



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	てん菜品種における生理学的、形態学的諸特性に関する統計学的解析：主成分分析ならびにグループ主軸法応用による倍数体および2倍体品種における各形質の関連性の比較
Author(s)	宮浦, 邦晃; MIYAURA, Kuniaki; 細川, 定治 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 8(4), 356-366
Issue Date	1973-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11841
Type	departmental bulletin paper
File Information	8(4)_p356-366.pdf



てん菜品種における生理学的, 形態学的 諸特性に関する統計学的解析

— 主成分分析ならびにグループ主軸法応用による倍数体
および2倍体品種における各形質の関連性の比較 —

宮浦邦晃・細川定治
(北海道大学農学部工芸作物学教室)

Statistical analysis on the physiological and morphological characters of sugar beet varieties

— A comparative study on the interrelationships among various
characters of diploid and polyploid varieties by the
application of principal component analysis
and group-principal axes method —

Kuniaki MIYAURA and Sadaji HOSOKAWA
(Laboratory of Industrial Crops, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Received August 21, 1972

緒 論

作物の諸形質間の関連性は、環境および遺伝的条件によって変動することが知られている。著者ら^{2)~4)}は、てん菜品種において異なる栽植密度条件、遮光処理条件によって、諸形質間の関連性がどのように変化するかを主成分分析によって検討してきた。その結果、各主成分の因子構造が、異なる環境および生育時期によって変動することが示され、特に、葉部形質群と根部形質群との相対的關係の変化において、作物学的見地から興味深い結果が認められた。そこで本報では、このような葉部形質と根部形質の相対的關係が、てん菜の2倍体品種と倍数体品種の間でどのように異なるかについて主成分分析によって検討する一方、後に示したグループ主軸法によって算出された葉部形質群と根部形質群との相関係数の作物学的意義およびその有用性について検討した。

謝辞—本研究を行なうにあたって、終始貴重な助言をいただいた北海道大学農学部工芸作物学教室津田周弥博士、ならびに島本義也博士、供試材料を快く提供して下さいました日本てん菜振興会てん菜研究所に厚く感謝の意を表す。なお、本報におけるすべての計算は、北海道大学

大型電子計算機センターにおいて行なったものである。

材料および方法

供試品種は、2倍体品種としては、本育401号、つきさぶ、Hilleshög st. kl., Dobrovicka A, AJ 4, KWS-E-super の6品種、倍数体品種としては、KW polybeta, AJ poly 1, Polyrave, Monokuhn polyploid, Hilleshög polyploid の5品種の計11品種である。1969年に、北海道大学付属農場にて2反復で標準栽培し、第1表に示した形質について、7月、8月および10月の各生育時期毎に、各品種10~15個体につき2反復で個体調査した。なお、葉長、葉身長、葉柄長、葉幅は、各個体の枯葉を除いた最大葉について測定したものである。また、根長は、タッピング面より肥大していると思われる根端部までの長さで表わし、1/2根重は、タッピング面から根長が2分の1までの重量で表わした。さらに、最大根径、最小根径は、タッピング面を楕円形とみなし、その長軸と短軸によって測定し、1/2最大根径、1/2最小根径は、1/2根重測定時における下部の横断面の長軸と短軸を測定したものである。これらの根部に関する形質は、いずれも根部の肥大様式、形態を表わすものである。

Table 1. Mean values of diploid and polyploid varieties, and results of variance analysis

a) July 21

Character	Diploid varieties							Polyploid varieties						ANOVA		
	HI	TS	HL	DB	AJ	KW	\bar{x}	KWP	AJP	PLR	MKP	HLP	\bar{x}	D	P	D-P
1) lw (g)	338	401	352	406	378	317	365	315	328	339	305	359	329	ns	ns	*
2) ll (cm)	48.7	56.0	46.6	53.9	54.7	48.4	51.7	42.4	43.7	44.4	44.0	47.5	44.4	***	ns	***
3) bl (cm)	27.1	28.2	24.4	26.5	26.0	25.4	26.3	23.7	24.3	25.1	24.3	26.8	24.8	*	*	***
4) pl (cm)	21.7	27.8	22.2	27.4	28.7	23.0	25.1	18.7	19.5	19.3	19.7	20.8	19.6	***	ns	***
5) bwi (cm)	16.1	16.6	16.5	17.8	16.8	16.7	16.8	17.1	17.7	16.6	17.6	18.6	17.5	ns	ns	*
6) rw (g)	60	75	95	92	90	83	83	85	84	90	77	82	84	*	ns	ns
7) 1/2 rw (g)	53	65	81	84	83	76	74	78	77	81	70	76	76	*	ns	ns
8) rl (cm)	11.7	14.0	14.1	11.8	12.8	13.6	13.0	15.3	15.0	14.9	14.5	13.5	14.6	*	ns	***
9) max. rd (cm)	4.4	4.6	5.2	5.2	5.2	5.0	4.9	5.0	4.9	5.0	4.8	4.9	4.9	**	ns	ns
10) min. rd (cm)	3.6	3.8	4.8	4.7	4.6	4.5	4.3	4.5	4.4	4.2	4.4	4.4	4.4	***	ns	ns
11) 1/2 max. rd (cm)	1.9	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	1.9	1.8	2.1	1.9	1.9	1.9	ns	ns	**
12) 1/2 min. rd (cm)	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.6	1.6	1.3	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	ns	ns	*
13) tw (g)	410	490	456	513	484	426	463	414	421	440	396	457	426	ns	ns	ns
14) ln	18.1	17.4	18.1	17.0	16.4	15.0	17.0	14.9	13.1	15.4	13.7	13.3	14.1	ns	ns	***
15) brix (%)	10.6	10.8	10.3	10.5	10.9	10.8	10.7	10.8	10.2	10.4	10.5	11.0	10.6	ns	ns	ns
16) pl/bl	0.80	0.99	0.91	1.03	1.11	0.91	0.94	0.74	0.80	0.77	0.81	0.78	0.79	***	ns	***
17) rl/max. rd	2.65	3.04	2.71	2.26	2.46	2.70	2.64	3.74	3.04	2.99	3.00	2.76	2.96	*	ns	***

b) August 26

Character	Diploid varieties							Polyploid varieties						ANOVA		
	HI	TS	HL	DB	AJ	KW	\bar{x}	KWP	AJP	PLR	MKP	HLP	\bar{x}	D	P	D-P
1) lw (g)	680	774	729	745	758	761	741	717	759	683	747	800	741	ns	ns	ns
2) ll (cm)	64.5	70.2	64.5	69.2	71.7	63.2	67.2	58.1	60.6	59.4	60.3	67.8	61.2	*	*	***
3) bl (cm)	27.3	28.2	25.1	28.7	26.9	25.1	26.9	24.6	25.8	25.1	25.4	27.3	25.6	ns	ns	ns
4) pl (cm)	37.2	42.0	39.5	40.5	44.9	38.1	40.4	33.5	34.9	34.3	35.0	40.5	35.6	*	ns	***
5) bwi (cm)	16.8	16.7	16.1	17.4	15.8	15.4	16.4	15.8	16.9	15.8	16.4	17.7	16.5	ns	ns	ns
6) rw (g)	154	246	280	281	248	286	249	279	292	280	298	263	282	*	ns	ns
7) 1/2 rw (g)	129	211	242	249	217	253	217	248	257	240	262	233	248	*	ns	*
8) rl (cm)	10.7	15.4	13.3	12.4	12.4	14.1	13.1	13.4	14.4	13.4	13.7	13.3	13.6	*	ns	ns
9) max. rd (cm)	6.6	7.3	8.1	8.4	7.7	8.2	7.7	8.3	8.2	7.9	8.3	7.7	8.1	***	ns	*
10) min. rd (cm)	5.5	5.9	7.3	7.6	6.8	7.2	6.7	7.2	7.1	7.0	7.3	6.9	7.1	***	ns	*
11) 1/2 max. rd (cm)	4.2	4.4	5.0	5.0	4.7	4.7	4.7	4.6	4.7	5.0	5.1	4.6	4.8	ns	ns	ns
12) 1/2 min. rd (cm)	2.7	2.9	3.1	3.5	3.3	3.1	3.1	3.0	3.2	3.5	3.4	3.2	3.3	ns	ns	ns
13) tw (g)	890	1081	1094	1148	1069	1140	1070	1107	1126	1066	1132	1162	1119	ns	ns	ns
14) ln	24.0	22.0	23.6	22.6	22.0	26.1	23.4	21.4	21.7	21.1	22.3	19.7	21.2	*	ns	***
15) brix (%)	15.1	12.8	11.9	13.0	13.7	12.4	13.2	11.7	12.9	12.9	13.4	13.0	12.8	***	ns	ns
16) pl/bl	1.36	1.53	1.58	1.41	1.67	1.52	1.51	1.36	1.35	1.37	1.38	1.48	1.39	ns	ns	ns
17) rl/max. rd	1.63	2.12	1.64	1.48	1.62	1.71	1.70	1.62	1.76	1.69	1.65	1.73	1.69	***	ns	ns

Table 1. (continued)

c) October 14

Character	Diploid varieties							Polyploid varieties					ANOVA			
	HI	TS	HL	DB	AJ	KW	\bar{x}	KWP	AJP	PLR	MKP	HLP	\bar{x}	D	P	D-P
1) lw (g)	841	790	645	681	866	853	779	728	865	826	920	914	851	ns	ns	*
2) ll (cm)	63.8	69.0	60.3	66.9	68.3	60.3	64.8	55.8	59.0	60.1	63.9	63.0	60.4	**	*	***
3) bl (cm)	25.1	25.5	21.6	25.8	24.3	24.1	24.4	24.3	25.2	26.0	28.1	26.5	26.0	*	ns	**
4) pl (cm)	38.7	43.6	38.7	41.1	44.0	36.2	40.4	31.5	33.8	34.2	35.8	36.5	34.4	*	ns	***
5) bwi (cm)	14.8	14.6	13.8	15.6	14.0	15.7	14.8	16.1	16.1	15.7	16.6	15.6	16.0	ns	ns	**
6) rw (g)	292	456	436	493	403	529	435	465	521	557	526	458	505	ns	ns	**
7) 1/2 rw (g)	256	380	383	423	364	464	378	409	458	492	456	411	445	*	ns	*
8) rl (cm)	12.8	17.2	15.0	14.1	15.6	16.3	15.1	15.9	16.2	17.1	15.8	15.4	16.1	*	ns	*
9) max. rd (cm)	8.5	8.6	9.2	9.8	8.6	10.4	9.2	9.3	10.1	10.0	9.6	9.7	9.7	**	ns	*
10) min. rd (cm)	7.3	7.4	8.2	8.6	7.9	9.2	8.1	8.3	9.1	9.0	8.6	8.5	8.7	***	ns	**
11) 1/2 max. rd (cm)	5.2	6.1	6.2	6.8	5.8	6.7	6.1	5.9	6.4	6.2	6.3	5.7	6.1	ns	ns	ns
12) 1/2 min. rd (cm)	3.3	3.9	3.9	4.8	4.1	4.3	4.1	3.9	4.3	4.1	4.4	3.6	4.1	ns	ns	ns
13) tw (g)	1209	1322	1164	1282	1345	1537	1310	1295	1521	1479	1547	1453	1459	ns	ns	ns
14) ln	33.0	27.0	26.2	23.8	29.0	30.3	28.2	22.8	25.8	22.7	24.6	24.3	24.0	ns	ns	***
15) brix (%)	20.8	16.9	18.1	18.6	18.7	16.6	18.3	17.3	17.9	16.7	18.1	18.4	17.7	***	ns	ns
16) pl/bl	1.54	1.71	1.81	1.59	1.81	1.50	1.66	1.30	1.35	1.32	1.27	1.38	1.32	ns	ns	***
17) rl/max. rd	1.50	1.99	1.63	1.43	1.80	1.56	1.65	1.71	1.61	1.71	1.64	1.59	1.65	**	ns	ns

Note: Symbols of characters; lw; leaf weight, ll; leaf length, bl; blade length, pl; petiole length, bwi; blade width, rw; root weight, 1/2 rw; root weight of upper part in cutting at half root length, rl; root length, max. rd; maximum root diameter, min. rd; minimum root diameter, tw; total weight, ln; leaf number.

Symbols of varieties; HI; Hon-Iku No. 401, TS; Tsukisappu, HL; Hilleshög st. kl., DB; Dobrovicka A, AJ; AJ 4, KW; KWS-E-super, KWP; KW polybeta, AJP; AJ poly 1, PLR; Polyrave, MKP; Monokuhn polyploid, HLP; Hilleshög polyploid.

Analysis of variance (ANOVA); D; significance within group of diploid varieties, P; significance within group of polyploid varieties, D-P; significance between groups of diploid and polyploid varieties.

*** significant at 0.1% level. ** at 1% level. * at 5% level. ns non significant.

結 果

1. 品種平均値と分散分析による2倍体および 倍数体品種の比較

第1表は、調査17形質の各測定時期毎の品種平均および分散分析の結果を示している。葉部形質に関しては、葉重は7月では2倍体品種の方が大きい、10月では逆に倍数体品種の方が大きい傾向がみられた。この傾向は葉身長にも認められたが、葉数、葉長、葉柄長は常に2倍体品種の方が大きく、葉幅は常に倍数体品種の方が大きかった。また、葉柄長/葉身長は7月と10月で2倍体品種の方が統計的に有意に大きいことが示された。

一方、根部形質に関しては、7月において1/2最大根

径、1/2最小根径(即ち根部の中央部の根径)が、2倍体品種の方が大きく、8月では、最大根径、最小根径(即ち根部の上部の根径)が、倍数体品種の方が大きい傾向がみられた。根長は、7月と10月で倍数体品種の方が統計的に有意に大きく、根型に関しては、根長/最大根径によれば、7月において倍数体品種の方が根長型の傾向があったが、8月以降では、2倍体品種との差はなくなった。根重、1/2根重は、生育が進むに従い、倍数体品種の方が2倍体品種より大きくなる傾向がみられた。なお、全重、糖分含有率(Brix)は、すべての測定時期において2倍体品種と倍数体品種の間で統計的に有意な差異は認められなかった。

Table 2. Factor structure obtained by principal component analysis and correlation coefficients (r_{LR}'s) between two composite variables showing leaf (L) and root (R) growth obtained by group-principal axes method from correlation matrices of diploid and polyploid varieties.

Character	July 21				August 26				October 14			
	Diploid		Polyploid		Diploid		Polyploid		Diploid		Polyploid	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1) lw	.437 ^{b)}	.815	.721	.585	.735	.347	.693	.695	-.292	.193	.423	.876
2) ll	.278	.935	.980	.182	.212	.947	.952	.193	-.352	.923	.348	.927
3) bl	-.462	.870	.931	.336	-.212	.871	.911	.317	-.096	.694	.426	.836
4) pl	.530	.801	.995	-.087	.395	.734	.954	.162	-.401	.834	.278	.924
5) bwi	.759	.369	.806	-.479	-.274	.545	.820	.547	.602	.118	.234	.103
6) rw	.966	-.231	-.326	.910	.980	-.103	-.834	.432	.937	.256	.948	-.197
7) 1/2 rw	.980	-.164	-.251	.873	.984	-.100	-.767	.615	.950	.199	.941	-.197
8) rl	.224	-.320	-.979	.079	.495	.082	-.338	.736	.363	.463	.639	-.619
9) max. rd	.942	-.284	-.433	.756	.957	-.166	-.863	.406	.952	-.218	.779	-.062
10) min. rd	.902	-.406	-.146	-.773	.905	-.218	-.833	.343	.941	-.201	.864	-.229
11) 1/2 max. rd	.930	-.056	-.064	.899	.878	-.137	-.525	-.207	.965	.179	.870	-.237
12) 1/2 min. rd	.956	.233	.745	.563	.835	.272	-.147	-.345	.824	.410	.781	-.141
Eigenvalue	6.76	3.56	5.89	4.45	6.24	2.81	6.93	2.50	6.05	2.69	5.53	3.78
c. c. (% ^{a)})	56.4	86.0	49.0	86.1	52.0	75.4	57.8	78.6	50.4	72.8	46.0	77.6
r _{LR}	0.224		-0.095		0.151		-0.537		-0.214		0.125	

Note: a) cumulative contribution

b) structure vector; $\sqrt{\lambda_k} l_{ik}$ (λ_k ; eigenvalue of k -th principal component, l_{ik} ; eigenvector of i -th character in k -th principal component).

Symbols of characters as Table 1.

2. 主成分の因子構造による2倍体および 倍数体品種の比較

葉部および根部形質の関連性を主成分分析によって検討するため、第1表に示された測定形質から葉部および根部の生育量を示す12形質を選択し、各測定時期毎に2倍体品種群と倍数体品種群において品種相関をそれぞれ算出し、合計6個の相関行列より第1、第2主成分を抽出した。第2表は、第2主成分までの各形質の構造ベクトル(即ち、各形質と主成分との相関係数)を示している。いずれの場合も第2主成分までで70~80%の累積寄与率を示したので、12形質の相互関係は、第2主成分までで分析可能と思われる。一般に、生育量を示す形質を扱った時に抽出される主成分のすべての形質が正の重みベクトルを有する時、その主成分は生育量の大きさを表わす size factor と呼んでおり、この点より判断すれば、第2表において厳密に size factor と定義できる主成分は、10月の倍数体品種の第1主成分のみであった。

然し、本報では2,3の形質が負のベクトルを有していても、その値が小さければ size factor とみなした。

7月および8月において、2倍体品種では最も分散の大きい第1主成分が size factor であるのに対し、倍数体品種は葉部形質が正、根部形質が負の構造ベクトルを有し、葉部形質と根部形質の相対的關係を示す主成分が最も大きい分散を有した。しかしながら、10月では、逆に2倍体品種の size factor は、第2主成分で、倍数体品種の size factor は、第1主成分で示された。さらに、2倍体品種の size factor は葉部形質が、倍数体品種の size factor は、根部形質がそれぞれ大きい構造ベクトルを有する点でも差異が認められた。

第1図には各測定時期毎の形質の構造ベクトルを散布したが、葉部および根部形質が形質群として分離することが示され、葉部形質群と根部形質群は、互いに独立か或は負の相対的關係を有することが示された。特に、8月において2倍体品種が独立、倍数体品種が負の關係に

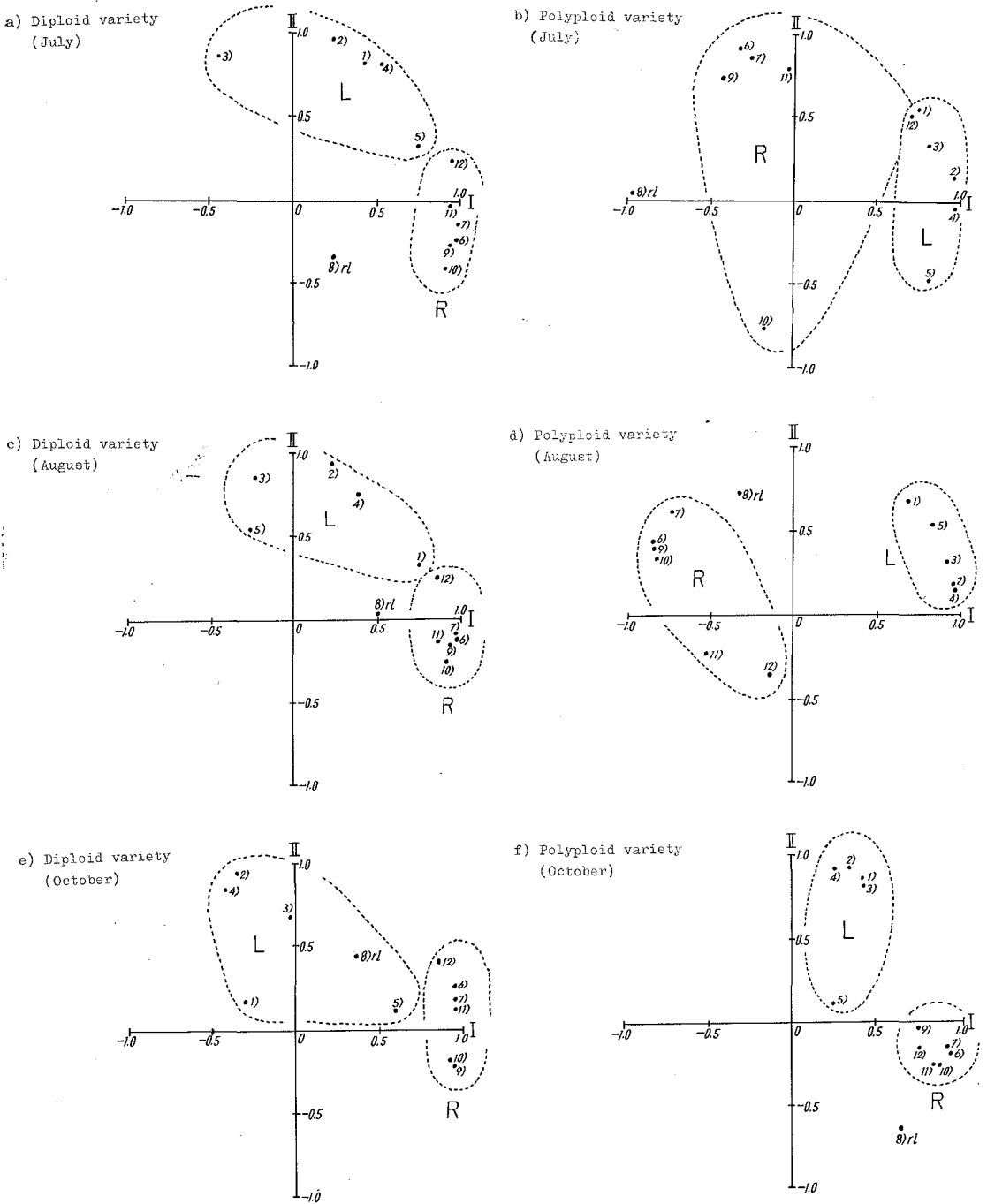


Fig. 1. Structure vectors of leaf (L) and root (R) characters scattered in the plane defined by the first (I) and second (II) principal component axes extracted from correlation matrices of diploid and polyploid varieties (symbols of characters as Table 1).

あることが認められた。なお、根長は他の葉部および根部形質とは分離した位置にあることが多かった。

葉部および根部形質群間の相対的関係を相関係数によって数量化するためにグループ主軸法 (group principal axes method) を用いた⁷⁾。主成分分析が、データ行列の中のいずれの形質ともできるだけ高い相関をもつよう、互いに独立な合成変量を逐次抽出する方法であるのに対し、グループ主軸法は、一部の指定された形質にのみ適用される方法である。即ち、形質群を指定する行列 \mathbf{U} によって、部分データ行列を得る。本報では、形質指定行列 \mathbf{U} は、葉部形質群 (L) と根部形質群 (R) を指定する \mathbf{U}_L および \mathbf{U}_R である。まず、葉部形質群に関して部分データ行列 $\mathbf{Z}_L (= \mathbf{Z}\mathbf{U}_L)$ 但し、 \mathbf{Z} はもとのデータ行列) を得る。これより主成分分析と同様にして、葉部形質との相関が最大となるような合成変量を抽出し、構造ベクトル \mathbf{a}_L を得る。さらに、合成変量の分散を 1 にする重みベクトル \mathbf{w}_L は、 $\mathbf{w}_L = \frac{1}{\lambda} \mathbf{a}_L$ (但し、 λ は最大固有値) によって得られる。しかし、重みベクトル \mathbf{w}_L をもとのデータ行列 \mathbf{Z} に適用できないので、標準重みベクトル \mathbf{w}_{SL} を次式によって求められる。 $\mathbf{w}_{SL} = \mathbf{U}_L \mathbf{w}_L$ 標準重みベクトル \mathbf{w}_{SL} によって第 1 合成変量 (L-因子) の構造ベクトル \mathbf{a} は、 $\mathbf{a} = \mathbf{R}\mathbf{w}_{SL}$ (但し、 \mathbf{R} はもとの相関行列) から求められる。これによって、葉部形質群ばかりでなく、根部形質群の L-因子における構造ベクトルが得られる。

さらに、第 2 合成変量 (R-因子) も同様にして求めることができるが、これらの合成変量は、主成分分析とは異なり、互いに直交するとは限らない。そこで、L-因子と R-因子の関係は次式によって求められる相関係数 r_{LR} で示すことができる。

$$r_{LR} = \mathbf{a}'_L \mathbf{w}_{SR} \text{ 或いは } \mathbf{w}'_{SL} \mathbf{a}_R$$

各測定時期における 2 倍体品種と倍数体品種の r_{LR} を第 2 表の最下行に示した。7 月では、2 倍体品種が正、倍数体品種が負の r_{LR} を示したが、いずれも値は小さく、葉部形質群と根部形質群の相対的関係は互いに独立の関係にあることを示唆した。8 月では、2 倍体品種が正の r_{LR} を示したのに対し、倍数体品種は、やや大きい負の値を示した。さらに、10 月では、2 倍体品種が負、倍数体品種が正のそれぞれ小さい r_{LR} を示した。

これらのことから、2 倍体品種では、常に葉部生育が旺盛な品種であっても、かならずしも根部生育が旺盛であるとはかぎらず、葉部生育と根部生育が独立の関係にあるといえる。一方、倍数体品種は、生育中期において葉部生育が旺盛な品種程根部生育が妨げられるが、生育中期以降にはこの傾向がなくなるといえる。

3. 2 倍体、倍数体各品種における葉部および根部形質群の相対的関係

各測定時期において 2 倍体および倍数体品種毎に相関行列を求め、それぞれについて主成分分析を行なった。一部の品種で第 1 主成分に負の構造ベクトルを有する形質もあったが、その値は小さかったのですべての品種の第 1 主成分を size factor と認め、各形質の第 1 主成分に対する分散 (即ち、構造ベクトルの 2 乗) および葉部形質群と根部形質群の相関係数 r_{LR} を第 3 表に示した。7 月では、葉重、根重、1/2 根重、最大根径、最小根径の分散が大きい品種が多かったが、葉部形質より根部形質の方が分散が大きい傾向にあった。しかしながら、KW polybeta は、葉長および葉身長もまた大きい分散を持ち、他の品種とは異なった構造を示す size factor を有した。7 月では、倍数体品種の葉身長の分散が 3 倍体品種より大きい傾向がみられた以外には、2 倍体品種と倍数体品種の間で特に大きい差異は認められなかった。

8 月では、7 月に比較して葉重の分散が低下した品種が多く、1/2 最大根径、1/2 最小根径の分散が大きくなる品種が多かった。8 月では特に 2 倍体品種と倍数体品種の間で size factor の構造に差異は認められなかった。

10 月は、8 月とはほぼ同様の size factor の構造を示したが、2 倍体品種において葉重の分散が 8 月からさらに低下した品種が多かったのに対し、倍数体品種では、むしろ大きくなる品種が多く、その結果、倍数体品種の方が葉重の分散が大きくなった。

次に葉部形質群と根部形質群との相関係数 r_{LR} は、7 月では、いずれの品種も正の値を示し、2 倍体品種と倍数体品種の間で特に大きい差異は認められなかった。このことは、生育初期では、すべての品種における個体の葉部生育と根部生育が互いに密接な関連性をもつことを示している。特に大きい r_{LR} を示す品種は KW polybeta、つきさっぶであり、小さい r_{LR} を示す品種は、本育 401 号、Hilleshög st. kl., AJ poly 1 であった。

8 月では、7 月に比較して r_{LR} が低下した品種と上昇した品種が混在したが、倍数体品種では低下した品種が多く、特に AJ poly 1 は負の大きい値を示した。また、2 倍体品種では、本育 401 号と KWS-E-super の r_{LR} が 0 に近かった。これらのことは、生育中期では葉部生育と根部生育の関連性が各品種によって大きく変動することを示している。

10 月は、すべての品種において、7 月から 8 月にかけて r_{LR} が上昇した品種は、8 月から 10 月にかけて r_{LR} が低下し、7 月から 8 月に低下した品種は、8 月から 10

月で上昇した。また、倍数体品種の r_{LR} は、均一な大きい値を示した。このことは、生育後期では、倍数体品種の方が個体の葉部生育と根部生育がより密接な関連性を

示し、しかもその関連性は倍数体品種間で大きく変動しないことを示している。

Table 3. Variance (%) of each characters in size factor (first principal component) and correlation coefficient (r_{LR}) between two composite variables (L and R) obtained from within-variety correlation matrices (symbols of varieties and characters as Table 1).

a) July 21

Character	Diploid							Polyploid					
	HI	TS	HL	DB	AJ	KW	\bar{x}	KWP	AJP	PLR	MKP	HLP	\bar{x}
1) lw	72	82	81	78	76	76	78	86	50	05	65	89	59
2) ll	15	43	01	05	24	22	18	71	12	26	38	12	32
3) bl	08	36	22	03	23	26	20	74	42	63	19	47	49
4) pl	10	28	11	03	12	10	12	21	01	00	18	02	08
5) bwi	04	49	43	41	23	36	33	49	22	53	21	46	38
6) rw	83	85	56	89	85	77	79	86	89	83	92	90	88
7) 1/2 rw	77	81	78	86	82	73	80	86	88	79	93	88	87
8) rl	29	00	03	13	06	00	09	27	20	01	35	23	21
9) max. rd	80	72	76	88	78	88	80	86	89	91	81	87	87
10) min. rd	60	82	74	82	76	81	76	81	82	75	45	83	73
11) 1/2 max. rd	40	47	16	36	21	31	32	29	26	40	36	12	29
12) 1/2 min. rd	35	59	17	28	29	29	33	50	30	29	19	21	30
Variance (%)	43	55	40	46	45	46	46	62	46	45	47	50	50
r_{LR}	.35	.65	.38	.44	.47	.42	.45	.81	.35	.53	.58	.62	.57

b) August 26

Character	Diploid							Polyploid					
	HI	TS	HL	DB	AJ	KW	\bar{x}	KWP	AJP	PLR	MKP	HLP	\bar{x}
1) lw	05	83	77	63	66	39	56	88	40	65	57	22	54
2) ll	02	13	08	37	19	08	15	03	06	40	10	17	15
3) bl	07	30	19	59	13	04	22	19	16	23	19	01	16
4) pl	00	01	00	01	08	28	06	00	33	16	08	14	14
5) bwi	00	46	25	30	35	21	26	30	43	41	27	14	31
6) rw	91	93	85	91	93	93	91	88	89	90	87	92	89
7) 1/2 rw	86	92	81	89	92	91	89	85	90	85	83	91	87
8) rl	01	20	12	20	42	18	19	46	03	07	02	13	14
9) max. rd	94	86	89	93	81	86	88	89	90	89	92	84	89
10) min. rd	80	86	76	91	79	72	81	89	88	83	76	90	85
11) 1/2 max. rd	59	72	24	52	61	67	56	32	97	55	59	43	53
12) 1/2 min. rd	51	68	13	52	63	66	52	27	19	44	53	43	52
Variance (%)	40	58	43	56	54	49	50	50	56	53	48	44	50
r_{LR}	.04	.70	.54	.62	.52	-.06	.39	.31	-.64	.66	.43	.25	.20

Table 3. (continued)

c) October 14

Character	Diploid							Polyploid					
	HI	TS	HL	DB	AJ	KW	\bar{x}	KWP	AJP	PLR	MKP	HLP	\bar{x}
1) lw	48	44	10	49	37	31	36	75	65	74	75	78	73
2) ll	32	03	01	41	00	01	13	47	22	43	13	03	26
3) bl	47	07	21	46	16	17	26	33	16	19	73	27	34
4) pl	09	01	04	08	06	07	06	12	12	21	00	06	10
5) bwi	19	06	30	48	02	04	18	26	42	00	37	30	27
6) rw	80	98	76	79	80	85	83	90	81	82	95	89	87
7) 1/2 rw	72	96	70	82	86	81	81	89	78	80	92	88	85
8) rl	11	01	02	04	22	02	07	34	01	37	23	24	24
9) max. rd	71	93	14	82	84	75	70	75	83	89	84	91	84
10) min. rd	81	85	80	83	93	78	85	65	84	83	78	90	80
11) 1/2 max. rd	77	70	57	67	69	52	65	60	65	04	82	46	51
12) 1/2 min. rd	68	70	46	55	72	47	60	61	42	19	66	30	44
Variance (%)	51	48	34	54	47	40	46	56	49	46	60	50	52
RLR	.45	.21	-.10	.58	-.07	.13	.20	.65	.50	.57	.56	.58	.57

論 議

本報で供試された倍数体品種は、2倍体品種と互いに遺伝的に共通な起源を有さず、さらに、倍数体品種には4倍体、3倍体、或いは2倍体個体が混在する品種が多いことから、2倍体品種と倍数体品種の間における種々の差異をただちに染色体倍加に伴う効果と結論することはできないであろう。しかしながら、2倍体品種と倍数体品種の各形質において両者間に統計的有意差があり、さらに各形質の生育様式に差異が認められるならば、これらの差異は2倍体品種と倍数体品種の特徴の差として、染色体倍加に伴う効果がある程度推察することも可能かと思われる。例えば、品種平均値および分散分析の結果から2倍体品種と倍数体品種の間に多くの葉部形質に差異が認められ、さらには、倍数体品種と2倍体品種の間で、葉部および根部の生育様式が8月以降で特に異なることが認められた。

このような2倍体品種と倍数体品種の葉部および根部の生育様式の生育中期以降における差異は、第2表で示された主成分分析の結果によっても認められた。即ち、7月および8月において、2倍体品種の size factor が最も分散の大きい第1主成分で示されたのに対し、倍数体品種では、第2主成分で示された。しかし、10月ではこの関係は逆転し、2倍体品種が第2主成分で、倍数体品

種が第1主成分でそれぞれ size factor が示された。

さらに第2表で示したグループ主軸法によって算出された葉部形質群と根部形質群の相関係数 r_{LR} は、2倍体品種が常に小さい値を示したのに対し、倍数体品種は、8月においてやや大きい負の値を示した。従って、主成分分析、グループ主軸法の結果からも、2倍体品種と倍数体品種の葉部および根部形質の相対的關係が生育中期以降に明らかに差異が生じることが示された。

主成分分析が各形質と最も相関が高くなるような共通変異軸を抽出する方法であることから、本報の如く生育量を示す形質について主成分分析を行なった時に示される size factor は、各形質の生育に共通な効果を与える *general size factor* と同義であると考えられる^{5),6)}。従って第3表で示された size factor への各形質の分散は、WRIGHT^{8),9)} が経路分析および分散分析によって得た *general size factor* によって支配される形質の分散部分に対応するものと思われる。よって倍数体品種の *general size factor* の葉重への寄与は生育中期までは2倍体品種より小さいが、生育中期以降は逆に大きくなると換言できる。なお根長の分散は常に小さく、また第1図において他の形質とは分離した構造ベクトルを示すことが多いことから、根長は独自の因子、即ち *special size factor* によって大きく支配されているものと思われる⁸⁾。

さらに、グループ主軸法によってそれぞれ独自に抽出された2つの合成変量 L-因子および R-因子は、葉部および根部形質群の生育に独自に寄与する2つの *group size factor* と同義であると考えられるが、 r_{LR} は2つの *group size factor* の独自性の程度を示すとともに、*general size factor* が葉部および根部形質群に共通な効果を有する程度をも示すと考えることができる。即ち、 $r_{LR}=1$ の時には、葉部形質群と根部形質群が完全に共通な生長因子、即ち *general size factor* によって支配されていることを示し、 $r_{LR}=0$ の時には、葉部および根部形質は完全に独立な2つの生長因子、即ち2つの *group size factor* によって支配されていることを示している。また $r_{LR}=-1$ の時には、葉部および根部形質群は、 $r_{LR}=1$ の時と同様に互いに共通な生長因子によって支配されているが、一方の形質群の生長は、他方の形質群の生長を阻害する関係を有することを示している。

このような *general* および *group size factor* の各形質への支配程度の生育時期による変化を各品種毎に第1主成分への各形質の分散、および r_{LR} によって示した第3表では、7月において、2倍体品種と倍数体品種の間で特に大きい差異は認められなかったが、8月から10月にかけて倍数体品種の葉部形質の *general size factor* への分散および r_{LR} が、2倍体品種に比較して大きくなり、品種平均値をもとにした第2表の傾向と類似した結果を示した。

JOLICOEUR¹⁾ は、主成分の構造は多変量における相対生長を示すとし、さらに MORISHIMA ら⁵⁾ および OKA ら⁶⁾ は、水稻の遺伝的草型の分析に主成分分析を応用し、アイソメトリーおよびアロメトリーを示す変異軸を抽出したが、 r_{LR} は葉部形質群と根部形質群における2つの形質群間の相対生長を表わす指標にもなりうるものと考えられる。各品種の r_{LR} が7月から8月に正の方向に変化した品種は、8月から10月に負の方向に変化し、逆に、7月から8月に負の方向に変化した品種は、8月から10月に正の方向に変化したこと、即ち、 r_{LR} が生育とともに正の方向(或いは、負の方向)に変化しつづける品種が存在しなかったということは、*general* および *group size factor* の支配程度が生育とともに定方向に変化しないことを示すものであり、てん菜における葉部生育と根部生育の相対的關係が常に生育とともに変動することを示し、発育遺伝学的見地からも興味深い点である。

このように、グループ主軸法によって算出された形質群間の相関係数を、主成分分析の結果とともに検討する

ことによって、諸形質間の関連性の遺伝的差異、或いは、異なった環境条件における差異の分析において、従来の統計的方法によっては得られなかった情報が得られる可能性が示唆された。

摘 要

本研究は、主成分分析によっててん菜の2倍体および倍数体品種における葉部および根部形質間の相対的關係を比較検討する一方、グループ主軸法によって得られた形質群間の相関係数における作物学的意義について検討するために行なわれた。

1) 品種平均値にもとづく相関行列より主成分分析を行なった結果、7月および8月では、2倍体品種の第1主成分は品種の生育量を示す *size factor* であったが、倍数体品種の *size factor* は第2主成分で示された。しかし、10月では2倍体品種の *size factor* は第2主成分で、倍数体品種は第1主成分で示された。また、グループ主軸法によって算出された葉部形質群と根部形質群の相関係数 (r_{LR}) は、8月において、倍数体品種がやや高い負の値を示したのに対し、2倍体品種は常に低い値を示した。

2) 各品種毎に得られた相関行列より抽出された第1主成分(すべての品種が *size factor* を示した)における葉部形質の分散、および r_{LR} は8月から10月にかけて倍数体品種の方が2倍体品種に比較して大きくなる傾向がみられた。

3) 以上の結果は、第1表に示された品種平均値および分散分析から倍数体品種の方が生育中期以降において生育が旺盛になることと関連しているものと思われる。

4) 各品種毎に算出された r_{LR} は、7月から8月に正の方向に変化した品種は、8月から10月に負の方向に変化し、逆に7月から8月に負の方向に変化した品種は、8月から10月に正の方向に変化した。このことは、てん菜における葉部生育と根部生育の相対的關係が各品種の遺伝的差異によって変動することを示し、多変量における相対生長、或は発育遺伝学的見地から興味深い点である。

5) 主成分分析がすべての形質への分散が最大になるような共通変異軸を抽出する方法であることから、上記の如く生長量の大きさを示す因子、即ち *size factor* とみなされた主成分における各形質の分散は、*general size factor* がすべての形質に共通に影響を与える分散部分に対応するものと考えられる(WRIGHT⁸⁾)。さらには、グループ主軸法によって算出された r_{LR} は、2形質

群間の多変量相対生長を示すとともに、*general* および *group size factor* の各形質への寄与の程度を示すといえる。即ち、 r_{LR} は葉部形質群および根部形質群を支配する2つの生長因子 *group size factor* の独自性を表わすとともに、2つの形質群の生育を共通に支配する程度をも示すものと思われる。

このような多変量解析法は、形質群の相対的關係に關する今後の育種学的研究に有効な統計的手法になるものと思われる。

参考文献

1. JOLICOEUR, P. 1963: The multivariate generalization of allometry equation. *Biometrics* 19: 497-499.
2. 宮浦邦晃・細川定治 1971: てん菜品種における生理学的、形態学的諸特性に関する統計学的解析。VIII. 異なる栽植密度における因子構造の季節変化。育学雑 21 卷 (別冊 2): 110-111.
3. 宮浦邦晃・細川定治・呉 詩都 1972: てん菜品種における生理学的、形態学的諸特性に関する統計学的解析。X. 遮光処理による各形質の関連性の変化について。育学雑 22 卷 (別冊 1): 51-52.
4. 宮浦邦晃・島本義也・細川定治・加藤勝信 1972: てん菜品種における生理学的、形態学的諸特性に関する統計学的解析。(諸形質間の関連性の分析への主成分分析応用に関する基礎的研究)。北海道大学農学部邦文紀要 第 8 卷: 110-117.
5. MORISHIMA, H. and H. I. OKA 1968: Analysis of genetic variations in plant type of rice. III. Variations in general size and allometric pattern among mutant lines. *Japan. J. Genetics* 43: 181-189.
6. OKA, H. I. and H. MORISHIMA 1968: Analysis of genetic variations in plant type of rice. IV. General growth rate, oscillating growth and allometric pattern. *Japan. J. Genetics* 43: 191-201.
7. 芝 祐順 1967: 行動科学における相関分析法。(6. グループ主軸法): 116-130, 東京大学出版会.
8. WRIGHT, S. 1918: On the nature of size factors. *Genetics* 3: 367-374.
9. WRIGHT, S. 1932: General, group and special size factors. *Genetics* 17: 603-619.

Summary

In order to evaluate the utility of the multivariate analysis for the comparison of the interrelationships among the characters regarding diploid and poly-

ploid varieties of sugar beets, principal component analysis (P. C. A.) and group-principal axes method (G. P. A. method) were applied. Of these methods, the latter was applied with the view of inducing some agronomic interpretations from the correlation between a set of characters representing the leaf-size and that representing the root-size. The experiment was conducted with six diploid varieties and five polyploid varieties, and each character was measured at July 21, August 26 and October 14. The analysis of variance showed the statistical differences between diploid and polyploid groups concerning the characters representing the shape of leaf, and the growth pattern of leaf and root (Table 1). Of these characters, 12 characters were utilized as the variables for P. C. A. and G. P. A. method. The results obtained were as follows;

1) The first two principal components were extracted from each of the six correlation matrices which were derived from the data of the above mentioned two groups in each of three growing stages. In July and August, the first principal component of polyploid-group appeared to be interpretable as the size factor. In October, the component representing the size factor in diploid-group appeared to correspond to the second principal component. On the other hand, such factor in polyploid-group appeared to the first principal component.

Furthermore, the correlation coefficients (r_{LR} 's) between two sets of characters which represent the leaf-size and the root-size respectively, were obtained from the above mentioned correlation matrices by G. P. A. method. The coefficients r_{LR} 's in diploid-group were constant at low level through the respective growing stages, but in polyploid-group, the r_{LR} showed slightly higher negative value in August as compared with those in other growing stages.

2) The correlation coefficients r_{LR} 's and the first principal components indicating the size factors were obtained from the within-variety correlation matrices. The coefficients r_{LR} 's of polyploid varieties resulted to more positive values than those of diploid varieties in October. In addition, in polyploid varieties from the middle to the end of growing season, the contributions (variances) of leaf characters to the size factors increased as the growth developed as compared with diploid varieties

(Table 3).

3) These facts were of interest in connection with the fact that variance analyses in Table 1 showed that the more vigorous growth of polyploid varieties were observed after the middle growing stage as compared with that of diploid varieties.

4) The coefficients r_{LR} 's of some varieties changed to positive drift from July to August, and then, to negative drift from August to October. On the other hand, those of other varieties showed the quite reverse pattern; such as changing to negative drift from July to August, then to positive drift from August to October. These facts suggest that the seasonal fluctuation of the interrelationships between two sets of characters, that is one of them concerned with the leaf-size and the other one with the root-size, depend on the genetic base of different varieties of sugar beet. Therefore, the statistics of r_{LR} was of interest in connection with multivariate relative growth and developmental genetics.

5) Principal component analysis was used to extract the common composite variables with maximum contribution (variance) to each characters in a set of characters so the variances of each characters in the principal component regarded as the size factor might be corresponded to the portion of the variance of each character determined by *general size factor* suggested by WRIGHT (1932). In addition, it seems probable that the correlation coefficient r_{LR} obtained by G. P. A. method represented not only the multivariate relative growth between two sets of characters, but also the degree of the *uniqueness* of each of two *group size factors* (leaf- and root-size factors) and also the *general effect of general size factor* influencing on the growth of leaf- and root-size.

Thus multivariate statistical techniques seemed to be very efficient for the agronomic investigation with respect to the interrelationships among the complexes of characters.