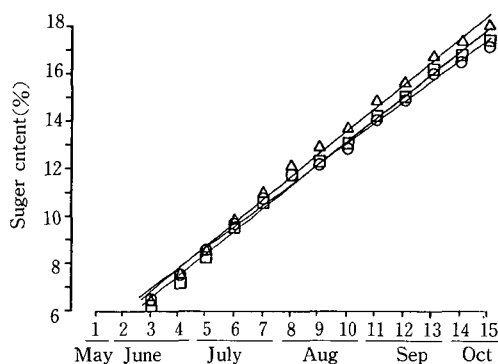
¹⁾ Coefficients of the following formulae for the growth curves of fresh top weight.

$$\log \frac{T}{R} = l_0 + l_1 t + l_2 t^2$$

T: Fresh top weight,

R: Fresh root weight,

t: Sampling time.

**Fig. 17.** Regression lines for sugar content of three varieties calculated using means from 1975 to 1982 and 1984.

○: Kawemegamono, □: Monohope, △: Zumo.

Regression lines were calculated by the following formulae.

Kawemegamono:

$$y = 4.1013 + 0.8877 t \quad r = 0.9973^{**}$$

Monohope:

$$y = 3.6514 + 0.9428 t \quad r = 0.9978^{**}$$

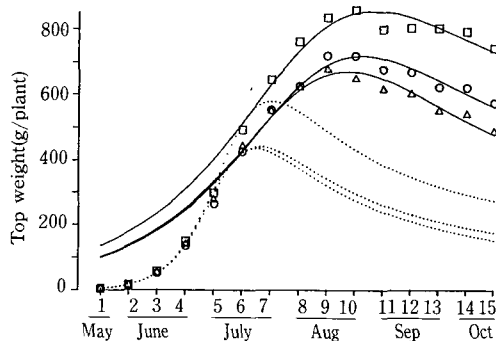
Zumo:

$$y = 3.7617 + 0.9796 t \quad r = 0.9796^{**}$$

y: Sugar content.

t: Sampling time (1: May 30).

** : Significant at the 1% level.

**Fig. 16.** Growth curves of three varieties for top fresh weight expressed by the following formulae using means from 1975 to 1982 and 1984.

○: Kawemegamono, □: Monohope, △: Zumo.

Growth curves were calculated using following formulae.

Kawemegamono:

$$\log \frac{T}{R} = 1.0189 - 0.1119 t + 0.0026 t^2$$

tc: July 17.

Monohope:

$$\log \frac{T}{R} = 1.0211 - 0.1058 t + 0.0027 t^2$$

tc: July 22.

Zumo:

$$\log \frac{T}{R} = 1.0131 - 0.1163 t + 0.0026 t^2$$

tc: July 17.

R: Root fresh weight calculated from equations of growth curve (See Fig. 15).

T: Top fresh weight.

t: Sampling time (1: May 30).

Table 7. Means of regression coefficients of calculated top weight to actual values, their standard deviations and correlation coefficients between calculated and actual values

Variety	Regression coefficient	Standard deviation (g/plant)	Correlation coefficient
Kawemegamono	0.9816	35.734	0.9908**
Monohope	0.9866	40.244	0.9923**
Zumo	0.9829	35.622	0.9895**

Variance analysis for regression coefficients		
Source of variation	D. F.	F-value
Variety	2	
Year	8	4.371**

** : Significant at the 1% level.

Table 8. Means of regression coefficients of sugar content to sampling times, their standard deviations and correlation coefficients. And variance analysis for regression coefficients

Variety	Regression coefficient	Standard deviation (%)	Correlation coefficient
Kawemegamono	0.8876	0.590	0.9859**
Monohope	0.9426	0.988	0.9880**
Zumo	0.9793	0.987	0.9871**

Variance analysis for regression coefficients		
Source of variation	D. F.	F-value
Variety	2	61.903**
Year	8	101.875**

** : Significant at the 1% level.

(Rt/m)と茎葉重(Tt/m), 生育初期より収穫期にいたる迄の根中糖分の上昇勾配 (bs) は品種間差が高かった。以上のパラメーターについてはすべて年次間差が大きく, 1%レベルで有意性が認められた。

Table 10 には品種間に有意差がみられたパラメーターについて9年間の平均値を示した。

パラメーター間の関係を, まず第2次理論最高根重(A_2)との相関で品種間差がみられたパラメーター (Table 11) についてみると, 次2次根重生長曲線式の曲率(b_2)とはいずれの品種でも負の相関が認められた。生長曲線式より計算された10月20日の根重($Rc\ 15$)は3品種とも A_2 と極めて高い相関がみられることから, 第2次根重生長曲線式の曲率(b_2)が小さい程収穫期の根重が高いことを示す。また A_2 と第1次根重生長曲線式と第2次根重生長曲線式の曲率の比(b_1/b_2)とは3品種共高い正の相関を示した。これは b_1 が大きいほど, すなわち, 初期生育が旺盛であるほど収穫期の根重が高いことを示すものであり, この傾向は「ツモ」, 「カーベメガモノ」, 「モノホープ」の順に高かった。

茎葉重の品種間差は顕著であり, 収穫期(10月20日)の値($T\ 15$), および最大値(Tt/m)の品種間差は明らかであった (Table 9)。Fig. 16 に示されるように, 茎葉重は生育初期より収穫期まで「モノホープ」が「カーベメガモノ」および「ツモ」に比べ常に高く推移した。茎葉重と根重の比(T/R)の対数を取り9年間の平均値によりその推移をみると

(Fig. 18), 品種間差は収穫期に近づくほど拡大した。

茎葉重が最大となる時期(t/m)も品種間差が顕著で (Table 10), 茎葉重の最も低い「ツモ」が最も早く (8月27日), 茎葉重が最も高い「モノホープ」が最も遅く9月9日であった。Table 12 に茎葉重が最大となる時期(t/m)と各パラメーターとの相関係数を示した。表に明らかなように3品種はそれぞれやや異なる対応関係を示した。 t/m と第2次式の理論最大根重(A_2)とは3品種とも相関関係がみられたが, 特に「カーベメガモノ」, 「ツモ」で高かった。また, t/m は「カーベメガモノ」, 「ツモ」では生長曲

Table 9. F-values of variance analysis on parameters of which differences between varieties were significant

Parameter ¹⁾	Factors ¹⁾	
	Variety	Year
t/m	13.32**	5.23**
Tt/m	31.91**	10.40**
$T15$	92.24**	21.88**
Rt/m	17.01**	23.72**
$S15$	38.26**	15.55**
bs	61.90**	101.88**

** : Significant at the 1% level.

¹⁾ t/m : Time when top weight reached maximum.

Tt/m : Top weight at the time, t/m .

$T15$: Top weight at the sampling time, 15 (Oct. 20).

Rt/m : Root weight at the time, t/m .

$S15$: Sugar content at the sampling time, 15 (Oct. 20).

bs : Slope of the regression line between sugar content and sampling times.

Table 10. Average of the parameters showed in Table 9.

Parameter ¹⁾	Varieties		
	Kawemegamono	Monohope	Zumo
t/m	Sep. 4	Sep. 9	Aug. 27
Tt/m	711 g	852 g	732 g
$T15$	576 g	743 g	488 g
Rt/m	510 g	553 g	475 g
$S15$	17.06%	17.32%	17.91%
bs	0.888	0.943	0.980

¹⁾ All of the abbreviations are mentioned in Table 9.

Table 11. Correlation coefficients between the theoretical maximum root weight of the second growth curve (A_2) and the other parameters

Parameter ¹⁾	Varieties		
	Kawemegamono	Monohope	Zumo
a_2	0.818**	0.794*	0.779*
b_2	-0.806**	-0.778*	-0.814**
b_1/b_2	0.850**	0.794*	0.863**
Rc15	0.958**	0.926**	0.985**
t/m	0.843**	0.783*	0.810**
Rt/m	0.786*	0.817**	0.813**
S15	0.666*	0.481	0.825**

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ a_2 : Constant on the formulae of the 2nd growth curve of root weight.

b_2 : Curvature on the formulae of the 2nd growth curve of root weight.

b_1/b_2 : Ratio of curvatures on the formulae of the 1st and 2nd growth curve of root weight.

Rc15 : Calculated root weight at the sampling time, 15 (Oct. 20).

t/m : Sampling time when top weight reached maximum,

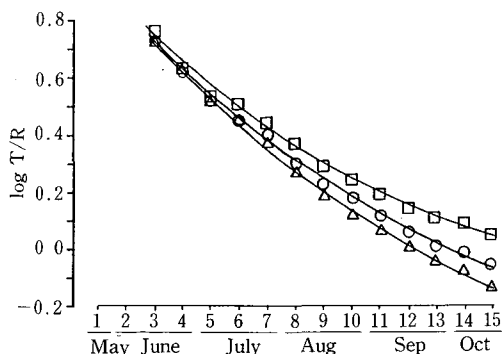
Rt/m : Root weight at the time t/m,

S15 : Sugar content¹ at the sampling time, 15 (Oct. 20).

線式により計算された収穫期（10月20日）の根重（Rc15）との相関が高く、「モノホープ」で低かった。すなわち、茎葉重の比較的低い「カーベメガモノ」および「ツモ」では、収穫期の茎葉重が高い年次ほど、また茎葉重が最大となる時期が遅くなる年次ほど、根重は高くなる傾向にあったが、茎葉重が比較的高い「モノホープ」ではこの傾向は低いものと推察された。

根中糖分についても品種間差が明らかであった。生育初期より収穫期にいたるまでの根中糖分の上昇勾配 (bs)，および収穫期の根中糖分 (S15) で有意性が高く品種の特性が良く表われた (Table 9)。9年間の平均でみると、「カーベメガモノ」は生育初期（6月20日）の根中糖分 (6.44%) は「ツモ」 (6.36%) よりもやや高いものの、上昇勾配 (bs) が小さいため、収穫期の根中糖分 (S15) は 17.06% で「ツモ」の 17.91% よりも低くなった (Table 10)。

収穫期（10月20日）の根中糖分 (S15) との相関については (Table 13)，「ツモ」は第2次理論最高根重 (A_2) との相関係数が 0.825 と高く、「モノホー

**Fig. 18.** Quadratic regression curves for log T/R of three varieties calculated using means from 1975 to 1982 and 1984.

○: Kawemegamono, □: Monohope, △: Zumo.

The regression curves were calculated by the following formulae.

Kawemegamono:

$$y = 1.0189 - 0.1119t + 0.0026t^2$$

$$R = 0.9990^{**}$$

Monohope:

$$y = 1.0211 - 0.1058t + 0.0027t^2$$

$$R = 0.9982^{**}$$

Zumo:

$$y = 1.0131 - 0.1163t + 0.0026t^2$$

$$R = 0.9993^{**}$$

$$y: \log \frac{T}{R}$$

t: Sampling time (1: May 30).

** : Significant at the 1% level.

プ」は低く (0.481)，「カーベメガモノ」は両品種の中間 (0.666) であった。3品種共生長曲線式より求めた10月20日の根重 (Rc15) との相関係数が5%で有意性があり、根重の高い年次ほど根中糖分が高い結果となった。テンサイの根重と根中糖分とは負の相関関係にあることは広く知られているが、年次間の比較をしてみると、両形質間には必ずしも相反関係にないことが示され、作柄状況を論議する場合に興味あることである。

d. 生長速度による生育型

生育解析における生長関数である生長速度は、通常、乾物重を測定することにより求められるが、本研究では、前々項に示した新鮮重の生長曲線を微分することにより生長速度を算出した。

110頁および111頁に示した根重および茎葉重の生長曲線式について、関係RおよびTをtに関して微分すれば下記式が得られる。

$$K = 1 + 10^{(a+bt)}$$

Table 12. Correlation coefficients between the time when top weight reached maximum (t/m) and the other parameters

Parameter ¹⁾	Varieties		
	Kawemegamono	Monohope	Zumo
A ₂	0.843**	0.783*	0.810**
a ₂	0.890**	0.969**	0.594
b ₂	-0.885**	-0.949**	-0.656
b ₁ /b ₂	0.920**	0.960**	0.649
Rc15	0.792*	0.573	0.831**
Rt/m	0.710*	0.626	0.815**

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ a₂ : Constant on the formulae of the 2nd growth curve of root weight.

b₂ : Curvature on the formulae of the 2nd growth curve of root weight.

b₁/b₂ : Ratio of constants on the formulae of the 1st and 2nd growth curve of root weight.

Rc15 : Calculated root weight at the sampling time, 15 (Oct. 20) by the formulae.

t/m : Sampling time when top weight reached maximum,

Rt/m : Root weight at the time, t/m.

S15 : Sugar content at the sampling time, 15 (Oct. 20).

Table 13. Correlation coefficients between sugar content at the sampling time, 15 (S15) and the other parameters

Parameter ¹⁾	Varieties		
	Kawemegamono	Monohope	Zumo
A ₂	0.666*	0.481	0.825**
Rc15	0.747*	0.671*	0.793*

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ A₂ : Theoretical maximum root weight of the formulae for the 2nd growth curve of root weight.

Rc15 : Calculated root weight at the sampling time, 15 (Oct. 20).

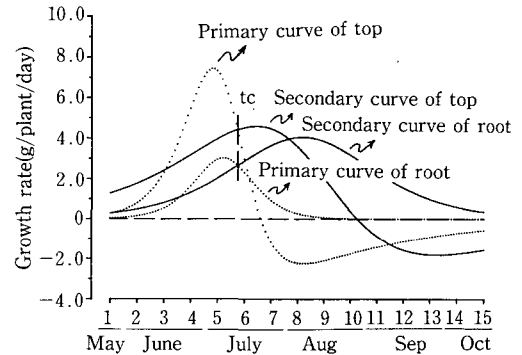
$$\text{根重の生長速度 } R' = \frac{b}{K} \cdot R$$

$$\text{茎葉重の生長速度 } T' = \frac{A}{K^2} \{b + K(l_1 + 2l_2 t)\} 10^x$$

$$x = a + l_0 + (b + l_1)t + l_2 t^2$$

これより、「カーベメガモノ」、「モノホープ」、「ツモ」それぞれにつき9年間の平均値より求めた生長速度曲線を Fig. 19~Fig. 21 に示した。根重、茎

葉重ともに第1次の生長曲線式を微分して求めた第1次生長速度曲線式から転換点 tc において、第2次生長曲線式を微分して得られた第2次生長速度曲線式に移行する。根重は前項に記したように、生長曲線については品種間に顕著な差がみられなかったため、生長速度は3品種ともほぼ同様な推移であった。すなわち、「カーベメガモノ」、「モノホープ」、「ツモ」それぞれの第1次式が最大値を示す月日は、7月12日、7月15日、7月11日、第2次式が最大値を示す月日は、8月12日、8月12日、8月10日であり、生長速度が最大となる時期については品種間差が明確ではなかった。また、生長速度の最大値についても Table 14 に示すように3品種間の差は明らかではなかった。

**Fig. 19.** Changes of growth rates of root and top calculated from the combination of the following formulae by using fresh mean weight from 1975 to 1982 and 1984 ("Kawemegamono").

The equations of curves are as follows.

Root Primary curve:

$$y = \frac{0.5866}{K} R(K=1+10^{-3.0586+0.5866t})$$

Secondary curve:

$$y = \frac{0.2416}{K} R(K=1+10^{-1.9758+0.2416t})$$

(R = Fresh root weight at time, t)

Top Primary curve:

$$y = \frac{205}{K^2} \{0.5866 + K(-0.1119 + 0.0052t)\}$$

$$10^x (K=1+10^{-3.0586+0.5866t})$$

$$(x = -2.0397 + 0.4747t + 0.0026t^2)$$

Secondary curve:

$$y = \frac{669}{K^2} \{0.2416 + K(-0.1119 + 0.0052t)\}$$

$$10^x (K=1+10^{-1.9758+0.2416t})$$

$$(x = -0.9569 + 0.1297t + 0.0026t^2)$$

y : Growth rate

tc : Time when primary curve transfer to secondary curve.

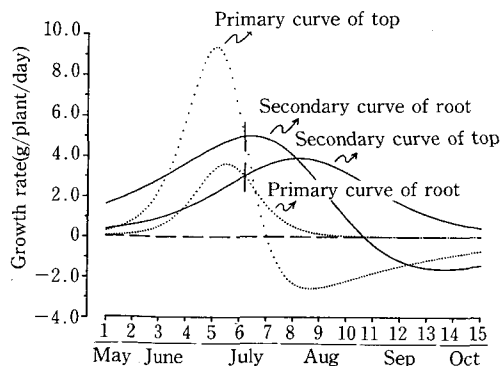


Fig. 20. Changes of growth rates of root and top calculated from the combination of the following formulae by using fresh mean weight from 1975 to 1982 and 1984 ("Monohope").

The equations of curves are as follows.

Root Primary curve:

$$y = \frac{0.5688}{K} R(K=1+10^{-3.1261+0.5688t})$$

Secondary curve:

$$y = \frac{0.2250}{K} R(K=1+10^{-1.8445+0.2250t})$$

(R=Fresh root weight at time, t)

Top Primary curve:

$$y = \frac{255}{K^2} \{0.5688 + K(-0.1058 + 0.0054t)\} \\ 10^x (K=1+10^{-3.1261+0.5688t}) \\ (x = -2.1050 + 0.4630t + 0.0027t^2)$$

Secondary curve:

$$y = \frac{697}{K^2} \{0.2250 + K(-0.1058 + 0.0054t)\} \\ 10^x (K=1+10^{-1.8445+0.2250t}) \\ (x = -0.8234 + 0.1192t + 0.0027t^2)$$

y: Growth rate

tc: Time when primary curve transfer to secondary curve.

茎葉の生長速度については、品種間で差が認められた。根重の場合と同様に示すと、「カーベメガモノ」、「モノホープ」、「ツモ」それぞれにつき、第1次式が最大値を示す月日は、7月8日、7月11日、7月8日であり、第2次式が最大値を示す月日は、7月25日、7月24日、7月21日であり、根重と同様に品種間差は明らかではなかった。しかし、生長速度の最大値には Table 14 に示したように、品種間差が認められ、茎葉重が高く推移した「モノホープ」は第1次式は25%、第2次式は12%他品種に比較して高い値であった。根中糖分の高かった「ツモ」は茎葉重の生長速度の最大値は「カーベメガモノ」に比べ、第1次式は高く、第2次式は低かった。こ

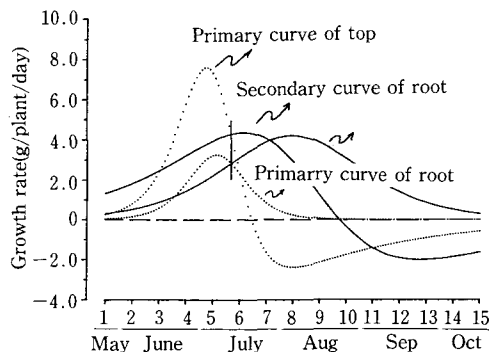


Fig. 21. Changes of growth rates of root and top calculated from the combination of the following formulae by using fresh mean weight from 1975 to 1982 and 1984 ("Zumo").

The equations of curves are as follows.

Root Primary curve:

$$y = \frac{0.6065}{K} R(K=1+10^{-3.1107+0.6065t})$$

Secondary curve:

$$y = \frac{0.2468}{K} R(K=1+10^{-1.9643+0.2468t})$$

(R=Fresh root weight at time, t)

Top Primary curve:

$$y = \frac{214}{K^2} \{0.6065 + K(-0.1163 + 0.0052t)\} \\ 10^x (K=1+10^{-3.1107+0.6065t}) \\ (x = -2.0976 + 0.4902t + 0.0026t^2)$$

Secondary curve:

$$y = \frac{680}{K^2} \{0.2468 + K(-0.1163 + 0.0052t)\} \\ 10^x (K=1+10^{-1.9643+0.2468t}) \\ (x = -0.9512 + 0.1305t + 0.0026t^2)$$

y: Growth rate

tc: Time when primary curve transfer to secondary curve.

れは「ツモ」が「カーベメガモノ」に比べ早期に茎葉を確保し、以後登熟期に至り、茎葉重が低下するとともに根中糖分の蓄積が旺盛になることを生長速度の面からも示していると考えられる。

次に、根重と茎葉重との生育過程における相互関係をみるために、茎葉重と根重の生長速度の比(生長速度比)について検討した。

生長速度比(T'/R')は前記のT'およびR'の比より求められる次式により計算した

$$\frac{T'}{R'} = \frac{K_2(b+K_1K_3)}{b10^{a+bt}}$$

ただし $K_1 = 1+10^{a+bt}$

$$K_2 = 10^x : x = a + b_0 + (b + b_1)t + b_2t^2$$

Table 14. Dates when growth rates of root and top weight reached to maximum and their values

Time ¹⁾	Kawemegamono	Monohope	Zumo
Dates			
th 1	July 12	July 15	July 11
th 2	Aug. 12	Aug. 12	Aug. 10
Tmax 1	July 8	July 11	July 8
Tmax 2	July 25	July 24	July 21
Growth rates (g/plant/day)			
th 1	3.00	3.61	3.24
th 2	4.04	3.92	4.20
Tmax 1	7.44	9.41	7.60
Tmax 2	4.58	5.02	4.35

¹⁾ th 1 : Time when the growth rate of primary growth stage of root reached to its maximum.
th 2 : Time when the growth rate of secondary growth stage of root reached to its maximum.
Tmax 1: Time when the growth rate of primary growth stage of top reached to its maximum.
Tmax 2: Time when the growth rate of secondary growth stage of top reached to its maximum.

$$K_3 = t_1 + 2 t_2$$

上記の式により求めた生長速度比の推移を Table 15 および Fig. 22 に示した。Fig. 19~21 に示したように、根重および茎葉重の生長速度は3品種とも7月17日~7月22日に第1次式より第2次式へ移行するため、Fig. 22 に示した生長速度比の曲線はこの時期にやや平滑でなくなるが、3品種とも生育初期より生育が進むに従い低下している。生長速度比の値は3品種間で差が認められ、生育の進展に伴う低下の傾向は生育後期になるほど顕著となったが、その程度は茎葉重が最大であった「モノホープ」は「カーベメガモノ」に比べ緩やかであり、茎葉重が最も低かった「ツモ」で最も急であった。

以上示した生長速度比における品種間差は Fig. 18 に示される logT/R における品種間差と符合するものであったが、新鮮重の生長速度比によって品種間差を表現出来ることは、品種の特性を論議するにあたり意義が大きいものと考えられる。

e. 生長解析による生育型

生長解析は一般に、乾物重の推移を取り扱うが³⁹⁾、本項では乾物重と生育パラメータについて検討する。本項については葉面積を測定した1981, 1982, 1984の3ヶ年の結果を解析した。

Fig. 23 には葉面積指数 (LAI) の推移を示した。LAI の実数値は年次間で異なるが、品種間の大小関係および推移のパターンは3ヶ年ともほぼ同様であったので1984年を例として示した。

6月下旬頃までの生育初期は「モノホープ」がやや高かったものの品種間差は小さかった。しかし、生育中期には品種間差が明確となり、「モノホープ」は

Table 15. Ratios of growth rates of top to that of root based on fresh weight

Date	Variety		
	Kawemegamono	Monohope	Zumo
May 30	6.64	6.81	6.48
June 10	5.27	5.49	5.09
20	4.22	4.47	4.02
30	3.35	3.63	3.15
July 10	2.50	2.85	2.28
20	1.58	1.88	1.39
30	1.23	1.37	1.04
Aug. 10	0.88	1.03	0.69
20	0.53	0.68	0.32
30	0.12	0.29	-0.12
Sep. 10	-0.38	-0.16	-0.66
20	-1.01	-0.71	-1.36
30	-1.84	-1.39	-2.32
Oct. 10	-2.96	-2.24	-3.63
20	-4.44	-3.26	-5.45

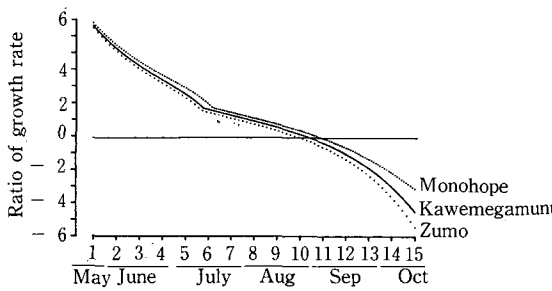


Fig. 22. Changes of ratios of growth rates of top to that of root based on fresh weight. The equations of curves are mentioned in the text page 117.

常に高く、「ツモ」は低く推移し、その差は1.0～1.5であった。図に明らかなように、LAIが最大となるのは、「モノホープ」が8月上旬、「カーベメガモノ」および「ツモ」が共に8月下旬であり品種間で差が認められた。年次間差も明らかで、3年間の中では3品種共に1981年が小さく、1982年は大きく推移した。

Fig. 24は葉数を示したものであるが、「カーベメガモノ」および「ツモ」はほぼ同じ葉数で推移し、「モノホープ」はこれら2品種に比べ常に少ない葉数で推移した。Fig. 23およびFig. 24から推測されるように、葉面積を葉数で除して求めた個葉当りの葉面積は全生育期間を通じて「モノホープ」が「カーベメガモノ」および「ツモ」に比べて明らかに大きい値を示した (Fig. 25)。即ち「モノホープ」は「カーベメガモノ」および「ツモ」に比べLAIは高く推移したが、これは主に個葉の面積が大きいことによる

ものであった。このように葉面積を維持する方法は品種により異なっていた。LAIは「モノホープ」が8月上旬、「カーベメガモノ」および「ツモ」が8月下旬頃に最大値を示したが (Fig. 23)、この期間はFig. 25に明らかなように個葉の面積も最大となる期間、即ち大型の葉が展開している期間であった。Fig. 25に示されるように個葉の面積は生育後期に小さくなることから生育後期の葉面積の低下 (Fig. 23) は後期に出葉する葉が小型になることによるものであった。

Fig. 26には純同化率 (NAR) の推移を1984年为例にして3品種の値を示した。NARは3品種共に生育初期は高かったが、生育とともに低下した。そして8月下旬～9月上旬に最低となり、以後10月上旬にかけてやや上昇する傾向がみられた。NARは葉面積が増加するのに伴い低下したが、これは主に群落状態における葉の相互遮蔽^{33,34)}によるもの

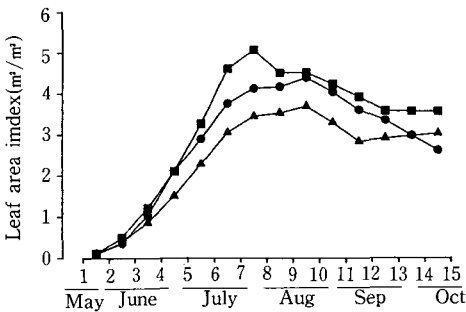


Fig. 23. Seasonal changes of leaf area index in three varieties in 1984.
●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

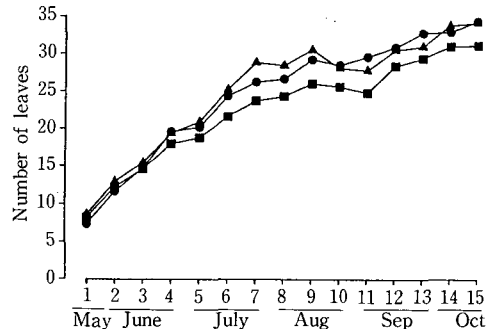


Fig. 24. Seasonal changes of number of leaves in three varieties in 1984.
●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

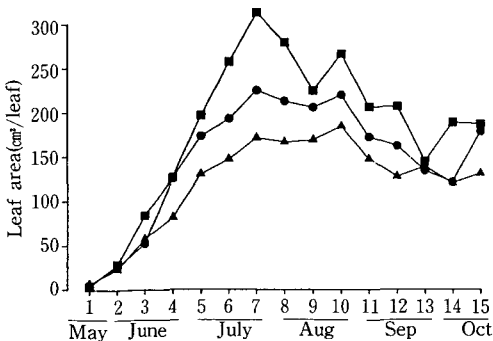


Fig. 25. Seasonal changes of leaf size in three varieties in 1984.
●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

AB

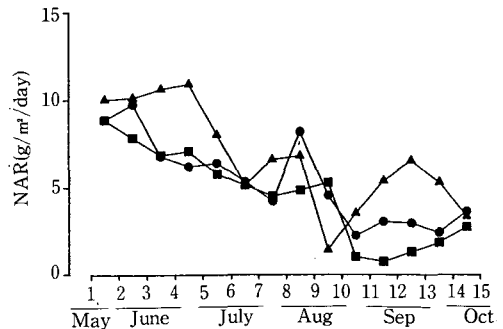


Fig. 26. Seasonal changes of net assimilation rate (NAR) in three varieties in 1984.
●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

と推察される。STORER *et al.*³³⁾ は、NAR は LAI が 2 に達する頃に相互遮蔽により急激に低下しはじめることを報告している。本研究においても NAR は LAI が最大となった後の 8 月上旬～9 月上旬迄低下を続け、生育の後期になりやや上昇した。これは葉の相互遮蔽の程度が低くなったことによるものと考えられる。NAR の品種間差は顕著ではなかったが、LAI の小さい「ツモ」は「モノホープ」に比べやや高い傾向がみられた。これは上記の理由と同様に、「ツモ」は比較的 LAI が小さく推移したため他の 2 品種に比べ相互遮蔽の程度が小さかったことによるものと考えられた。

個体群生育速度 (CGR) の時期的変化を Fig. 27 に示した。図に明らかなように、CGR は 8 月上旬頃までは 3 品種共に大きな差はみられずほぼ同様に上昇したが、NAR が最大となった後の 8 月下旬～9 月上旬に急激に低下し、品種により推移の様相が異なった。植物体全体の生育量は、CGR の大小に左右されるが、CGR は NAR と LAI の積によって表わされることから、CGR が LAI と NAR のいずれによって支配されるかが問題となる。そこで、次に CGR, LAI および NAR の相互関係を 3 品種について検討した。

まず、CGR と LAI の関係についてみると、Fig. 28a に明らかなように、LAI は 8 月中旬に最大となったが、そのほぼ 2 旬前の 7 月下旬頃まで、すなわち LAI が 3 を越える頃まではほぼ直線的な関係にあったが、その時期を越すと Fig. 28b に示されるように両者の関係は判然としなくなった。CGR と NAR の関係は、Fig. 29 に明らかなように、

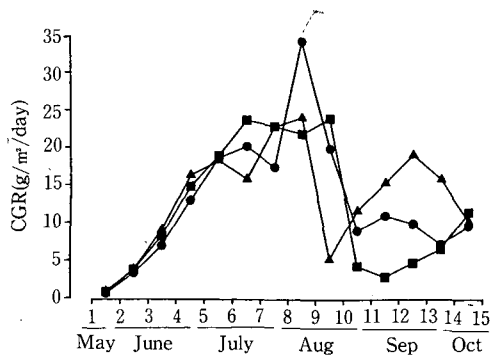


Fig. 27. Seasonal changes of crop growth rate (CGR) in three varieties in 1984.

●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

CGR と LAI がほぼ直線関係にある 8 月上旬迄は負の関係にあるが (Fig. 29a), それ以後は正の関係がみられた (Fig. 29b)。Fig. 28 および Fig. 29 から明らかなように、CGR は LAI が最大となるほぼ 2 旬前迄、すなわち LAI が約 3 に達する頃までは LAI に、それ以後は NAR に支配されていることが示された。このように LAI がある値に達するまでは CGR は増加し続け、それ以後は低下したが、これ

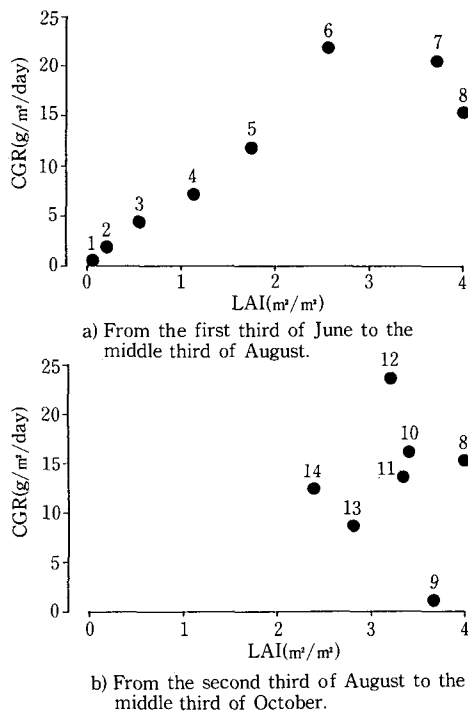


Fig. 28. Relations between leaf area index (LAI) and crop growth rate (CGR) in "Monohope" in 1981.

The numerals of dots mean sampling times.

- 1: First third of June
- 2: Middle third of June
- 3: Last third of June
- 4: First third of July
- 5: Middle third of July
- 6: Last third of July
- 7: First third of August
- 8: Middle third of August
- 9: Last third of August
- 10: First third of September
- 11: Middle third of September
- 12: Last third of September
- 13: First third of October
- 14: Middle third of October

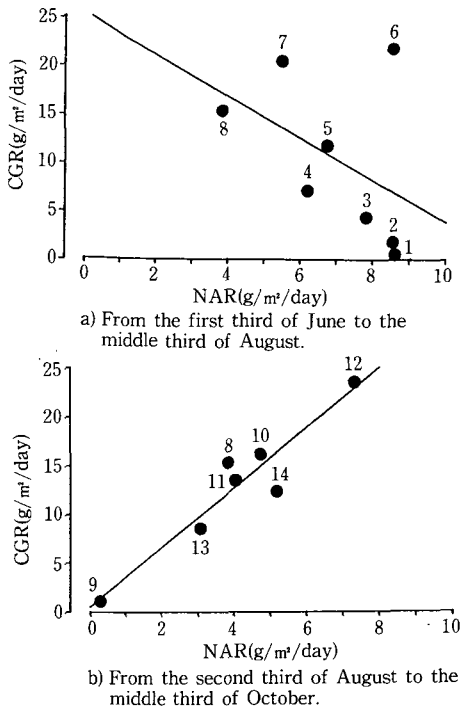


Fig. 29. Relations between net assimilation rate (NAR) and crop growth rate (CGR) in "Monohope" in 1981. The numerals of dots are same as in Fig. 28.

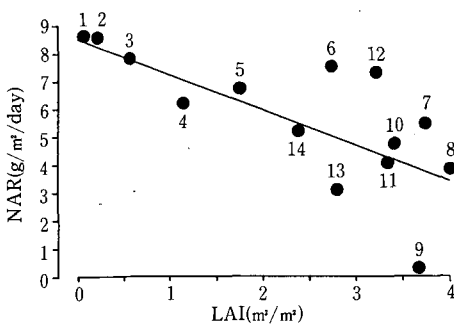


Fig. 30. Relations between leaf area index (LAI) and net assimilation rate (NAR) in "Monohope" in 1981. The numerals of dots are same as in Fig. 28.

は圃場条件下でLAIが大きくなると相互遮蔽が生じ、光合成速度が低下するほか、下層葉では呼吸による消費が同化量を上回ること^{20,33,34)}によるものと考えられる。Fig. 30に示すように、NARとLAI

との間には負の相関関係が存在し、LAIの拡大に伴ってNARは低下する。

CGRはLAIがある値に達する迄は上昇し、それ以後は低下することから、CGRが最大になるLAI、いわゆる最適葉面積指数(LAIopt)が存在することが示唆される。そこで、WATSON⁴⁸⁾の方法により最適葉面積指数(LAIopt)と最大個体群生育速度(CGRmax)を算出し、Table 16に示した。LAIoptは品種および年次により異なったが、3品種3年間では3.0~4.1の範囲内にあった。大島²⁴⁾はNARとLAIから計算したLAIoptは3~4程度であるが、全生育期間についての永年の調査によると4~6に維持することが日射利用の点で最も効率的であると推測した。泉山⁵⁾は播種期を変えて調査したところ、いずれの播種期でもLAIが3.5~4.0のときに最も高い乾物生産速度を得た。またTHEURER³⁶⁾は多数の報告をまとめた結果、8月のLAIが3~4であることがLAIoptに近いとした。テンサイにおけるLAIoptについてはなお論議のあるところであるが、本研究の結果は泉山⁵⁾およびTHEURER³⁶⁾の結果と一致するものであった。

LAIがLAIoptとなる前後について、LAIのtに関する2次回帰式を求め、これにより品種別にLAIoptに達する時期を推定した(Table 16)。3年間の平均でみると、3品種の中ではLAIoptが最も大きかった「モノホープ」では7月31日にLAIoptに達し、LAIoptが最も小さい「ツモ」では8月7日であった。LAIoptが最大の「モノホープ」が最も早期にLAIoptに達したことは同品種の葉部の生育が他品種に比べて旺盛なことを示すものである。

CGRについてその推移をより単純化するために1ヶ月間隔で算出し、3ヶ年の平均をFig. 31に示した。3品種の中では「モノホープ」がほぼ全生育期間を通じて他2品種より高い値を維持し、「カーベメガモノ」および「ツモ」はほぼ同様の推移を示した。これは植物体の全重では「モノホープ」が常に他2品種を上回ったことを示している。このように植物体の全重は「モノホープ」が「カーベメガモノ」および「ツモ」を越えたが、収穫対象部位である根部の重量では3品種共ほぼ同様であった(Table 3)。これは根部に対する乾物分配率(DR)⁵⁾の概念を導入することにより理解できる。すなわちFig. 32に示すように、DRは全生育期間を通じて「ツモ」が高く、次いで「カーベメガモノ」、「モノホープ」の順

Table 16. Optimum leaf area indices (LAI_{opt}) and maximum crop growth rates (CGR_{max})

Variety	r ¹⁾	Equation between CGR(y) and LAI(x)	LAI _{opt} (m ² /m ²)	CGR _{max} (g/m ² /day)	Date ²⁾
1981					
Kawemegamono	-0.774*	$y = 8.373x - 1.3350x^2$	3.14	13.13	Aug. 18
Monohope	-0.965**	$y = 8.481x - 1.1873x^2$	3.57	15.15	Aug. 13
Zumo	-0.649*	$y = 8.671x - 1.2265x^2$	3.53	15.33	Aug. 20
1982					
Kawemegamono	-0.979**	$y = 12.304x - 1.9091x^2$	3.22	19.82	Aug. 9
Monohope	-0.858**	$y = 10.566x - 1.5281x^2$	3.46	18.26	July 22
Zumo	-0.877**	$y = 11.963x - 1.9884x^2$	3.01	17.99	July 22
1984					
Kawemegamono	-0.899**	$y = 9.109x - 1.1112x^2$	4.10	18.67	Aug. 10
Monohope	-0.824**	$y = 8.766x - 1.1682x^2$	3.75	16.44	July 29
Zumo	-0.832**	$y = 11.585x - 1.8246x^2$	3.17	18.39	Aug. 4
Average for three years					
Kawemegamono	-0.911**	$y = 10.334x - 1.5507x^2$	3.33	17.22	Aug. 6
Monohope	-0.905**	$y = 9.668x - 1.2785x^2$	3.78	18.28	July 31
Zumo	-0.898**	$y = 10.676x - 1.6801x^2$	3.18	16.96	Aug. 7

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ Correlation coefficient between NAR and LAI.

²⁾ Date when LAI attained optimum value.

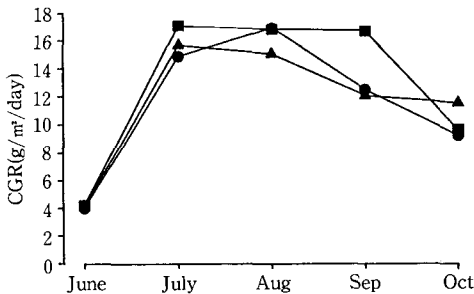


Fig. 31. Seasonal changes of crop growth rates (CGR) in three varieties, shown as means of 1981, 1982 and 1984.

●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

となった。CGR×DRとして表される個体群の根部生育速度 (CGR-r) をみると、「モノホープ」では生育前半における根部の生育は他の2品種に劣り、中期から後期に旺盛となった (Fig. 33)。一方「カーベメガモノ」と「ツモ」では茎葉重は同等で、共に「モノホープ」を下回ったが、最終収穫時の根重は「モノホープ」と同等であった。テンサイの収穫対象部位は根部であることを考えると、植物体全体の生育の中で根部の生育の占める割合の高い品種はいわば

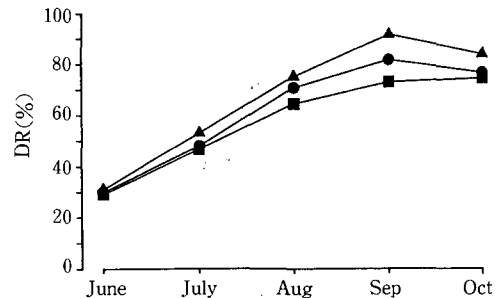


Fig. 32. Seasonal changes in the dry matter distribution ratio to roots (DR) in three varieties, shown as means of 1981, 1982 and 1984.

●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

効率の良い生育を示す品種と言える。従って、育種目標としては根部乾物重の大部分 (約74%) (Table 17) が糖分であることから、根部に対する分配割合の高い品種、例えば「ツモ」のように茎葉部の繁茂が比較的少ない品種を育成することが重要である。因に Table 16 に示したように「ツモ」は最も小さい LAI_{opt} であったが、収穫期の根重は「モノホープ」と同等であった。CGR は生育後半になると NAR と正の相関を示したが、LAI とは負の相関関係に

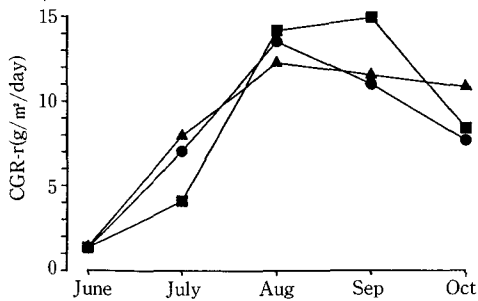


Fig. 33. Seasonal changes of crop growth rate for root (CGR-r) in three varieties, shown as means of 1981, 1982 and 1984. ●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

Table 17. Sugar content (%) in dry matter of root at the harvest time, Oct. 20

Year	Kawemegamono	Monohope	Zumo
1981	72.5	73.5	73.1
1982	73.8	75.2	74.6
1984	73.0	74.8	74.7
Average	73.1	74.5	74.1

Analysis of variance			
Source	df	ms	F-value
Variety	2	1.5847	20.20**
Year	2	1.7857	22.76**
Error	4	0.0785	
Total	8	0.8818	

** : Significant at the 1% level.

あったことから、CGR が最大となる時期、すなわち LAIopt となる時期以後には地上部が過繁茂にならない品種が望まれる。

B. 生育型と根重および根中糖分の関係

2年生植物であるテンサイの1年目は栄養生長期であり、地上部および地下部共に生育相を外観的に明瞭に示すことは困難である。筆者らはテンサイの生育に生長曲線を当てはめることにより、生育相を見いだす試みをした^{13,14,15)}。生育の品種間差については根重、根中糖分、茎葉重の生長曲線式、あるいは回帰式の係数による結果を報告した⁹⁾。

本節では、根重および根中糖分の増加過程における相対的な関係についてその品種間差を明らかにするとともに、生育相、およびその転換期について解

析を試みた。

1. 材料および方法

a. 実施年

1985, 1986年

b. 実施場所

帯広市上清川町

c. 土性土質

火山性砂壤土

d. 供試品種

生育の品種間差を調査するために特性の差が顕著である次の3品種を供試した。糖分の高い品種として「モノエース」、根重の高い品種として「Kawe-J 434」、根重が顕著に高いものとして家畜ビートの「シュガーマンゴールド」を用いた。

e. 耕種概況

播種月日 1985年：3月26日, 1986年：3月25日

移植月日 1985年：5月8日, 1986年：5月7日

施肥量 S 121 : 145 kg/10 a

要素量 N-P₂O₅-K₂O : 16.0-17.4-16.0 kg/10 a

畦幅 : 60 cm, 株間 : 24 cm, 株立本数 : 6,944 本/10 a

栽培方法は紙筒移植法とし、中耕・除草および病害虫防除方法は一般慣行法によった。

f. 調査方法

抜取りは5月30日より10日間隔に10月20日迄15回実施した。抜取り本数は1品種につき、1区当たり30個体, 5反復, 計150個体である。

2. 試験結果および考察

収穫時の調査結果によると、根重、根中糖分で品種間差が大きく、糖量、茎葉重、全重では品種間差がみられなかった (Table 18)。

Fig. 34 に3品種の2ヶ年平均の根重およびその生長曲線を示した。根重は生育が進むにつれて品種間差が拡大した。生長曲線については、第1次、第2次根重式ともに理論最高根重は、収穫時の根重が最も大きかった「シュガーマンゴールド」が最も高く、収穫時の根重の小さかった「モノエース」は理論最高根重も最も低かった (Fig. 34)。生長曲線の曲率については根重の小さい「モノエース」は根重型の「Kawe-J 434」や「シュガーマンゴールド」に比べて小さく、生長曲線の勾配が緩やかであることが示された。根中糖分は各時期共品種間差が明らかであったが、上昇の様相は3品種共同様であった (Fig.

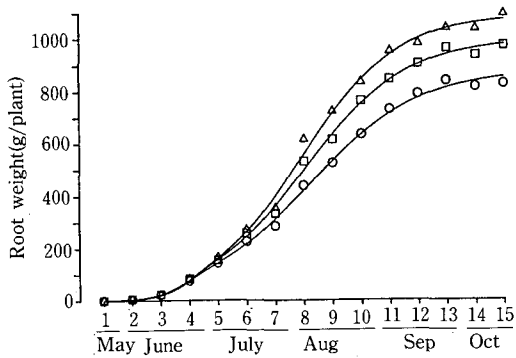


Fig. 34. Seasonal changes of root fresh weight in three varieties, shown as means of 1985 and 1986.

○: Monoace, □: Kawe-J 434, △: Sugar mangold.
Growth curves were expressed by the following formulae.

Monoace;
Primary curve:
 $\log \frac{R}{186-R} = -2.9467 + 0.6903 t$
Secondary curve:
 $\log \frac{R}{875-R} = -1.8371 + 0.2251 t$
tc: July 9.

Kawe-J 434;
Primary curve:
 $\log \frac{R}{203-R} = -2.9639 + 0.6911 t$
Secondary curve:
 $\log \frac{R}{993-R} = -1.9557 + 0.2445 t$
tc: July 8.

Sugar mangold;
Primary curve:
 $\log \frac{R}{217-R} = -3.2240 + 0.7351 t$
Secondary curve:
 $\log \frac{R}{1081-R} = -2.0584 + 0.2604 t$
tc: July 9.

35). 品種間差は7月30日迄の初期, および9月10日以後の後期の上昇勾配において明らかであった。上昇勾配はいずれの時期も「モノエース」が高く, 根中糖分の低い「シュガーマンゴールド」は最も緩やかであり, 「Kawe-J 434」は両品種の間であった。9月10日より10月20日迄の根中糖分の上昇勾配は, Table 19 に示したように, 根中糖分を抜取り回数の関係で表せば「モノエース」が1.095, 「Kawe-J 434」が1.003, 「シュガーマンゴールド」が0.732であり, この時期では「モノエース」および「Kawe-J 434」の根中糖分は10日間で1%上昇していた。

以上のように, 根重の生育はロジスチック曲線で表すことができたが, 根中糖分の上昇過程は単純な直線または曲線で表すことができなかった。根中糖分の上昇過程は, いずれの品種も Fig. 35 に示したように, 3期に区分される推移を示し, その転換期は7月下旬および9月上旬であった。

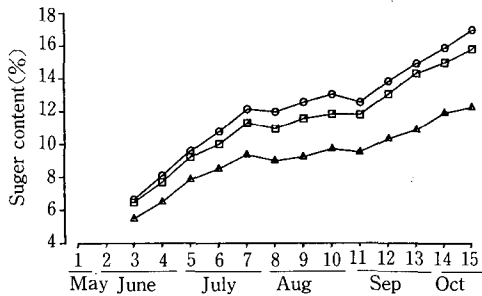


Fig. 35. Seasonal changes of sugar content in three varieties, shown as means of 1985 and 1986.

○: Monoace, □: Kawe-J 434, △: Sugar mangold.

Table 18. Means of five characters at the harvest time, Oct. 20. in 1985 and 1986

Variety	Root weight		Sugar content		Sugar weight		Top weight		Whole plant weight	
	t/ha	Rel. ¹⁾	%	Rel.	t/ha	Rel.	t/ha	Rel.	t/ha	Rel.
Monoace	57.26	100	17.10	100	9.69	100	66.60	100	123.84	100
Kawe-J 434	67.36	118	15.95	93	10.73	111	59.90	90	127.28	103
Sugar mangold	75.56	132	12.40	73	9.34	96	55.00	83	130.54	105
Variance analysis										
Source of variation	D. F.		F-value							
Variety	2		136.97**	360.20**	17.11		13.32		13.38	
Year	1		0.11	107.69	19.81		31.00		99.84	

** : Significant at the 1% level. ¹⁾ Relative value compared to Monoace.

Table 19. Regression equations¹⁾ of sugar content (y: %) to sampling time (t²⁾).

Growing period	Variety	Regression equation	Correlation coefficient
June 20–July 30	Monoace	$y = 2.508 + 1.400 t$	0.9994**
	Kawe-J 434	$y = 2.868 + 1.224 t$	0.9970**
	SMG ³⁾	$y = 2.583 + 0.995 t$	0.9936**
July 30–Sep. 10	Monoace	$y = 10.932 + 0.182 t$	0.7106
	Kawe-J 434	$y = 9.890 + 0.190 t$	0.8003
	SMG	$y = 8.512 + 0.100 t$	0.5784
Sep. 10–Oct. 20	Monoace	$y = 0.723 + 1.095 t$	0.9986**
	Kawe-J 434	$y = 1.081 + 1.003 t$	0.9910**
	SMG	$y = 1.558 + 0.732 t$	0.9917**

** : Significant at the 1% level.

¹⁾ Calculated from the average of the results in 1985 and 1986.

²⁾ Sampling was practiced every ten days. The first sample was taken on May 30.

³⁾ Sugar mangold (SMG), fodder beet.

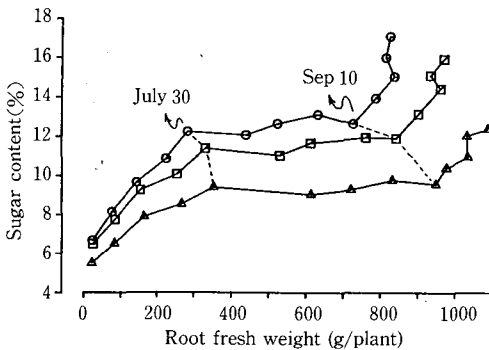


Fig. 36. Seasonal changes in relation between root fresh weight and sugar content in three varieties, shown as means of 1985 and 1986.

○: Monoace, □: Kawe-J 434,
△: Sugar mangold.

次に根重と根中糖分の生育時期別に相対的な関係を見ると、Fig. 36 に示すように、上記に述べた3期がより明確に区別された。すなわち、いずれの品種も生育初期より7月30日迄は根重も根中糖分も共に増加し、根重の増加に対する根中糖分の上昇程度には品種間差がみられ、根中糖分の高い「モノエース」が最も高かった。次に7月30日より9月10日迄は根部の肥大が旺盛であり、いずれの品種も根中糖分の上昇はほとんど見られない。9月10日以後10月20日の収穫期までの根中糖分の上昇は再び急となったが、根重の増加はむしろ停滞した。この時期の根重の増加に対する根中糖分の上昇程度は生育初期と同様に品種間差が明らかで、モノエースが0.0330で最も大きく、「シュガーマンゴール

ド」が最も低く0.0201であった (Table 20)。

以上のように、栄養生長期である1年目のテンサイの生育には、生育の転換期とみられる時期が見いだされた。この生育の転換をもたらす要因は種々考えられるが、本報では環境要因としての気象、特に気温との関係を検討するため試験実施年の旬別平均気温の推移をFig. 37 に示した。上記に示した生育の転換がもたらされた7月下旬および9月上旬はいずれも旬平均気温が18~19℃となる時期であり、この気温を境に生育相が転換していることが示唆された。根重の肥大が旺盛で、根中糖分の上昇が停滞した7月下旬~9月上旬の平均気温は18~21℃の範囲にあった。

気温と根部の生長について ULRICH⁴¹⁾ は19℃で最も旺盛となるとし、MÜLLER¹⁹⁾ も19~20℃の根部の肥大は盛んであるとしている。また北村⁹⁾ は21℃付近で乾物増加量が最大となることを示している。

根中糖分については ULRICH⁴¹⁾ は生育前期の気温が19℃、後期は13.7℃で最高の根中糖分を示したとしている。

生育の転換をもたらす要因として本研究でとりあげた気温の18~19℃は上記の報告とはほぼ一致した。このように平均気温が18~19℃となる7月下旬および9月上旬に根部の肥大と根中糖分の上昇との関係において生育相の転換が生じるものと推察された。

Table 20. Regression equations¹⁾ of sugar content (y: %) to root fresh weight (x: g/plant)

Growing period	Variety	Regression equation	Correlation coefficient
June 20—July 30	Monoace	$y = 6.3934 + 0.0208x$	0.9956**
	Kawe-J 434	$y = 6.3875 + 0.0154x$	0.9878**
	SMG ²⁾	$y = 5.5043 + 0.0116x$	0.9838**
July 30—Sep. 10	Monoace	$y = 11.7227 + 0.0016x$	0.6891
	Kawe-J 434	$y = 10.7497 + 0.0014x$	0.7383
	SMG	$y = 9.0473 + 0.0005x$	0.4386
Sep. 10—Oct. 20	Monoace	$y = -11.3436 + 0.0330x$	0.8334
	Kawe-J 434	$y = -12.4683 + 0.0289x$	0.9291*
	SMG	$y = -9.3381 + 0.0201x$	0.9348*

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ Calculated from the average of the results in 1985 and 1986.

²⁾ Sugar mangold (SMG), fodder beet.

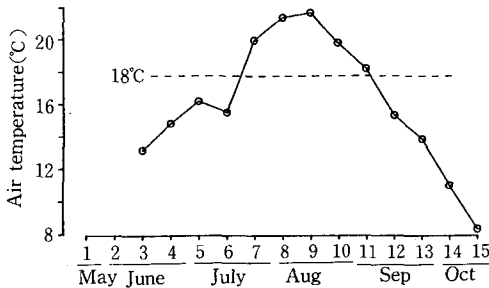


Fig. 37. Seasonal changes of air temperature in Obihiro, shown as means of 1985 and 1986.

Air temperatures are expressed as means of every ten-days of each month.

IV. 生育の年次間変動と生育量の予測

テンサイは寒地作物であり、北海道においては水稻や豆類に比べて収量の安定性が高いといわれている¹⁰⁾。即ち、2年生植物であるテンサイは、砂糖原料としての収穫部位は1年目の根部であり、栄養生長期における生産物のみが収穫の対象となる。従って、寒地における短い農耕期間中に栄養生長と生殖生長の両過程を経る水稻や豆類等に比べて、環境条件による影響が少ないと考えられる。しかしながら、年次、場所により生ずる根重や根中糖分の変動は必ずしも小さいとはいえない。本章では、テンサイの年次間変動における品種間の関係を調査すると共に、変動をもたらす要因と生育との関係から、収穫期における生育量の予測を試みた。

A. 生育の年次間変動

テンサイの生育において年次間変動をもたらす要因として環境条件と栽培条件の両者が挙げられる。テンサイの生育の年次間変動や種々の環境条件に対する反応、あるいは地域適応性に関する報告は多いが^{10,17,28,32,38,45)}、その多くは年次間の変動要因の中に環境および栽培条件による影響が混同されている。気象条件がテンサイの生育に及ぼす影響に関して品種間差異を明らかにすることは、島本ら³²⁾が地域性との関連において、また林ら²⁾が品種比較試験における気象要素の影響について、それぞれ論じているが、気象要素のみを対象とする品種間差についての報告は殆どない。そこで本研究は毎年同一の圃場で同一の栽培法を実施することにより、変動の要因から栽培条件による影響をできるだけ排除して、気象要素のみによる影響を正確に検定できるように配慮した。すなわち、圃場および栽培条件を毎年できるかぎり斉一にし、特性の異なる3品種を供試して主要な農業形質の年次間変動と、変動要因としての気象条件の影響について、品種との関連において解析を試みた。

1. 材料および方法

供試材料および栽培方法はIII-A.と同様である。気象資料は1975年から1982年まで、並びに1984年の帯広測候所の観測値を使用した。

2. 試験期間中の気象条件

Fig. 38の本試験に実施した9年間の生育期間中の気温、日照時間、降水量の3気象要素について、実施圃場と同じ地区にある帯広測候所の観測値より計算した旬別平均値および標準偏差を示した。気温

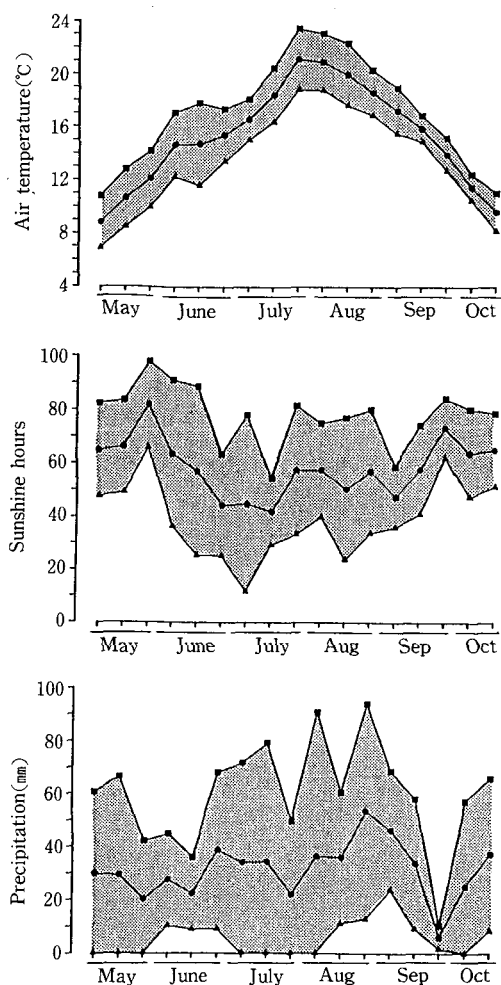


Fig. 38. Seasonal changes of air temperature, sunshine hours and precipitation, shown as means from 1975 to 1982 and 1984. Central line (—●—) shows means and standard deviations are expressed in shaded area.

は7月下旬をピークとする推移を示した。標準偏差は6月中旬でやや大きく、以後9月上旬まではほぼ一定であった。9月中旬以後は年次間差は小さかった。このように気温については生育初期は中期に比べて変動が大きかった。日照時間については6月～8月の変動が他の時期に比べて大きかった。降水量の標準偏差は、5月下旬から6月中旬が比較的小さく、特に9月下旬は特異的な寡雨により偏差が小さくなっているが、その他の時期は変動が大きいといえよう。次に気温、日照時間、降水量の年次間変

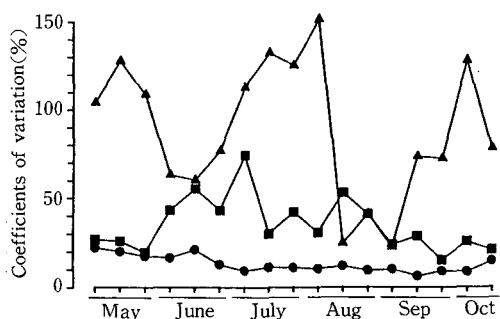


Fig. 39. Seasonal changes of coefficient of variation of air temperature, sunshine hours and precipitation during nine years, from 1975 to 1982 and 1984.

●: Air temperature, ■: Sunshine hours, ▲: Precipitation.

動をみるため、5月上旬から10月中旬までの試験実施期間中における旬別の変動係数を Fig. 39 に示した。気温の変動係数は、5月上旬から6月中旬までが20%前後でやや大きかったが、他の時期は10%前後であり、3要因の中で最も変動が小さかった。日照時間の変動係数は、20～70%で気温より大きく、時期別にみると6月～7月が比較的大きな変動を示していた。降水量は他の2要因に比べ変動係数は顕著に大きく、且つ時期別の差も大きかった。すなわち、5月、7月、8月上旬および10月上旬は100%以上と高く、8月中旬から9月上旬は20～40%で他の時期に比べきわめて低かった。

以上記したように、5月の気温、6月の気温および日照時間の標準偏差と変動係数が他の時期に比べて大きかったことは、この時期に初期生育の時期を経るテンサイの生育に影響を及ぼしていることが推察される。

3. 結果および考察

a. 生育の推移と年次間変動

Fig. 40a に根重の生育について、各調査日毎の年間の平均値をグラフに示した。供試した根重の品種間差は Table 21 に示したように7月10日～8月20日までにのみ有意差が認められた。年次間差は全生育期間を通じて高い有意差を示した。生育期間中における年次間の変動係数を Fig. 40b に示したが、3品種とも同様な傾向であり、初期より7月20日までは、それ以後に比べると顕著に高く、生育前半の変動が大きかった。5月下旬～6月上旬の値がその後後に比べてやや低くなっているが、この時期は移

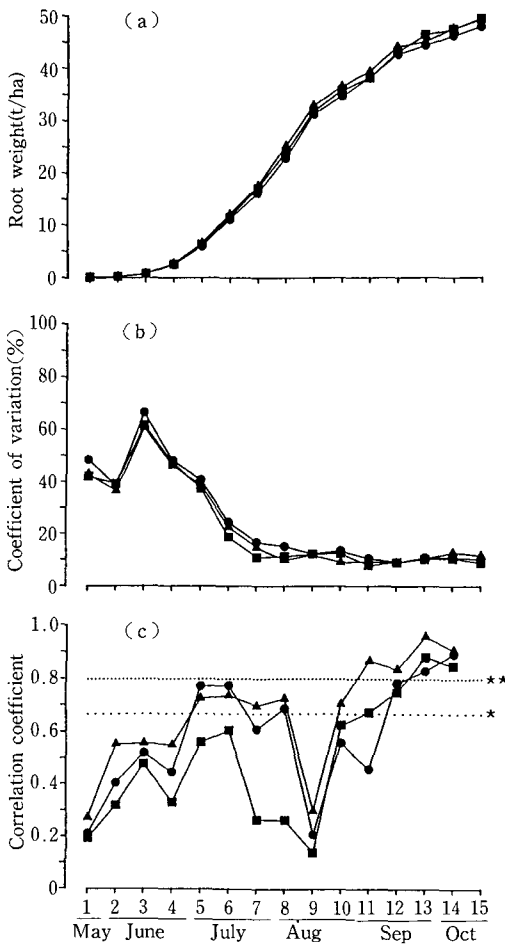


Fig. 40. Seasonal changes of root weight.
a) Actual values, b) Coefficients of variation and c) Correlation coefficients between the values on 20th of Oct. and respective sampling times in three varieties during nine years, from 1975 to 1982 and 1984.

*: $r=0.666$, Significant at the 5% level.

** : $r=0.798$, Significant at the 1% level.

● : Kawemegamono, ■ : Monohope, ▲ : Zumo.

植後まだ1ヶ月程度であり、本圃における生育環境から受ける影響がさほど大きくなかったためと考えられる。品種間では「モノホープ」が他の2品種に比べてやや低い値で推移した。Fig. 40cは最終調査日である10月20日と各調査日間の測定値の相関係数を示したものである。8月中旬までは「カーベメガモノ」および「ツモ」は同様の傾向を示し、7月10、20日および8月10日には有意性が示されたが、

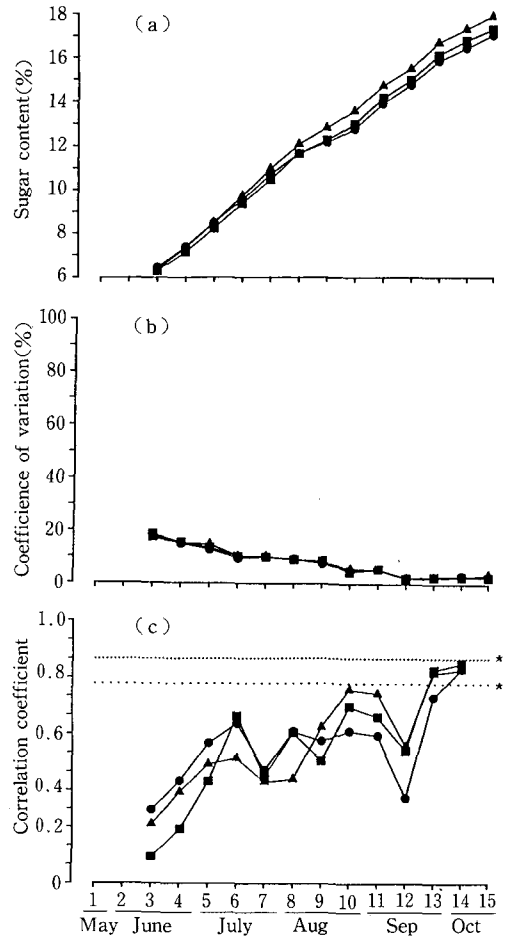


Fig. 41. Seasonal changes of sugar content.

a) Actual values, b) Coefficients of variation and c) Correlation coefficients between the values on 20th of Oct. and respective sampling times in three varieties during nine years, from 1975 to 1982 and 1984.

*: $r=0.666$, Significant at the 5% level.

** : $r=0.798$, Significant at the 1% level.

● : Kawemegamono, ■ : Monohope, ▲ : Zumo.

「モノホープ」の相関係数は低く推移した。

根中糖分は生育初期より品種間差および年次間差ともに有意性の高い形質であった(Table 21)。年次間の変動は3品種とも同様であり、生育が進むにつれて変動は小さくなった(Fig. 41b)。収穫期(10月20日)との相関は3品種ともいずれの時期も低く、「モノホープ」および「ツモ」は9月下旬、「カーベメガモノ」は10月上旬になってようやく高い値が示

Table 21. F-values in variance analysis for variety and year in performance trials during nine years

Source of variation	Root weight		Sugar content		Sugar weight		Top weight		T/R ratio	
	Variety	Year	Variety	Year	Variety	Year	Variety	Year	Variety	Year
D. F.	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8
Date										
May 30	0.20	51.17**	—	—	—	—	2.85	128.57**	0.25	34.73**
June 10	0.79	68.06**	—	—	—	—	4.53*	71.60**	3.53	9.06**
20	1.97	183.91**	3.58	268.49**	0.74	277.07**	5.17*	73.36**	5.14*	23.13**
30	2.39	73.09**	4.87*	105.05**	2.61	106.27**	3.37**	32.67**	3.30	102.54**
July 10	3.64*	69.42**	8.63**	161.18**	3.47	116.43**	6.07*	23.16**	3.92*	60.68**
20	4.02*	36.15**	10.82**	101.91**	5.63*	41.39**	21.96**	20.06**	12.97**	14.80**
30	10.86**	38.49**	18.98**	120.90**	13.59**	59.00**	24.59**	15.48**	15.98**	8.22**
Aug. 10	9.49**	18.56**	34.61**	210.70**	19.31**	51.25**	47.25**	15.13**	38.20**	14.68**
20	4.79*	28.89**	69.79**	183.92**	29.17**	68.84**	30.11**	12.92**	36.84**	14.20**
30	1.91	11.33**	44.03**	35.77**	12.26**	18.99**	41.41**	16.74**	49.15**	13.35**
Sep. 10	2.09	13.86**	48.87**	53.70**	14.22**	21.91**	28.58**	11.01**	55.35**	10.01**
20	1.36	9.38**	76.86**	16.94**	8.05**	11.34**	43.15**	16.26**	62.82**	18.76**
30	3.37	21.55**	73.74**	19.28**	7.99**	26.95**	83.10**	26.74**	61.81**	19.91**
Oct. 10	1.57	22.36**	77.62**	28.34**	8.26**	28.81**	52.05**	16.55**	50.50**	14.36**
20	1.76	20.44**	38.26**	15.55**	7.17**	23.49**	92.24**	21.88**	76.73**	15.61**

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

された (Fig. 41c)。これは後に記すように根中糖分は降水量との関係が強い形質であり、松崎ら¹⁷⁾も指摘するように収穫期直前の気象要素に大きく影響されると考えられる。

糖量 (Fig. 42a)は根重とほぼ同様の推移であったが、品種間差は根中糖分の影響が加わり、7月中旬以後収穫期にいたるまで有意性が高かった (Table 21)。収穫期との相関も根重と同様であった (Fig. 42c)。

茎葉重はほぼ全生育期間を通じて、品種間差および年次間差の大きい形質であった (Fig. 43a, b, Table 21)。年次間の変動係数は、生育初期より中期にいたるまで次第に小さくなり、以後やや大きくなる傾向であった (Fig. 43b)。茎葉の生育が最も旺盛な時期における年次間の変動は他の生育時期に比べて小さかった。収穫期との相関は7月20日に3品種とも有意性がみられた。その後「ツモ」は9月10日より、「カーベメガモノ」および「モノホープ」は9月30日より収穫期にいたるまで有意性が示された。

b. 収穫期における年次間変動

10月20日の最終調査日における9年間の変動については、分散分析の結果、品種間に根重では有意差がみられなかったが、根中糖分、糖量、茎葉重ではいずれの形質も1%水準で有意差が認められた (Table 21)。年次間差はいずれの形質も1%水準で有意性を示した。これは年次による生育環境の影響、即ち本試験では気象条件による影響において年次間差が大きいことを意味するものであろう。Fig. 44は、根重、根中糖分、糖量、茎葉重について供試した3品種の10月20日における年次間の変動を示したものである。根重では品種間差に有意差がみられず、年次により品種の順位は一定していなかったが、根中糖分、茎葉重では9年間とも品種の順位は一定で、かつ品種間差も明確で、根重に比べて品種間の大小関係は安定していた。糖量については1975年および1978年はその他の年次と異なる順位であったが、品種間相互の関係は根重よりも安定していた。

茎葉部を構成する葉身、葉柄、冠部の3部位別に9年間の平均値をみると、Table 22に示すように3部位ともに「モノホープ」が最も高く、「ツモ」が最

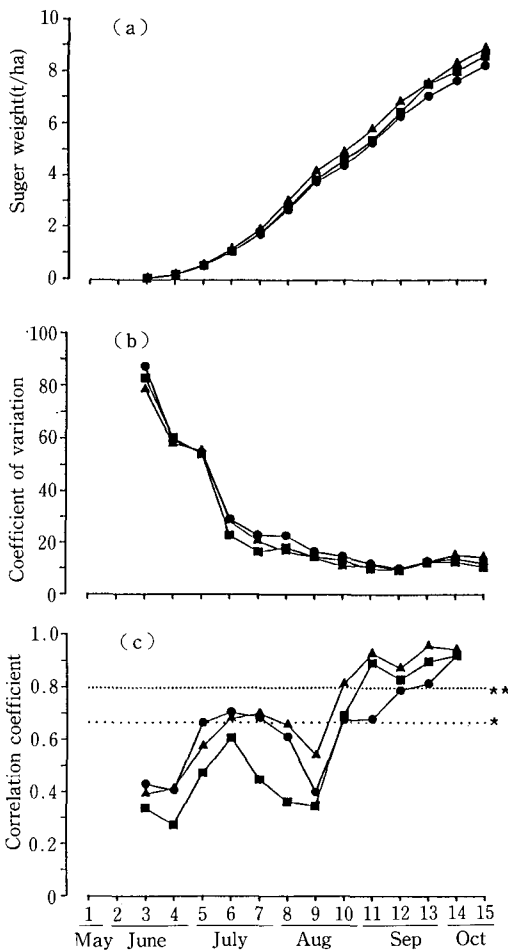


Fig. 42. Seasonal changes of sugar weight.
 a) Actual values, b) Coefficients of variation and c) Correlation coefficients between the values on 20th of Oct. and respective sampling times in three varieties during nine years, from 1975 to 1982 and 1984.

*: $r=0.666$, Significant at the 5% level.

** : $r=0.798$, Significant at the 1% level.

●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

も低く、その差には有意性が認められた。なかでも品種間差が最も大きかったのは葉柄重であり、「モノホープ」は「ツモ」の1.7倍であった。「モノホープ」は3倍体であり、「ツモ」は2倍体であることから、倍数性の相違¹⁰⁾が上記の茎葉各部位の品種間差をもたらす要因の一つとなっていることも考えられる。このように茎葉部を構成する3部位の重量には品種間差が明瞭であったが、Table 23に示すよ

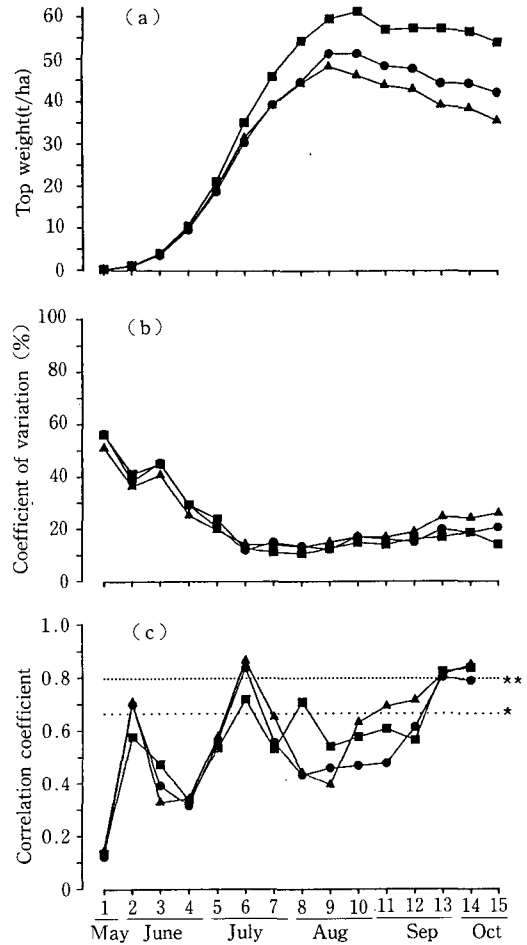


Fig. 43. Seasonal changes of top weight.

a) Actual values, b) Coefficients of variation and c) Correlation coefficients between the values on 20th of Oct. and respective sampling times in three varieties during nine years, from 1975 to 1982 and 1984.

*: $r=0.666$, Significant at the 5% level.

** : $r=0.798$, Significant at the 1% level.

●: Kawemegamono, ■: Monohope, ▲: Zumo.

うに茎葉重に占める各部位の重量割合については品種間差がみられなかった。これはテンサイの地上部各部位の重量は品種によって異なるが、各部位の重量割合は品種によっては変わらないことを意味すると考えられる。

年次間変動を示す指標として各品種について10月20日における変動係数をTable 24に示した。表に明らかなように、3品種ともに根中糖分の変動係

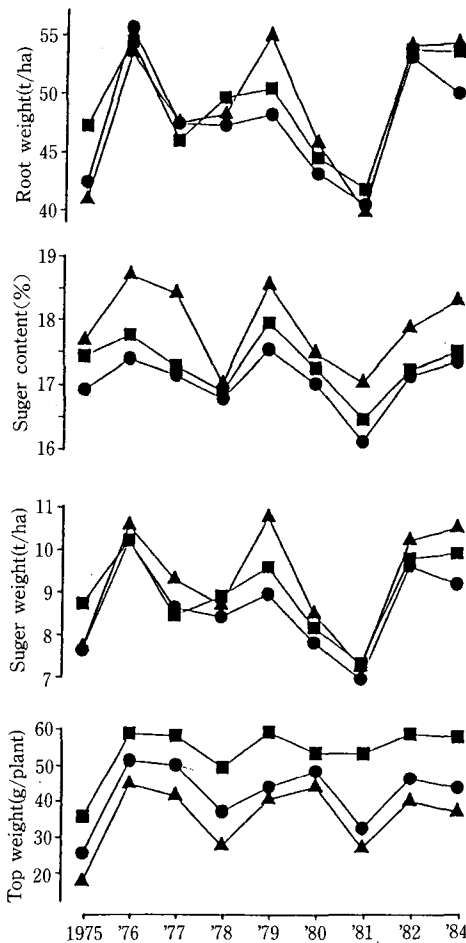


Fig. 44. Yearly changes of root weight, sugar content, sugar weight and top weight in three varieties.

● : Kawemegamono, ■ : Monohope, ▲ : Zumo.

数が最も小さく、他の形質に比べると安定していた。根重は茎葉重に比べ、いずれの品種でも変動係数は1/2程度となり、茎葉重よりも安定していた。茎葉重は品種を区別する特性としては安定していたものの年次間変動は大きい形質であった。

品種別に変動係数をみると、いずれの形質でも「モノホープ」が最も小さく、「ツモ」が最も大きかった。したがって「モノホープ」は他の2品種に比べてより安定した生育を示す品種といえる。三分一^{28,29)}によれば、「モノホープ」と遺伝的に近縁関係にある「モノヒカリ」は場所または栽培方法による反応について他の栽培品種に比べて安定していた。これは「モノホープ」は環境の変動に対して比

Table 22. Mean weights of laminae, petioles and crowns at harvest time, Oct. 20 during nine years

Variety	Laminae (g/plant)	Petioles (g/plant)	Crowns (g/plant)
Kawemegamono	197	272	123
Monohope	251	375	132
Zumo	182	218	97

Analysis of variance

Source of variation	D. F.	F-value	F-value	F-value
Variety	2	26.33**	38.51**	7.49**
Year	8	21.40**	13.22**	3.20*

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 23. Percentages of laminae, petioles and crowns to top fresh weight at harvest time, Oct. 20. during nine years

Variety	Laminae	Petioles	Crowns
Kawemegamono	33.3	45.9	20.8
Monohope	33.0	49.5	17.4
Zumo	36.5	44.0	19.5

Analysis of variance

Source of variation	D. F.	F-value	F-value	F-value
Variety	2	2.08	3.12	3.19
Year	8	10.79**	4.80**	10.20*

** : Significant at the 1% level.

Table 24. Coefficients of variation (%) for four characters at harvest time, Oct. 20. during nine years

Character	Kawemegamono	Monohope	Zumo
Root weight	12.6	9.3	15.7
Sugar content	2.5	2.5	3.6
Sugar yield	12.0	10.5	14.3
Top weight	20.8	14.3	26.2

較的安定性を有することを示唆している。

BEISS and WINNER¹⁾は、ドイツ(旧西ドイツ)のてん菜研究所において16年間にわたり毎年同一品種を同一栽培条件で試験した結果、各形質の変動係数について、本研究による結果に近い値を報告している。すなわち、根中糖分の変動係数は4.9%で

他の形質に比べて最も小さく、根重の変動係数は8.0%で茎葉重の26.4%に比べて顕著に小さかった。これらは本試験の結果とほぼ一致している。

c. 年次間変動と気象要素との関係

試験方法の項で記したように、本試験は一筆の圃場を4等分して、毎年同一の栽培条件下で実施したものである。したがって、本試験における年次間変動の大部分は気象条件によりもたらされると考えられるので、変動要因としての気象条件と諸形質の関係を検討した。なお、気温は日平均気温、日照時間および降水量は旬または月別の合計値を用いた。言うまでもなく気温、日照時間、降水量の3気象要素は互いに独立した要因ではないので、ある形質について各気象要素との相関をみる場合には、他の2要因を固定した偏相関係数によって検討した。以下相関はこの偏相関を意味することとする。

月別の気象要素と10月20日における各形質との相関をTable 25~28に示した。根重ではいずれの品種でも各月の気温および日照時間とは有意な相関がみられなかった(Table 25)。降水量とは3品種と

もに負の相関を示す月が多く、「ツモ」でこの傾向はより明らかであった。3品種とも特に8月で負の高い相関がみられ、8月の多雨は収穫期の根重を低下させた。

根中糖分では3品種ともに気温、日照時間のいずれについても有意な相関はみられなかったが、降水量では「カーベメガモノ」、「モノホープ」で8月に高い負の相関がみられ、8月の多雨は収穫期の根中糖分の低下と関連していた(Table 26)。

糖量については、3品種とも根重および根中糖分で負の相関がみられた8月の降水量について、やや高い負の相関が認められた(Table 27)。

茎葉重では気温について「カーベメガモノ」および「ツモ」が9月、「モノホープ」が7月にいずれも有意性があり、それぞれの時期の高温は収穫期の茎葉重の低下と関係していた(Table 28)。日照時間とは「カーベメガモノ」および「モノホープ」が5月に正の相関を示し、生育初期の多照は収穫期の茎葉重の増加と関連があった。降水量とは生育初期から収穫期にいたるまで3品種ともに全て負の相関を示

Table 25. Partial correlation coefficients between root weight at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	.202	.220	.015	.420	.190	.119	.216	.183	-.237
June	.007	.200	.236	.122	.013	.241	-.462	-.312	-.638
July	-.226	-.121	-.200	.607	.489	.281	.072	.138	-.273
Aug.	.167	.400	-.118	-.418	-.315	.025	-.754*	-.795*	-.759*
Sep.	-.388	-.316	-.401	-.351	-.256	-.123	-.224	-.296	-.324
Oct.	-.145	-.354	.012	-.138	-.048	.066	.007	.291	.252

*: Significant at the 5% level.

Table 26. Partial correlation coefficients between sugar content at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	.273	.283	-.062	-.333	-.406	-.003	-.451	-.463	-.265
June	.385	.348	.087	-.039	-.184	-.142	-.636	-.464	-.742
July	-.382	-.552	-.460	.279	.437	.421	.035	.270	.201
Aug.	-.541	-.577	-.471	.151	.434	.170	-.915**	-.787*	-.690
Sep.	-.240	-.042	.108	-.426	-.475	-.382	-.303	-.093	.198
Oct.	-.136	-.205	-.045	-.277	-.470	-.344	.044	.072	-.086

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 27. Partial correlation coefficients between sugar weight at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	.207	.228	-.018	.300	.077	.105	.082	.046	-.259
June	.060	.249	.214	.096	-.034	.151	-.514	-.375	-.687
July	-.280	-.250	-.291	.572	.507	.339	.067	.177	-.173
Aug.	.071	.209	-.255	-.372	-.165	.092	-.799*	-.816*	-.777*
Sep.	-.372	-.275	-.298	-.377	-.319	-.184	-.237	-.258	-.204
Oct.	-.147	-.339	.002	-.173	-.149	-.034	.013	.264	.193

*: Significant at the 5% level.

Table 28. Partial correlation coefficients between top weight at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	-.141	-.478	.371	.781*	.857*	.422	-.463	-.738	-.634
June	-.160	-.088	.011	.209	.129	.054	-.412	-.446	-.536
July	-.263	-.821*	-.583	-.193	.420	.075	-.832*	-.921**	-.711
Aug.	-.442	-.569	-.635	-.189	.175	-.216	-.196	-.166	-.586
Sep.	-.835*	-.748	-.796*	-.370	-.311	-.653	-.607	-.332	-.629
Oct.	.548	.526	.410	-.029	-.109	-.319	-.505	-.312	-.560

*: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 29. Partial correlation coefficients between weight of laminae at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	-.141	-.478	.371	.781	.857*	.422	-.463	-.738	-.634
June	-.160	-.088	.011	.209	.129	.054	-.412	-.446	-.536
July	-.263	-.821*	-.583	-.193	.420	.075	-.832*	-.921**	-.711
Aug.	-.442	-.569	-.635	-.189	.175	-.216	-.196*	-.166*	-.586
Sep.	-.835*	-.748	-.796*	-.370	-.311	-.653	-.607	-.332	-.629
Oct.	.548	.526	.410	-.029	-.109	-.319	-.505	-.312	-.560

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

し、特に生育初期から中期にかけての5月から7月においてやや高い負の相関がみられた。この時期の多雨は茎葉の生育低下に強く関係していた。

茎葉部を葉身、葉柄、冠部に分けて、それぞれの部位と気象要素との相関係数を Table 29～31 に示した。葉身重 (Table 29) および葉柄重 (Table 30) は降水量と負の相関を示す月が多く、いずれの品種

も葉身重は7月、葉柄重は6月で特に高い相関を示した。冠部重と降水量との関係については負の高い相関はみられなかった (Table 31)。前記のように茎葉重は生育初期から中期にかけての降水量と負の相関が高かったが、これは葉身および葉柄と気象要素との関係からもたらされたものとみることができ

Table 30. Partial correlation coefficients between weight of petioles at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	.213	-.656	-.278	-.107	.519	.099	-.499	-.581	-.635
June	-.005	-.704	-.382	.231	.685	.524	-.807*	-.910**	-.887**
July	-.258	-.261	-.360	.001	-.212	-.015	-.296	-.515	-.394
Aug.	-.662	-.427	-.589	-.569	.039	.029	-.886**	-.177	-.541
Sep.	-.418	-.121	-.188	-.476	.141	-.142	-.363	.100	-.020
Oct.	.234	.624	.499	-.287	.258	-.072	-.484	-.228	-.316

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 31. Partial correlation coefficients between weight of crowns at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in each month

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
May	-.474	-.109	.276	.494	.101	-.023	.494	.503	.275
June	.219	.475	.806*	-.283	-.186	-.615	.227	.194	.732
July	.166	.797*	.389	.508	.128	.135	.246	.155	-.120
Aug.	.094	.747	.223	.606	-.100	.147	.375	-.518	-.097
Sep.	.312	.046	-.470	.385	.248	-.139	.557	-.076	-.421
Oct.	-.449	-.811*	-.569	.065	.330	-.184	.702	.762*	.331

*: Significant at the 5% level.

Table 32. Partial correlation coefficients between root weight at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in the respective ten days when the correlations were relatively high

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
Middle third of June	-.125	.295	.146	-.143	-.048	.214	-.873*	-.793*	-.739
Last third of June	-.226	-.118	-.008	.165	.068	.096	-.147	.072	-.339
First third of July	-.277	.191	.031	.951**	.854*	.756*	.864*	.528	.532
Middle third of July	-.297	-.228	-.478	-.384	-.456	.470	-.190	.088	-.373
Last third of July	.625	.672	.584	-.605	-.696	-.662	-.771*	-.678	-.844*
First third of Aug.	.481	.556	.211	-.719	-.537	-.386	-.647	-.710	-.531

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

各生育時期の気象と収穫時期の形質との関係をさらに詳しく解析するために、各旬別の気象要素と各形質間において有意性のみられた相関係数を Table

32~35 に示した。

根重と気温との相関は、3 品種ともいずれの旬でも有意性がみられず、降水量とは 3 品種ともに 6 月

中旬および7月下旬に負の相関が高かった。根重と日照時間の関係では7月上旬で3品種ともに正の相関を示し、なかでも「カーペメガモノ」は1%水準で有意であり、他の2品種と異なっていた (Table 32)。

根中糖分は気温とは3品種ともに7月中旬に負の相関がやや高く、8月中旬も同様な相関となる傾向がみられた。日照時間とは7月上旬および8月中旬の相関係数が正で、他の旬に比べて高かった。降水量とは7月下旬および8月上旬で負の相関が他の旬に比べて高かった (Table 33)。

糖量は根重と殆ど同様の傾向を示した (Table 34)。

一方、茎葉重では降水量とのみ有意な相関がみら

れたので、Table 35 に茎葉重および茎葉部を構成する葉身および葉柄に分けて降水量との相関係数を示した。なお、冠部重については表示していないが、高い相関関係はみられなかった。茎葉重と降水量とは3品種ともに負の高い相関を示す旬が多く、Table 35 に示すように5月～7月の生育初期から中期にかけて高い相関がみられた。茎葉部全体と気象要素との相関関係は、Table 35 に明らかなように葉身および葉柄と同様の傾向にあった。

以上の結果より、根重については3品種ともに気温との相関関係は低かったが、7月上旬の多照は収穫期の根重増加に関係しており、特に「カーペメガモノ」で顕著であった。III-A-2.-e. に記したように、7月上旬はCGRが急激に上昇する時期であり、

Table 33. Partial correlation coefficients between sugar content at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in the respective ten days when coefficients were relatively high

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
First third of July	-.255	-.482	-.610	.614	.594	.761*	.416	.310	.619
Middle third of July	-.773*	-.798*	-.683	-.557	-.146	.009	-.178	.106	-.064
Last third of July	.436	.301	.540	-.463	-.324	-.504	-.630	-.412	-.668
First third of Aug.	-.208	-.428	-.166	-.289	-.094	-.449	-.773*	-.720	-.488
Middle third of Aug.	-.641	-.644	-.674	.666	.693	.657	.365	.481	.318

*, **: Significant at the 5% level.

Table 34. Partial correlation coefficients between sugar weight at harvest time, Oct. 20. and three weather factors in the respective ten days when coefficients were relatively high

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
Middle third of June	-.129	.177	-.025	-.018	.056	.246	-.828*	-.696	-.694
Last third of June	-.138	-.030	.001	.065	-.049	.015	-.207	-.007	-.387
First third of July	-.323	-.099	-.194	.925**	.808*	.770*	.804*	.467	.566
Middle third of July	-.403	-.398	-.567	-.410	-.419	-.384	-.195	.093	-.329
Last third of July	.633	.640	.628	-.621	-.665	-.679	-.783*	-.665	-.849*

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 35. Partial correlation coefficients between top weight, weight of laminae and weight of petioles at harvest time, Oct. 20. and precipitation in the respective ten days when coefficients were relatively high

	Air temperature			Sunshine			Precipitation		
	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo	Kawe-megamono	Monohope	Zumo
Middle third of May	-.838*	-.806*	-.903**	-.919**	-.861*	-.924**	-.888**	-.859*	-.901**
Last third of June	-.862*	-.799*	-.876**	-.755*	-.687	-.707	-.837*	-.879**	-.856*
Middle third of July	-.751	-.624	-.801*	-.683	-.681	-.640	-.645	-.518	-.682
Last third of July	-.881**	-.885**	-.936**	-.839*	-.875**	-.828*	-.766*	-.847*	-.837*
Middle third of Aug.	-.304	-.765*	-.418	-.788*	-.793*	-.398	.213	-.646	-.206

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

この時期の多照がてん菜の生育にきわめて有効であると推察される。一方降水量、特に生育初期から中期にかけての多雨は収穫期の根重低下をもたらすことが明らかである。根中糖分については3品種とも7月中旬の高温および7月下旬から8月上旬の多雨が収穫期の糖分低下に関係していた。7月上旬および8月中旬の多照は根中糖分の向上をもたらした。根中糖分は8月中旬の気温とは負、日照時間とは正の相関関係がみられたが、この時期に気温が高過ぎず、しかも多照であることが根中糖分の向上に有効に作用することが明らかである。茎葉重は気温および日照時間との相関関係は高くないが、降水量とは高い負の相関を示す時期が多かった。特に生育初期より中期の多雨は収穫期の茎葉重の低下に強く関係しており、これは3品種とも同じ傾向を示していた。品種間では降水量と有意性を示した「モノホープ」の相関係数は常に他の2品種に比べて小さかった。これが「モノホープ」の諸形質の変動係数が他の2品種に比べて小さかった理由の一つであろう。

テンサイの生育の気象要素との関係については、これまでに記したように、降水量との間に高い負の相関のみられることが多く、これが諸形質の年次間変動をもたらす主な要因となっていることが推察された。

B. 収量の予測

作物の収量を予測することは極めて重要である。テンサイについてもその年の収量、糖分を出来るだけ早期に、かつ、的確に予測することは耕作者にとってはもちろんのこと、製糖工場にとっては、そ

の年の操業計画を立案する上で非常に重大な関心事である。

以前から、収量、糖分の予測法については数多くの試みがなされているが、確率の高い予測は困難であった。テンサイの収量予測に使われる主な方法としては、坪掘調査による方法、気象の変動との相関関係からの計算法、生育の過程を解析し最終収量との関係から求める方法、航空機または人工衛星からの写真によるリモートセンシング等が報告されている^{4,37,46)}。

前述のように、テンサイの生育は、気象に大きな影響を受け、年次間変動を生じる。そのために気温、日照時間、降水量等の気象要素と根重、根中糖分、糖量、茎葉重等の生育量との間に相関関係のみられるような生育時期が認められる。本節では、このような気象要素と、テンサイの生育量との相関関係を基にして生育量の予測を試みた。

1. 材料および方法

収量は日本甜菜製糖株式会社製糖所の値を用いた。芽室製糖所の原料集荷区域は帯広測候所の周辺に位置し、テンサイ栽培面積は約17,000 haである。相関関係の計算に供したのは1981年より1990年の10年間の結果である。

気象要素として、1981年より1990年迄の10年間に付き帯広測候所の気温（旬平均気温）、日照時間、降水量を使用した。

根中糖分については、テンサイの取引制度が重量のみによるものから、根中糖分を評価するいわゆる糖分取引へ移行した1986年より測定が始められて

Table 36. Correlation coefficients between root weight and air temperatures¹⁾ in Memuro area (1981-1990)

	End of accumulation																
	May			June			July			August			September			October	
	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle
Beginning of accumulation																	
May																	
First	0.141	0.121	0.249	0.492	0.745*	0.760*	0.839**	0.835**	0.838**	0.841**	0.837**	0.843**	0.798**	0.807**	0.831**	0.809**	0.783**
Middle		0.063	0.223	0.518	0.764*	0.763*	0.829**	0.818**	0.797**	0.774**	0.767**	0.775**	0.736**	0.747*	0.774**	0.759*	0.739*
Last			0.377	0.701*	0.827**	0.798**	0.855**	0.820**	0.780**	0.744*	0.741*	0.753*	0.723*	0.735*	0.759*	0.750*	0.735*
June																	
First				0.642*	0.817**	0.776**	0.846**	0.808**	0.770**	0.741*	0.744*	0.758*	0.732*	0.744*	0.764*	0.755*	0.740*
Middle					0.741*	0.723*	0.834**	0.744*	0.667*	0.609	0.610	0.626	0.605	0.631	0.657*	0.656*	0.653*
Last						0.425	0.733*	0.586	0.500	0.451	0.458	0.480	0.450	0.506	0.547	0.535	0.541
July																	
First							0.816**	0.504	0.399	0.348	0.358	0.391	0.363	0.434	0.480	0.480	0.492
Middle								0.062	0.105	0.077	0.132	0.174	0.157	0.250	0.299	0.289	0.338
Last									0.119	0.060	0.124	0.168	0.146	0.240	0.292	0.292	0.355
August																	
First										-0.030	0.096	0.153	0.134	0.252	0.317	0.318	0.394
Middle											0.240	0.330	0.205	0.377	0.481	0.423	0.466
Last												0.168	0.118	0.337	0.398	0.303	0.376
September																	
First													0.005	0.340	0.477	0.313	0.395
Middle														0.501	0.434	0.334	0.425
Last															0.213	0.036	0.260
October																	
First																-0.116	0.186
Middle																	0.401

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ Temperatures used for calculation were the mean ones of ten days.

Table 37. Correlation coefficients between root weight and sunshine hours in Memuro area (1981-1990)

		End of accumulation																
		May			June			July			August			September			October	
		First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle
Beginning of accumulation	May																	
	First	−0.467	−0.437	−0.193	0.087	0.498	0.683 [*]	0.670 [*]	0.614	0.663 [*]	0.693 [*]	0.697 [*]	0.550	0.662 [*]	0.621	0.584	0.570	0.546
	Middle		−0.169	0.189	0.363	0.645 [*]	0.843 ^{**}	0.756 [*]	0.723 [*]	0.775 ^{**}	0.761 [*]	0.715	0.591	0.687 [*]	0.659 [*]	0.622	0.609	0.599
	Last			0.405	0.553	0.750 [*]	0.900 ^{**}	0.840 ^{**}	0.851 [*]	0.862 ^{**}	0.821 [*]	0.759 [*]	0.625	0.709 [*]	0.679 [*]	0.643 [*]	0.636 [*]	0.626
	June																	
	First				0.336	0.686 [*]	0.808 ^{**}	0.769 ^{**}	0.782 ^{**}	0.793 ^{**}	0.779 ^{**}	0.748 [*]	0.593	0.696 [*]	0.648 [*]	0.605	0.594	0.580
	Middle					0.815 ^{**}	0.901 ^{**}	0.819 ^{**}	0.822 ^{**}	0.793 ^{**}	0.690 [*]	0.657 [*]	0.486	0.593	0.545	0.506	0.504	0.486
	Last						0.326	0.547	0.408	0.335	0.145	0.335	0.163	0.340	0.323	0.298	0.306	0.272
	July																	
	First							0.347	0.094	0.146	−0.123	0.173	0.013	0.201	0.216	0.197	0.203	0.163
	Middle								−0.308	−0.265	−0.449	−0.052	−0.173	0.042	0.086	0.082	0.092	0.044
	Last									0.037	−0.203	0.115	−0.036	0.162	0.187	0.172	0.182	0.135
	August																	
	First										−0.357	0.123	−0.059	0.171	0.196	0.174	0.179	0.126
	Middle											0.447	0.112	0.361	0.323	0.284	0.281	0.223
	Last												−0.321	0.150	0.167	0.145	0.152	0.082
	September																	
	First													0.642	0.409 [*]	0.339	0.330	0.219
	Middle														0.160	0.119	0.125	0.024
	Last															0.020	0.054	−0.082
	October																	
	First																0.075	−0.121
	Middle																	−0.200

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 38. Correlation coefficients between root weight and precipitations in Memuro area (1981-1990)

		End of accumulation																
		May			June			July			August			September			October	
		First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle
Beginning of accumulation	May																	
	First	0.360	-0.150	-0.429	-0.652*	-0.775*	-0.774**	-0.926**	-0.733*	-0.673*	-0.524	-0.680*	-0.758*	-0.781**	-0.719*	-0.624	-0.627	-0.550
	Middle		-0.574	-0.700*	-0.782*	-0.819*	-0.796**	-0.878**	-0.780**	-0.755*	-0.606	-0.690*	-0.754*	-0.775*	-0.704*	-0.617	-0.607	-0.543
	Last			-0.539	-0.741*	-0.809*	-0.724*	-0.793**	-0.585	-0.547	-0.432	-0.607	-0.704*	-0.718*	-0.654*	-0.555	-0.544	-0.456
	June																	
	First				-0.634*	-0.822**	-0.703*	-0.796**	-0.494	-0.468	-0.379	-0.581	-0.695*	-0.726*	-0.646*	-0.527	-0.512	-0.415
	Middle					-0.518	-0.545	-0.682*	-0.220	-0.239	-0.211	-0.457	-0.642*	-0.647*	-0.566	-0.437	-0.418	-0.313
	Last						-0.464	-0.605	0.017	-0.045	-0.093	-0.420	-0.629	-0.640*	-0.559	-0.416	-0.390	-0.267
	July																	
	First							-0.228	0.416	0.288	0.138	-0.191	-0.490	-0.481	-0.427	-0.287	-0.246	-0.115
	Middle								0.659*	0.507	0.263	-0.105	-0.426	-0.441	-0.356	-0.224	-0.190	-0.057
	Last									-0.166	-0.134	-0.480	-0.665*	-0.692*	-0.581	-0.443	-0.402	-0.283
	August																	
	First										-0.112	-0.473	-0.668*	-0.707*	-0.566	-0.423	-0.377	-0.262
	Middle											-0.496	-0.675*	-0.818**	-0.592	-0.424	-0.362	-0.246
	Last												-0.561	-0.680*	-0.582	-0.311	-0.201	0.024
	September																	
	First													0.026	0.078	0.162	0.193	0.353
	Middle														0.048	0.138	0.176	0.334
	Last															0.204	0.233	0.409
	October																	
	First																0.145	0.402
	Middle																	0.489

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 39. Multiple correlation coefficients between root weight and three meteorological factors¹⁾ in Memuro area (1981-1990)

End of accumulation																	
	May			June			July			August			September			October	
	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle
May																	
First	0.901*	0.714	0.681	0.751	0.872*	0.866*	0.945**	0.916**	0.915**	0.895*	0.868*	0.874*	0.861*	0.876*	0.895*	0.904*	0.910*
Middle		0.770	0.897*	0.832	0.891*	0.924**	0.938**	0.918**	0.910*	0.834*	0.803	0.828	0.827	0.826	0.835	0.844*	0.851*
Last			0.564	0.795	0.903*	0.940**	0.944**	0.957**	0.931**	0.845*	0.800	0.803	0.824	0.815	0.813	0.825	0.831
June																	
First				0.810	0.933**	0.899*	0.934**	0.943**	0.915**	0.846*	0.807	0.800	0.832	0.814	0.808	0.818	0.827
Middle					0.907*	0.912*	0.926**	0.879*	0.830*	0.700	0.676	0.751	0.754	0.727	0.718	0.732	0.725
Last						0.540	0.823	0.600	0.512	0.496	0.565	0.829	0.680	0.643	0.642	0.652	0.623
July																	
First							0.868*	0.660	0.488	0.656	0.581	0.921**	0.580	0.525	0.562	0.550	0.509
Middle								0.819	0.591	0.633	0.372	0.778	0.446	0.386	0.390	0.372	0.357
Last									0.205	0.317	0.492	0.754	0.774	0.586	0.507	0.518	0.478
August																	
First										0.535	0.479	0.738	0.725	0.586	0.536	0.575	0.551
Middle											0.549	0.764	0.821	0.696	0.733	0.760	0.780
Last												0.712	0.740	0.749	0.705	0.660	0.605
September																	
First													0.720	0.886*	0.771	0.780	0.788
Middle														0.583	0.472	0.594	0.655
Last															0.385	0.841*	0.596
October																	
First																0.385	0.428
Middle																	0.537

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ Air temperatures, sunshine hours and precipitations.

いたが、1990年までのデータでは5年間のみであり、気象要素との相関について検討するには年数が十分でないため除外した。

2. 結果および考察

Table 36～Table 38には気温、日照時間、降水量の旬ごとの積算値と収量の相関係数を示した。なお、圃場への移植はほとんど5月上旬に行われたので、積算を開始する最初の旬は5月上旬に設定した。

気温とは5月上旬～6月上旬より収穫期迄の積算値との相関が高く、特に、5月上旬から7月上旬以後収穫期までの積算値との間は高い値を示した(Table 36)。

日照時間との相関では5月中、下旬および6月上、中旬から8月中旬迄の積算において高い値が得られた(Table 37)。これは生育初期より、茎葉の生育が最大となる8月中旬迄の日照時間の多いことが、高収量へ結びつくことを示すと考えられる。

降水量とでは負の相関が認められたが、5月上、中、下旬および6月上旬から、7月上、中旬迄の積算値と相関が高く、その後は低くなり、また8月下旬から9月中旬になると比較的高い相関がみられた

Table 40. Root weight, top weight and their growth rate ("Mónoace" in Obihiro, 1985-1990)

No.	Date	Weight (t/ha) ¹⁾		Growth rate (t/ha/10 days) ²⁾	
		Root	Top	Root	Top
1	May 30	0.18	1.20	0.1448	0.7750
2	June 10	0.91	5.23	0.4542	1.9895
3	20	2.72	12.19	1.2172	4.3367
4	30	6.74	22.87	2.1934	6.0805
5	July 10	11.88	34.91	2.0417	3.5966
6	20	17.77	48.99	2.6337	3.7752
7	30	22.99	54.81	3.0751	3.4545
8	Aug. 10	30.73	61.10	3.1976	2.6000
9	20	38.91	64.10	2.9479	1.4229
10	30	45.06	66.10	2.4316	0.2659
11	Sep. 10	49.99	64.71	1.8291	-0.6112
12	20	53.66	64.43	1.2832	-1.1302
13	30	55.73	62.67	0.8570	-1.3451
14	Oct. 10	56.57	57.77	0.5538	-1.3536
15	20	57.10	55.31	0.3503	-1.2422

¹⁾ Actual value.

²⁾ Calculated value derived from the equation of growth rate.

(Table 38)。テンサイの生育にとって多湿条件は不利であり^{17,32)}、これらの時期の多雨は減収に結びついた。

以上は単一の気象要素との相関であるが、気温、日照時間、降水量は互いに独立した条件ではないことから、次に、これら3要素との重相関関係を調べた。

Table 39に収量と気象3要素との重相関係数を示した。5月上旬～6月上旬、7月上旬～7月下旬迄の積算で0.9以上の高い値が得られ、特に7月上、中旬で高くなっていた。根重については、各生育時期と収穫期との相関についてFig. 40に示したように収穫期直前を除けば、7月上、中旬が高く、比較的早い時期の生育が最終収量と関係を有していた。これはこの時期の気象要素がテンサイの収量に大きな影響をもっていることを示すものであろう。

テンサイの根重および茎葉重は、直線的に増加するのではなく、Fig. 13に示したように曲線的な生育の推移を示した。気象の変動が生育に及ぼす影響は、全生育期間を通じて一定ではなく、生育時期によって異なることが推測される。実際にTable 36～38に示したように7月上、中旬の気温、日照時間、降水量と収穫期の根重との相関は他の時期に比べて高く、さらにFig. 40cに示されているように、この時期の根重は収穫期の根重と相関が高かった。また、Fig. 13から明らかなように、7月上、中旬は根重、茎葉重共に生育が旺盛で、肥大が急激に進展している時期であった。根部および茎葉重の生長が旺盛であるときの気象の変動は、生育に及ぼす影響の大きいことが推測される。各時期の生育の程度は生長速度で示される。そこで生長速度の値により時期別に気象要素の評価に重みづけをした上で、収量との関係を検討した。

気象要素に重みづけをする数値として、1981年から1990年の期間に芽室製糖所の代表的な栽培品種であった「モノエース」の生長速度を用いた。「モノエース」を1985年より1990年迄帯広市上清川町で栽培し、III.-A.-d.に記した方法により生長速度を求めた。5年平均の根重および茎葉重の実測値および生長速度をTable 40に示した。

根部の肥大速度に最も影響を及ぼす気象要素は、気温と考えられるので、各旬ごとに、気温に生長速度の値(Table 40)を乗じて重みづけをして、収量との相関をみた。根重、茎葉重、全重のそれぞれの

Table 41. Multiple correlation coefficients between root weight and three meteorological factors¹⁾ in Memuro area (1981-1990)

		End of accumulation																
		May			June			July			August			September			October	
		First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle	Last	First	Middle
Beginning of accumulation	May																	
	First	0.901 [*]	0.714	0.679	0.783 ²⁾	0.950 ^{**}	0.917 ^{**}	0.966 ^{**}	0.945 ^{**}	0.926 ^{**}	0.892 [*]	0.854 [*]	0.841 [*]	0.877 [*]	0.858 [*]	0.830	0.824	0.827
	Middle		0.770	0.887 [*]	0.847 [*]	0.921 ^{**}	0.953 ^{**}	0.956 ^{**}	0.934 ^{**}	0.918 [*]	0.847 [*]	0.814	0.817	0.845 [*]	0.824	0.796	0.788	0.790
	Last			0.564	0.802	0.910 [*]	0.941 ^{**}	0.950 ^{**}	0.964 ^{**}	0.931 ^{**}	0.849	0.811	0.799	0.839 [*]	0.818	0.784	0.775	0.772
	June																	
	First				0.810	0.933 ^{**}	0.900 [*]	0.936 ^{**}	0.945 ^{**}	0.909 [*]	0.842 [*]	0.810	0.791	0.840 [*]	0.808	0.770	0.761	0.760
	Middle					0.907 [*]	0.907 [*]	0.920 ^{**}	0.887 [*]	0.833	0.715	0.710	0.760	0.776	0.739	0.693	0.689	0.672
	Last						0.540	0.797	0.620	0.536	0.608	0.637	0.800	0.711	0.649	0.571	0.580	0.535
	July																	
	First							0.868 [*]	0.658	0.495	0.683	0.544	0.869 [*]	0.621	0.498	0.418	0.415	0.355
	Middle								0.819	0.592	0.628	0.328	0.765	0.443	0.369	0.229	0.194	0.065
	Last									0.205	0.329	0.487	0.746	0.841 [*]	0.672	0.486	0.434	0.327
	August																	
	First										0.535	0.481	0.728	0.746	0.629	0.500	0.421	0.387
	Middle											0.549	0.715	0.822	0.753	0.526	0.443	0.469
	Last												0.712	0.808	0.725	0.676	0.595	0.618
	September																	
	First													0.720	0.939 ^{**}	0.661	0.700	0.741
	Middle														0.583	0.464	0.588	0.647
	Last															0.385	0.842 [*]	0.591
	October																	
	First																0.385	0.434
	Middle																	0.537

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ Air temperatures weighted by growth rate of tops, sunshine hours and precipitations.²⁾ Coefficients underlined are larger than those calculated using unweighted air temperatures.

Table 42. Prediction of root weight¹⁾ in the method of growth analysis.

	Year										Standard error	Multiple correlation coefficient
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990		
May												
1	48.3	58.6	46.6	56.8	51.3	51.8	53.4	50.0	48.5	59.3	2.04	0.901*
2	48.7	52.6	47.0	53.0	53.6	52.8	50.7	54.1	51.6	60.3	2.65	0.714
3	49.4	54.2	45.7	50.6	55.6	51.8	51.8	54.3	53.8	57.4	2.63	0.679
June												
1	48.1	52.8	45.8	52.1	56.4	51.6	54.9	53.0	50.7	59.2	2.56	0.783
2	46.1	56.0	44.5	55.7	54.7	53.2	54.4	50.6	49.8	59.6	1.56	0.950**
3	46.4	55.2	44.3	53.6	54.3	55.4	55.9	53.0	48.3	58.1	1.92	0.917**
July												
1	45.5	56.8	44.0	55.5	55.6	54.1	54.4	52.6	48.5	57.5	1.29	0.966**
2	47.9	57.9	43.6	54.7	55.7	51.0	55.4	51.3	49.2	57.9	1.59	0.945**
3	47.9	56.1	42.8	54.6	56.9	51.9	54.9	50.5	51.4	57.6	1.85	0.926**
August												
1	47.7	55.8	43.5	56.0	56.0	51.6	53.7	49.5	53.4	57.4	2.14	0.892*
2	48.1	54.6	44.5	58.0	56.7	51.0	53.0	49.6	53.0	56.1	2.33	0.854*
3	48.6	53.5	44.6	58.7	57.2	51.5	51.7	50.7	51.9	56.0	2.38	0.841*
September												
1	47.7	55.1	44.8	58.4	57.2	51.1	51.9	50.0	51.9	56.4	2.22	0.877*
2	49.4	54.6	44.5	59.0	57.4	51.4	52.2	49.6	51.4	55.1	2.31	0.858*
3	50.5	54.7	44.5	59.3	56.7	51.1	51.9	49.7	51.6	54.5	2.43	0.830
October												
1	50.4	54.9	44.7	59.9	55.8	51.2	52.1	49.6	51.7	54.2	2.46	0.824
2	50.7	54.9	44.8	60.1	55.5	52.1	51.3	49.3	51.5	54.3	2.45	0.827
Actual value	47.6	58.3	43.1	56.5	55.3	54.6	53.5	50.5	48.0	57.3		

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ Root weight (t/ha) was calculated by the equations of multiple regression for three meteorological factors (air temperatures weighted by growth rate of tops, sunshine hours and precipitations) in Memuro area during 1981-1990.

生長速度により重みづけして収量との相関をみたところ、茎葉重の生長速度で重みづけした場合に、最も高い相関関係が得られた。これは、根部の肥大は、茎葉部の生育の結果であることの表われであろう。このため、茎葉重の生長速度で、気温に重みづけすることとした。Table 40 のように、茎葉の生長速度が大きくなる6月中旬～7月下旬の気温が重みづけにより高く評価されることになった。この時期は前記のように気象要素と収量との相関の高い時期である。気象3要素による重相関関係において、重みづけした気温を用いた場合を Table 41 に示したが、6月～7月に重みづけしない気温を用いた場合よりも、高い相関関係が得られた。特に、6月中旬～7月下旬については、0.9以上で相関係数は極

めて高かった。5月上旬から各旬迄の、気象3要素とその積算値との重回帰式より計算した収量と実収量を Table 42 に示した。7月上旬は他の旬に比較して相関が高く、標準誤差は1.29 t/ha と小さかった。生育初期の7月で誤差の小さい値が得られたことは極めて興味深い。

以上、気象情報を利用したテンサイの生育量予測について記したが、予測する年度の気象条件が過去と大きく相連しない場合は、誤差の小さい予測のできる可能性がある。一方、気象条件が過去と大きく異なった場合には更に新たな予測法の検討を要すると考えられる。

V. 総合論議

1870年に始まったわが国のテンサイ栽培に供された品種は、ヨーロッパから導入された「クラインワンツレーベン」であり、またこの品種より選抜された北海道農業試験場育成のいわゆる「本育系統」が広く普及した。「本育系統」は根重および根中糖分では実績を挙げたものの、当時まだ有効な防除方法のなかった褐斑病に対して抵抗性を持たなかった。第2次世界大戦後アメリカ合衆国より導入されたいわゆる「導入系統」は褐斑病に対して抵抗性を有していたため、その後「本育系統」にとって替わった。

1960年代に褐斑病に対する防除法が確立されるに及んで、「導入系統」はヨーロッパからの高収量の倍数性品種に替わった。1960年代前半に導入された倍数性品種は、「導入系統」に比べて根重が顕著に高く、原料の確保に大いに貢献した。1940年代に発見された雄性不稔性²⁵⁾と単胚性³⁰⁾の両形質を利用して一代雑種育種が進展し、1970年代初期には単胚性の一代雑種が優良品種として認定された。以後今日まで登録品種のほとんどは単胚性の一代雑種であり、栽培の省力化に寄与するところ大であった。

栽培法では1960年代半ばより紙筒移植栽培法が急速に普及し、これと品種改良が相まって単位面積当たりの収量は飛躍的に向上した。従来原料テンサイの取引は重量によっていたため、原料確保の必要性からも収量に重点がおかれた栽培法がとられた。品種についても根重型の割合が高くなり根中糖分は停滞した。1986年に原料テンサイの買入れ制度が糖分取引制に改訂され、これを機に品種および栽培法の重点は共に糖分向上へ移行した。そして、「モノエース」のような、いわば糖分型に属する品種が認定される時代を迎えた。

以上のように、北海道におけるテンサイ栽培品種の変遷をみると、比較的根中糖分が低く収量の高い根重型の品種から、根中糖分が良好な中間型へ、さらに糖分型に属する品種へと移行して来た。

テンサイの品種は根重型、中間型、糖分型に分類される。この分類法は収穫期における根重、根中糖分について、品種間の相対的な関係に基づくものである。このような品種型の収穫期における諸特性の値は、春の播種期から生育を続けてきた結果である。本研究では収穫期における品種の諸特性に差を

もたらすテンサイの生育の経過、あるいは生育の様相を生育型として捉え、生育過程を調査することにより、品種の生育型を解析した。

テンサイの主要農業形質には年次間変動が認められるが、本研究はこの変動につき、気温、日照時間、降水量等との関連から解析し、生育型の解析手法を応用することにより、収量のより確かな予測を試みたものである。

栽培品種は、前記の様な変遷を示したが、旧品種と新品種の生育型にどのような差が認められるのかをまず検討した。

新品種として取り上げた「モノエース」は、収穫期の根重および根中糖分が共に旧品種の「本育192号」および「導入2号」を凌駕した。生育初期および8月中旬までの生育前半では、新品種は旧品種に比し茎葉重および根重が共に優れていた。生育後半では新品種は茎葉重の低下が旧品種に比べて著しく、収穫期には新旧品種間で全重に差がみられなくなった。新品種の茎葉重の減少は葉柄重の減少によることが大きかった。

全乾物重に対する根部乾物重の割合は、生育初期より新品種が旧品種よりも大きく推移した。

このように新品種は、旧品種に比べ初期生育が旺盛であり、後半は茎葉重の低下が著しく収穫期の全重は新旧品種で同等であったものの新品種では収穫部位である根部への同化産物の転流割合が高く、いわば効率の良い生育をしていることが明らかとなった。これが新旧品種の根重における品種間差をもたらした主要因とみなすことができる。

根中糖分における新旧品種の品種間差は、初期生育の段階からすでに認められ、収穫期までその順位関係は変わらなかった。新品種は根部乾物重に対する糖量の割合が生育初期から旧品種より高く、カリウム、ナトリウム、アミノ態窒素等の非糖分は新品種が低く推移して、その差は顕著であった。

以上は、品種の諸特性個々の経時的な推移と特徴であるが、根重と根中糖分との相対的な関係の推移を検討したところ、品種間差をより明確に表わすことが出来た。すなわち、糖分型の品種は根重型の品種に比べ生育初期より根中糖分は高く推移したが、その上昇程度は生育時期により多少異なっていた。生育初期より7月下旬頃までは根重、茎葉重共に増加したが、この時期は根中糖分の上昇も著しく、糖分型の品種は根重型の品種より糖分増加率が高かつ

た。その後9月上旬までの生育中期は根重の肥大が旺盛となり、根中糖分の上昇はいずれの品種も緩慢であった。9月上旬より収穫期にいたる生育後期は根中糖分の上昇が再び急となり、その程度は糖分型品種が高く、品種間差が明確に示された。このように、糖分型品種は生育初期およびいわゆる登熟期における根中糖分の上昇が根重型品種に比し高かった。本研究では、根中糖分の上昇の様相を、3期に区分したが、各時期の転換期は根重型品種、糖分型品種で同時期であった。これは品種を越えたテンサイの特質と考えることが出来よう。その時期は、平均気温が18~19℃を上回る時期、および18~19℃を下回る時期の7月下旬および9月上旬であった。この温度はMÜLLER¹⁹⁾およびULRICH⁴¹⁾が生育最適温度に関して考察した結果と符合する。

次に、根重および茎葉重について生長曲線を当てはめ、これから導かれる各パラメーターにより品種間差を検討した。根重については、2つのロジスチック曲線を組み合わせて適合度の高い生長曲線が導かれた。根重の生長曲線におけるパラメーターの理論最高根重、定数、曲率は、いずれも根重型品種の値が糖分型品種の値に比べ大きかった。すなわち、根重型品種の根重の生育は糖分型品種に比し、曲率が大きく、高い理論最高根重を得る曲線となった。生育初期に当てはまる根重式を第1次根重式、それ以後の根重の当てはまる式を第2次根重式とすると、いずれの品種も第2次根重式の曲率が小さいほど、また、第1次根重式の曲率と第2次根重式の曲率との比が大きいくほど、収穫期の根重は高かった。これは、初期生育が旺盛なほど収穫期の根重が高いことを、生長曲線からも示していると考えられる。

茎葉重の生長曲線は、根重よりも適合度は低かったものの、 $\log T/R$ の2次回帰式により表わすことができ、その勾配に品種間差が示された。これは根重と茎葉重との相対的な関係にも品種間差が存在することを示すもので、糖分型品種は下降勾配が根重型の品種に比し高かった。

茎葉重が最高となる時期(*tlm*)は生育曲線より求められるが、茎葉重の高い品種は、茎葉重の低い品種に比べて、この時期が遅かった。また、糖分型の品種は*tlm*が根重型品種に比し早期であり、茎葉重低下の勾配も高かった。これは、前述の、高糖分品種「モノエース」の茎葉重が生育後半に急激な減

少を示したと符合し、糖分型品種の特性とみなすことが出来る。*tlm*と収穫期の根重については、*tlm*が遅いほど根重が大であったが、この傾向は茎葉重の比較的軽い品種ほど高く、品種間差が認められた。

生長曲線を微分することにより新鮮重の生長速度を求めて品種間差を検討したところ、供試品種の根重については品種間差が小さかったが、茎葉重の生長速度は品種間差が明らかであった。茎葉重の生長速度はいずれの品種も7月10日頃に最大となったが、その時期の生長速度の値には品種間差が顕著に示された。

茎葉重と根重の生長速度の比(生長速度比)によると品種間差が明らかであった。これは、茎葉重と根重の生育量の比に符合するが、新鮮重の生長速度比により、生育における品種特性を表すことができると考えられる。

次に生長過程を解析して品種の生育型について検討を加えた。個体群生長速度(CGR)は純同化率(NAR)と葉面積指数(LAI)の積で表され、ほぼ7月中旬までの生育前半はLAIの増加に伴ってCGRは増大し、後半はNARとの相関が高かった。CGRの最大値(CGRmax)およびそのときのLAI(LAIopt、最適葉面積指数)には年次間差および品種間差がみられ、LAIoptは3~4の範囲であった。LAIが高く推移した品種はCGRmaxが高く、LAIoptに達する時期はLAIが低い品種に比べて早い傾向にあった。CGRは概ね7月下旬から8月上旬にかけて最大になり以後低下したが、これは地上部の相互遮蔽によるものと考えられる。そのためこの低下程度はLAIが高い品種ほど大きかった。

CGRは植物体全体の乾物重に関する生長関数であるが、テンサイの収穫部位は根部であることから、CGRの高い品種が必ずしも収量の高い品種ではなかった。すなわち、CGRには品種間差が認められたが、CGRの高い品種が根部収量も高いわけではなかった。これは泉山⁵⁾が報告した乾物の根部に対する分配率(DR)によりよく説明できる。本研究が使用した3品種についてみれば、茎葉重が高い品種は分配率が低く、茎葉重が低い品種の分配率は高かった。そのため全重では品種間差がみられなかったものの、根重では品種間差が明確となった。分配率に品種間差が認められたこと、根部乾物中の74%は糖分であったことから、根部に対する乾物

の分配率の高い品種の育成が今後のテンサイ原料生産のために望まれる。

収穫期の生育量は春から生育を続けた結果であることから、生育期間中の環境の変動は収穫期の生育量の変動をもたらす。生育の年次間変動は収量の変動と、不安定性に結びつくことから、変動の小さいことが望ましい。この年次間変動についての品種間差を以下に考察した。

平均気温、日照時間、降水量の3種の気象要素はそれぞれ生育に影響を及ぼすが、Fig. 39に明らかに変動係数で表わされた気象要素の年次間変動は降水量が最も大きく、かつ主な農業形質の生育量は降水量との相関が高い場合が多かった。また、この相関関係には品種間差が認められた。供試品種のなかでは、「ツモ」が降水量と相関が最も高く、生育量の年次間変動が大きかった。一方、「モノホープ」は年次間変動が比較的小さかった。「モノホープ」の耐湿性については明らかではないが、この品種と遺伝的に近縁な「モノヒカリ」は耐湿性が比較的高い品種であり（道立中央農試成績 1984）、「モノホープ」もほぼ同様な耐性を有すると推察される。このことから「モノホープ」の年次間変動が小さかったとみなすことができよう。これは耐湿性を有し、生育量の年次間変動が比較的小さい品種育成の可能性を示すものであろう。

上記のように、テンサイの生育は品種間差はあるものの、気象要素により年次間変動を生じ、気象要素と収量とは関連性が認められるので、この関係を解析して収量予測に用いることを検討した。

気温、日照時間、降水量等の気象要素との相関関係より収量を予測した結果はこれまで多数報告されている。本研究においても、生育時期別に上記3要素と収量との重相関により、収穫時の収量を計算したところ、高い相関を示す生育時期が認められた。その時期は、6月下旬より7月下旬までの期間であった。この期間はテンサイの根重、茎葉重共に生育が最も旺盛な時期であるため、気象の変動が生育に与える影響が顕著と推測された。生育の程度は生長速度により表わされることから、本研究では生長曲線式を微分することにより生長速度を求め、この値により気象要素に重みづけをした。茎葉重の生長速度により、気温に重みづけした結果、高い相関関係が得られた。特に7月上旬は他の時期に比し相関が高かった。比較的に早い生育時期である7月上旬の

時点で誤差の小さい計算値が得られたことは、収量予測の面から極めて興味深いことである。

摘 要

テンサイは1870年（明治3年）に東京において最初に試作され、翌年には札幌でも栽培された。以来幾多の変遷を経て、今や北海道畑作の基幹作物となった。このようなテンサイの栽培に品種改良の果たした役割も大きかった。本研究は、テンサイ品種の特性について、差をもたらす生育の経過あるいは生育の様相を生育型として捉えて解析した。また、テンサイの主要農業形質の年次間変動を気象要素との関連において解析し、その解析結果を応用することにより、生育量の予測に役立てることを試みた。研究結果を要約すると以下の通りである。

1. 戦前および昭和30年代の旧栽培品種と、糖分取引に移行した現在の新品種、さらに、これらの中間的な時代の品種を現在の栽培法により比較した。

10月中旬の収穫期には、新品種は旧品種に比し、根重で30%、根中糖分で5%、糖量で40%それぞれ上回り、茎葉重は20%下回った。全重では差がみられず、T/R比は新品種が旧品種に比し顕著に低かった。

全乾物重に対する根部乾物重の割合は、生育初期より新品種は旧品種より高く、新品種は同化産物の根部への分配割合が高かった。

生育前半の全重では新品種は旧品種に優り、後期の茎葉重の低下割合は新品種が高かった。

非糖分は新品種が低く、根部乾物重に対する糖量の割合は新品種が高かった。

2. 品種の生育型を解析するため、テンサイの各種生育量について生長曲線を当てはめた。根重については2つのロジスチック曲線（第1次および第2次根重式）を組み合わせることにより、また茎葉重については $\log T/R$ の2次回帰式により適合度の高い生長曲線を導くことができた。

根重型、糖分型および中間型の3品種につき9年間調査した結果、根重型品種の生長曲線は、糖分型品種の生長曲線に比べ曲率が大きかった。いずれの品種も収穫期の根重は、第1次根重式の曲率と第2次根重式の曲率との比が高いほど優れ、また第2次根重式の曲率が小さいほど優っていた。

$\log T/R$ の品種間差は顕著で、糖分型の品種は生

育時期との回帰式における下降勾配が高かった。茎葉重が最高値を示す時期は糖分型品種が根重型品種より早かった。

3. 根重および茎葉重の生長曲線式を微分し、新鮮重の生長速度を求めた。供試品種の根重の生長速度では品種間差が明らかでなかったが、茎葉重については品種間差が認められた。すなわち、生長速度が最大となる7月10日前後では品種間差が小さかったが、生長速度の最大値は茎葉重は高く推移した品種ほど大きかった。茎葉重と根重の生長速度の比（生長速度比）は生育の進展に伴い下降し、その程度に品種間差が顕著であった。

4. 生長解析により品種間差を検討した。

LAIは供試したいずれの品種でも7月下旬～9月上旬に最大値を維持していた。この期間は大型の葉が展開するため、後期の葉面積の低下は、展開葉が小型になるためであった。NARは生育初期より8月下旬に至るまで低下を続け、10月上旬にかけてやや上昇した。これは葉の相互遮蔽による影響と推察される。CGRはLAIがほぼ3を越えるまではLAIと直線的関係にあり、それ以後はNARと直線的関係にあった。最適葉面積指数(LAIopt)はいずれの品種でも3～4の範囲にあった。茎葉部の生育の旺盛な品種ほどLAIoptは大きく、かつその値への到達時期が早かった。

CGRの高い品種で必ずしも収穫期の根重が高くなく、根部への乾物分配率には品種間差がみられた。

5. 根重型および糖分型品種を2年間栽培し、その生育を経時的に調査して、生育型の品種間差、生育相およびその転換期を調べた。

生育過程における根重と根中糖分との相対的關係には品種間差が顕著で、この関係を経時的にみることに、テンサイの生育を3生育相に区分できた。すなわち、根重が肥大し、根中糖分が上昇する生育初期、根重の肥大が旺盛で根中糖分の上昇が停滞する生育中期、根重の肥大が停滞し、根中糖分の上昇が急となる生育後期である。

このような生育相の転換期は平均気温が18～19℃となる7月下旬および9月上旬であった。この転換期では品種間差が認められなかった。

6. 同一ロット種子を使用し、9年間にわたり3品種を毎年同じ耕種条件により栽培して、主要な農業形質につき気象によるとみなされる年次間変動を

調べて、変動を惹起する気象要素について検討した。

各年次での品種間の順位は根重では一定でなかったが、根中糖分、糖量および茎葉重では一定であった。いずれの品種も年次間の変動係数は、根中糖分で低く、茎葉重で高かった。これらの形質の年次間の変動係数には品種間差が認められた。

収穫期の根重と生育期途中の気温の間で顕著な相関関係を示す時期はみられなかった。根重と7月上旬の日照時間との相関はいずれの品種でも高かった。6月中旬および7月下旬から8月上旬にかけての多雨は収穫期の根重低下と関連していた。またこの関係に品種間差は認められなかった。

収穫期の根中糖分と高い正の相関を示す気象要素はいずれの品種でも見当らなかった。いずれの品種も7月中旬の高温および生育中期の多雨は収穫期の根中糖分の低下と関係していた。

糖量は根重と同様にいずれの品種でも7月上旬の多照と高い正の相関がみられた。生育中期の多雨は糖量の低下と強く関係していた。

茎葉重は気温および日照時間と有意な相関がみられず、生育中期迄の降水量と特に高い負の相関を示した。

生育の年次間変動に最大の影響を及ぼす気象要素として生育初期から中期にかけての降水量があげられた。また降水量が生育に及ぼす影響に品種間差が認められた。

7. 芽室製糖所区域の収量と、その地域の気温、日照時間および降水量との10年間の関係より重回帰式を求めた。6月下旬から7月下旬迄の気象要素と収量との間には高い相関関係がみられた。この時期は根重と茎葉重が共に旺盛に生育する時期であることから、茎葉重の生長速度の値で気温に重みづけをすることにより、さらに高い相関関係が算出された。

謝 辞

本論文を取りまとめるに当たり、北海道大学農学部教授木下俊郎博士にはご懇篤なご指導とご校閲を賜った。日本甜菜製糖株式会社常務取締役総合研究所長増田昭芳博士には本研究の課題を与えられ、常に懇切なご指導とご鞭撻を頂いた。北海道大学農学部教授島本義也博士並びに同教授中世古公男博士には本論文のご校閲を頂いた。日本甜菜製糖株式会社

常務取締役札幌支社長太田 亨 博士には本論文提出に当りご承認を頂いた。同札幌支社農事技術部長築島 昇 氏, 同総合研究所副所長神沢克一博士には本研究を取りまとめるに当り永年にわたりご指導を頂いた。同総合研究所主任研究員斎藤英俊氏には共同研究者としてご協力頂いた。同総合研究所第一課, 清川農場および幕別試験地の職員各氏には本研究の実施上種々多大なご協力を頂いた。以上の各位に対し, ここに衷心より感謝の意を表する。

引用文献

1. BEISS, U. und WINNER, C.: Ertrags bildung und Qualität der Zuckerrübe im Verlauf des Wachstums. Ein Beitrag zur Ertragsprognose. *Zuckerindustrie*. **110**: 199-208. 1985
2. 林 孝道・中島淳吉・提 忠宏: てん菜の品種と環境要因との関係. てん菜研究会報. **20**: 31-38. 1978
3. 北海道立中央農業試験場畑作物部畑作第二科品種改良試験. 昭和59年度畑作物試験成績書. 11-13. 1984
4. IIRB: Analysis of crop growth and systems for forecasting yield. International Institute for Sugar Beet Research. 55th Winter Congress. 157-314. 1992
5. 泉山陽一: てん菜収量性の基礎としての乾物の生産と分配に関する研究. 北海道農業試験場研究報告. **121**: 13-69. 1978
6. 北村 享: てん菜の日射利用に関する研究. 地温が蒸散と光合成に及ぼす影響. てん菜研究会報. **18**: 83-90. 1976
7. 黒沢厚基・増田昭芳・斎藤英俊: てん菜生育型の解析に関する研究. 第4報 直播及び移植栽培における生育型について. てん菜研究会報. **25**: 202-206. 1983
8. 黒沢厚基・斎藤英俊: てん菜生育型の解析に関する研究. 第5報 品種の生育型について. てん菜研究会報. **26**: 44-49. 1984
9. 桑原武司: 十勝地方における主要農作物の特性と年次変異並びに収量と気象との相関関係に関する調査. 北農. **17**(9): 4-18. 1950
10. KUWAHARA, T.: Some statistical data of sugar beets in Hokkaido. Chiefly on the flexibility and the correlation of yield to weather factors. *Bull. Sugar Beet Res.* **5**, 1-68. 1969
11. 桑原武司: てんさい. “戦後農業技術発達史. 第6巻 工業原料編”. 農林統計協会. 東京. 91-99. 1978
12. 増田昭芳: てん菜の移植栽培について. ビート生産技術懇談会報告. **1**: 91-130. 1960
13. 増田昭芳: てん菜の生育解析に関する研究. 日本甜菜製糖株式会社農事研究報告. 第1号, 1-173. 1964
14. 増田昭芳・黒沢厚基: てん菜生育型の解析に関する研究. 第1報 根重・茎葉重の回帰曲線について. てん菜研究会報. **22**: 140-149. 1980
15. 増田昭芳・黒沢厚基: てん菜生育型の解析に関する研究. 第3報 生長曲線の比較について. てん菜研究会報. **24**: 46-49. 1982
16. 松村清二・望月 明: 甜菜三倍体の育成とその特性. “甜菜の三倍体による育種”. サイエンス社. 東京. 3-13. 1953
17. 松崎康範・吉田俊幸・三分一 敬: 気象要因とテンサイの生育および収量. てん菜研究会報. **25**: 63-68. 1983
18. MORISHITA, M.: The fitting of the logistic equation to the rate of increase of population density. *Researches of Population Ecology*. **VII-1**: 52-55. 1965
19. MÜLLER, A. von: Schwankungen im Rüben und Zuckerzuwachs in Abhängigkeit von der Witterung in Göttingen 1963-1966. *I. I. R. B.* **2**(4): 232-241. 1967
20. 中世古公男: 光合成・呼吸. “作物生理実験法”. 農業技術協会. 東京. 232-246. 1985
21. 野村信史・大舘勝彦・阿部晴記: てん菜新旧品種の特性比較. 1. 生育の特性比較. てん菜研究会報. **16**: 103-109. 1974
22. 野村信史・南山 豊・大舘勝彦: てん菜新旧品種の特性比較. 2. 異なった栽培条件に対する反応. てん菜研究会報. **21**: 229-236. 1979
23. 小合龍夫・笹井一男・有田克彦・福田 実: イグサの生育型に関する研究. 第1報 生産過程の類型化と収量の差異. 日作紀. **51**(3): 369-374. 1982
24. 大島栄司: てん菜生育における若干の作物生態的知見について. 北海道農業試験場研究資料. **7**: 1-86. 1975
25. OWEN, F. V.: Cytoplasmically inherited male sterility in sugar beet. *Jour. Agr. Res.* **71**: 423-440. 1945
26. ROBERTSON, T. B.: The chemical basis of growth and senescence. Philadelphia and Condor. 1926
27. ROEMER, T.: Sortenwahl. In “Handbuch des Zuckerrübenbaues”. Verlag Paul Parey, Berlin. 277-290. 1927
28. 三分一 敬・松崎康範・吉田俊幸・築島 昇・黒沢厚

- 基・堤 平・向山 薫・荒 啓・佐古敬一：てん菜の栽培および環境条件に対する反応の品種間差。1. 場所および窒素施用量と栽培密度の組合せ処理の反応に対する回帰分析。てん菜研究会報。23: 1-61. 1981
29. 三分一 敬・松崎康範・吉田俊幸・佐古敬一・菅原寿一・黒沢厚基：てん菜の栽培および環境条件に対する反応の品種間差 2. 品種間分散および処理間分散の変動。てん菜研究会報。25: 158-163. 1983
30. SAVITSKY, V. F.: Monogerm sugar beets in the United States. *Proc. Am. Soc. Sugar Beet Tech.* 6: 156-159. 1950
31. 精糖技術研究会：ビート糖工場工程管理法。“製糖便覧”。朝倉書店。東京。252. 1962
32. 島本義也・細川定治：てん菜品種の環境適応性に関する研究。V. 地域間の気象要因の差異に対する反応の品種間差異。てん菜研究会報。13: 159-165. 1971
33. STORER, K. R., W. R. SCHMEHL and R. J. HECKER: Quantitative growth studies with sugar beets. *J. Am. Soc. Sugar Beet Tech.* 15 (8): 709-725. 1970
34. STORER, K. R., W. R. SCHMEHL and R. J. HECKER: Growth analysis studies of sugar beet. Colorado State University Experiment Station Technical Bulletin. 118. pp 69. 1973
35. 高瀬 昇：てんさい。“農作物品種解説”。農業技術協会。東京。337-341. 1984
36. THEURER, J. C.: Growth patterns in sugar beet production. *J. Am. Soc. Sugar Beet Tech.* 20 (4): 343-367. 1979
37. 富山信夫：収量と糖分の早期予測法に関する考察—北糖地域の実態に基づいた—。てん菜研究会報。19: 223-230. 1975
38. 柘植正徳・林 孝道・中島淳吉：テンサイの収量と生育初期の気象条件との関係。てん菜研究会報。24: 69-74. 1982
39. 角田重三郎：生物観察法。“育種ハンドブック”。養賢堂。東京。162-166. 1974
40. 上田 悟：農学研究における種々の手法。“応用統計ハンドブック”。養賢堂。東京。736-742. 1978
41. ULRICH, A.: Growth and development of sugar beet plants at two nitrogen levels in a controlled temperature green house. *Pro. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.* 8: 325-338. 1954
42. 渡辺利通：イネの生長曲線への折れ線のあてはめ。育種 30 (別冊 1): 138-139. 1980
43. WATSON, D. J.: The dependence of net assimilation rate on leaf area index. *Ann. Bot. N. S.* 22: 37-54. 1958
44. 山岸 宏：生物の大きさの成長。“成長の生物学”。講談社。東京。65-81. 1977
45. 吉田俊幸・松崎康範・山口辰一郎・三分一 敬：てん菜の地域適応性解析。2. 回帰分析による主要形質の安定性の推定。てん菜研究会報。22: 95-100. 1980
46. 吉田俊幸・松崎康範・沼尾吉則・三分一 敬：生育と気象にもとづくてん菜収量の推定。日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報。27: 8. 1987

Summary

In the history of sugar beet cultivation in Japan, the first trial was carried out in Tokyo and Sapporo around 1870. Since then sugar beet has developed into one of the major crops in Hokkaido because of the improvement in cultivation methods and varieties. In the present study developmental types of sugar beet were investigated under modern cultivation practice by using four old and new varieties in Hokkaido.

Through this study, varietal differences in agronomic characters were evaluated to classify developmental types. Furthermore, yearly changes of main characters were surveyed under the various meteorological conditions and the results were applied for forecasting yields. The experimental results obtained are summarized as follows:

1. Two old varieties, “Hon-iku 192go” and “Donyu 2go”, a semi-modern variety, “Kawepoly”, and a modern variety, “Monoace”, were chosen for the experiment, and they were grown under the identical cultivation practices which are now widely used for sugar beet cultivation.

At harvesting time around mid October, the modern variety “Monoace” produced 30% higher root weight, 5% higher sugar content, 40% higher sugar weight and 20% lower top (leaf and stem) weight in comparison with the others. As to the ratio between top and root weight, the modern variety showed lower values than the two old varieties. The ratio of root weight to whole plant weight in dry matter was also higher in the modern one from early growth stage. The distribution ratio of assimilation products to roots was higher in the modern one than in the others.

Features of the modern variety, “Monoace” were characterized by the superiority in top weight

in the first half of growth and a rapid decrease of top weight before the harvest time. The content of nonsugar substances such as K, Na and N contained in amino acids was lower in the modern variety than in the others.

2. Growth curves were drawn to express growth behaviour in sugar beet. Root growth curves were produced from the combination of two logistic curves for the primary and the secondary growth, and the growth curve of top weight was expressed as a quadratic regression curve of the logarithm of T/R (the ratio of top to root weight).

Growth curves were obtained from the data over nine years for the three varieties belonging to a high root yield, a high sugar content and an intermediate type. It is noted that the growth curve for a high root yielding variety showed a larger curvature than that of a high sugar content variety. In all varieties used, the root weights at harvest time indicated superiority when the ratio between the curvature for the primary growth and that for the secondary growth became larger in spite of the small curvature in the secondary growth.

There was a remarkable difference between the high root yielding variety and the high sugar content variety in the logarithm of T/R. In the regression curve of logarithm of T/R to growing period, a falling incline was more prominent in the high sugar content variety than in the high root yielding variety. In addition, the time when top weight reached the maximum value was earlier in the high root yielding variety.

3. By differentiating the formulae of root and top growth curves, growth rate of fresh top weight was calculated. Although differences in the root growth rates were not significant among the varieties used the fresh top weight showed a significant difference. Thus when the top growth rate attained the maximum value around July 10th, a small difference was recognized between varieties used and there was a tendency for the maximum value of top growth rate to be larger in the high top weight variety. The ratio between top and root growth rate decreased following mid growth and a significant difference was recognized between different varieties.

4. In order to analyse the growth behaviour, growth factors were examined in the different varieties. The leaf area index (LAI) indicated the maximum value from the end of July to the begin-

ning of September. This was caused by the development of larger leaves occurring in this period. However, LAI decreased gradually towards the later growing period due to the production of small leaves. The net assimilation rate (NAR) decreased from the beginning of the growth until the end of August and increased slightly up to the beginning of October. This means mutual shading of the leaves within the crop canopy. The crop growth rate (CGR) correlated with LAI until LAI reached a higher value beyond 3 and after that CGR correlated with NAR. Optimum LAI (LAI_{opt}) varied from 3 to 4 among the varieties used. Varieties showing flourishing leaf growth had a high value of LAI_{opt} and reached it earlier than the other varieties. Varieties having higher CGR values did not always produce a high yield and there were differences in the distribution of dry matter to the roots among the varieties.

5. Both the high root yielding and the high sugar content varieties were used for the survey of periodical growth, and the varietal differences in the growth periods were examined to search for the turning points of growth stage.

Varietal differences were prominent especially in the relation between root weight and sugar content during growing period. Depending on this relation, growth stages of sugar beet were divided into three stages: the first growth stage in which both root weight and sugar content increase, the second growth stage in which root weight increases rapidly and sugar content stagnates, and the last growth stage in which root weight stagnates and sugar content increases rapidly. The two growth turning points were shown around the end of July and the beginning of September which corresponded to mean temperatures of 18°C or 19°C in both points.

6. In order to examine yearly changes of the main agronomic characters due to weather conditions, three varieties were tested during nine years under the same cultivation practice.

The ranking of root weights was not stable from year to year, while sugar content, sugar weight and top weight were rather stable. Coefficients of variations were lower in sugar contents but higher in top weights among the varieties used. Coefficients of variation for root weights, sugar contents and sugar weights differed among the varieties used.

No correlations were observed between root

weights and air temperatures during growth periods. Correlations between root weights and sunshine hours in early July were recognized in all varieties. There was a tendency for low root weights to be caused by heavy precipitation during mid June and from the end of July to the beginning of August. No differences were found among varieties in this relation either. No high correlations were observed between sugar content in autumn and any meteorological factor. Low sugar contents in autumn have some relation with high air temperatures in mid July and heavy precipitation during the middle of the growth period. A high positive correlation was observed between sugar weights in autumn and sunshine hours in early July as well as root weights. No significant correlations were observed between top weights and air temperatures or sunshine hours. However, top weights were negatively correlated with precipitation up to the middle of the growing period.

It is concluded that precipitation from the beginning of growth to the middle of the growing season was the most important meteorological factor for sugar beet cultivation. The effects of precipitation also differed among the varieties.

7. A multiple regression equation was calculated from data over ten years using the relation between root weights and meteorological factors such as air temperatures, sunshine hours and precipitation in the territory of Memuro beet sugar factory in Hokkaido. Relatively high correlations were found between root weights at harvest time and meteorological factors from the end of June to the end of July. During this period, increases in both top and root weight were prominent. Due to weighting air temperatures by the growth rate of top weight, accuracy of correlation coefficients mentioned above was fairly improved.