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 : 品種分類への主成分分析適用に関する基礎的研究
Author(s)	宮浦, 邦晃; 津田, 周弥; 細川, 定治
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 8(3), 277-288
Issue Date	1972-06-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/11838
Type	bulletin (article)
File Information	8(3)_p277-288.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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

―品種分類への主成分分析適用に関する基礎的研究―

宮浦邦晃・津田周弥・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

— Basic study on application of principal component analysis for classification of sugar-beet varieties —

Kuniaki MIYAURA, Chikahiro TSUDA and Sadaji HOSOKAWA
(Depertment of Agriculture, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Received November 30, 1971

緒　論

作物の品種或いは系統のもつそれぞれの特性やそれらの相互の関係を知る事は，育種材料の選択，環境適応性の検討等の育種の実際面の研究に必要であるとともに，育種学的或いは作物学的基礎研究に重要な資料を与える。品種の類別は，従来の低次元変量による統計的方法によっても或る程度行ないうるが，てん菜のような他殖性作物では単一形質については中間的特性を持つ品種が多く，少数の形質によって類別する事が困難な場合が多い。従って，多数の形質の一次結合による綜合的評価が要求されるが，多変量解析はこのような場合に有効な統計的方法である。

生物分類学においては，従来の系統分類の主観的な一面を是正するため数量分類が取り入れられつつある。特に多変量解析による数量分類は，電子計算機の普及により計算の煩雑さが除かれ，ますます発展しようとしている。系統分類学において植物を対象とした例は少ないが，MORISHIMA and OKA[7] がイネ属の系統分類に因子分析を応用した例がある。一般に広く作物学や育種学においては，多変量解析の中でも比較的客観的な数学的な解答が得られる主成分分析を適用した例が多く，望月ら[6] がとうもろこしで，塩見ら[9] が小麦で，浅間ら[1] が馬鈴薯で育種学的見地から，堀江ら[2),3)] が水稲で栽培学的見地から，それぞれ品種の特性を検討したが，主成分分析が品種の特性の綜合的解析に有力な手段となった事を認めている。

このように主成分分析は品種の総合特性の検討や品種相互の関係の数量化を容易にするが，一方では若干の問題点もまた認められる。例えば，特性のとり方，主成分の生物学的解釈，主成分値の算出における固有値の評価等であるが，これらについて十分な考察がなされた報告が少ない。

そこで，このような見地から本報は，これらの問題点についてさらに考察を進め，今後の作物学と育種学の分野への主成分分析応用のための基礎的知見を拡大する事を主な目的としている。本報の対象作物であるてん菜は，他殖性作物であり品種内変異が大きく試験研究のための多数の調査個体を必要とし，同時に品種間差が有意になる形質を多数得る事が困難である。また2年性作物のため測定形質が限定される事，中間的特性を示す品種が多い事等によってて ん菜では品種の綜合的分類は容易でなく，これまでに主成分分析による綜合的品種分類を大規模に行なった報告はなく，わずかに著者ら[4] が少数の品種で試みた例があるにすぎない。そこで本報では，てん菜における品種分類への主成分分析適用に関する基礎的資料を得る事を研究目的の一つとしている。一般に，てん菜は草姿に関しては直立型か開平型か，根型に関して

は根長型か根径型か，収量に関しては根重型か糖分型かによって品種の特性を類別する事が多い。しかし，前述の如く中間的特性を示す品種が多い事，これらの特性が互いに独立とは考えられない事等から品種相互の関係を数量化し，系統的に把握する事が望ましい。そこで本報では，特に根部の特性に限定し，根部の肥大様式と収量の関係が各品種間でどのように示されるかを検討し，これによって品種の類別を試みた。また，品種分類の再現性を検討するために，相互に近接する試験圃場 I（北海道大学農学部付属農場）と試験圃場 II（農林省北海道農業試験場）の2つの試験圃場を供用し，さらに生育に伴って品種の特性がどのように変化するかを検討するため，生育中期（7月）と収穫期（10月）の2つの生育時期においても品種分類を行なった。

なお，本報におけるすべての計算は北大大型計算センターにおいて行なったものである。

材料及び方法

供試品種は，根部の形態及び収量に差異があると思われる Zwanesse III（以下 Zwan. とする。），AJ 4, Dippes noro（以下 Dippes とする。），KWS-E, KWS-CR, KWS-E-Super（以下 KWS-E-S とする。），Klein Z, つきさっぷ（以下 Tsuki. とする。）本育 192 号，本育 401 号（以下それぞれ H 192, H 401 とする。），Dobrovicka A, Dobrovicka C（以下 Dob A, Dob C とする。）US 401, Hilleshög standard kl,（以下 Hill. とする。）Alba N 合成2号（以下 G-2 とする。）の 16 品種である。1968 年に試験圃 I（北海道大学付属農場）及び試験圃 II（農林省北海道農業試験場）の2カ所にて2反復を標準栽培した。調査形質は，試験圃 I では根重，根径，根端の直径が 2 cm 以上に肥大した部分までの長さ（以下単に根長とする。），糖分含有率（以下 Brix とする。），タッピング面より 10 cm までの重量（以下 10 cm 根重とする。）の根部に関して5形質を測定した。試験圃 II では，上記根部形質のうち 10 cm 根重を除く4形質を7月と10月の2回測定した。なお調査は試験圃 I, 試験圃 II ともに，各品種 15～20 個体を2反復個体調査した。

結果及び論議

1. 試験圃 I における品種分類

Table 1 は，根部5形質と根重と 10 cm 根重，及び根長と根径の相対的関係を示す比率の計7形質における各

Table 1.　Varietal means (Experimental field I)[o)]

Variety	RW[k)] (g)	RD[l)] (cm)	RL[m)] (cm)	Brix (%)	10 cm RW[n)] (g)	10 cm RW/RW	RL/RD
A) Zwan.[a)]	629	9.36	18.5	17.0	521	0.846	1.980
B) AJ 4	520	9.65	14.0	18.4	478	0.929	1.461
C) Dippes[b)]	470	9.47	13.9	18.1	435	0.932	1.493
D) KWS-E	514	9.73	14.3	17.2	484	0.945	1.472
E) KWS-CR	482	9.34	15.3	18.3	432	0.906	1.653
F) KWS-E-S[c)]	499	9.68	13.7	17.0	468	0.949	1.422
G) Klein Z	410	9.88	13.3	19.9	391	0.952	1.516
H) Tsuki.[d)]	564	9.04	17.4	16.5	481	0.863	1.947
I) H 192[e)]	551	9.46	17.9	18.7	477	0.847	1.895
J) H 401[f)]	336	8.33	12.2	20.3	313	0.952	1.479
K) Dob A[g)]	582	10.23	13.9	16.0	536	0.937	1.373
L) Dob C[h)]	509	9.59	13.9	19.1	470	0.932	1.455
M) US 401	487	8.99	17.0	17.5	426	0.879	1.903
N) Hill.[i)]	488	9.54	13.8	17.2	468	0.950	1.456
O) Alba N	420	9.02	14.0	18.2	397	0.946	1.559
P) G-2[j)]	474	8.82	15.7	17.5	419	0.893	1.805

a) Zwanesse III　b) Dippes noro　c) KWS-E-Super　d) Tsukisappu
e) Hon-Iku 192　f) Hon-Iku 401　g) Dobrovicka A　h) Dobrovicka C
i) Hilleshög standard kl.　j) Gosei 2　k) root weight　l) root diameter
m) root length　n) part of 10 cm from topping phase
o) Experimental field of Hokkaido Univ. Agr. Fac.

Table 2. Variance analysis (Experimental field I)

source of variance	d.f.	RW	RD	RL	Brix	10 cm RW	10 cm RW/RW	RL/RD
Varieties	15	9898.41**	0.4146**	6.7373**	2.7712**	5914.33*	0.0030**	0.090714**
Replications	1	2971.59	0.2700	7.6638**	0.0140	1143.00	0.0006	0.158023**
Error	15	2806.05	0.1084	0.6996	0.2114	1663.87	0.0004	0.006610

** significant at 1% level * significant at 5% level

Table 3. Correlation coefficients (Experimental field I)

characters	RW	RD	RL	Brix	10 cm RW	10 cm RW/RW	RL/RD
RW	1.000						
RD	.666**	1.000					
RL	.673**	−.014	1.000				
Brix	−.715**	−.556*	−.395	1.000			
10 cm RW	.951**	.846**	.441	−.740**	1.000		
10 cm RW/RW	−.607*	.102	−.973**	.268	−.348	1.000	
RL/RD	.394	−.364	.934**	−.196	.116	−.941**	1.000

** significant at 1% level * significant at 5% level

品種の平均値を示している。また Table 2 には各形質における分散分析の結果を示したが，いずれの形質も5%水準以下で品種間差が有意であった。そこで各形質平均値から代表的な品種の特性について検討すると，Zwan. は根重，根長が供試品種中最も大きいが，根径はむしろ小さい品種に属する。この事は，10 cm 根重/根重が最小，根長/根径が最大となって示されているように，Zwan. がいわゆる根長型品種であるといえる。Dob A は，根重が2番目に大きく，根径は最も大きいが，根長は小さい品種に属する。また10 cm 根重/根重は，7番目に大きく，根長/根径は最も小さい。この事は，Dob A が Zwan. と共に根重型品種に属するにもかかわらず，しかも根径型品種であるといえる。このように，同じ根重型品種に属しても，根部の肥大様式によって根径型と根長型にそれぞれ類別される。同様にして，各品種を特徴づける事によって品種の類別を行なう事はできるが，すべての品種について個々に行なう事は，煩雑であり，各品種の相対的関係を系統的に検討する事は困難である。そこで，各品種の相対的関係を根部7形質からなる合成変量によって数量化するため，主成分分析を行ない，各主成分の解釈を行なう一方，各品種の総合値を算出し品種の類別を試みた。

Table 3 は，根部7形質に関する品種相関を示しているが，個体の生育量を示す根重，根径，根長，10 cm 根重は互いに正の相関を示し，Brix はこれらと負の相関を示した。ただし，根長は相径と無相関であり，10 cm 根重や Brix とも低い相関を示した。また，10 cm 根重/根重は，根長/根径と負の相関関係にあり，同時に前者は根長と負，後者は根長と正の高い相関を示したが根径とは無相関であった。つまり，10 cm/根重，根重/根長根径は共に根長の大きさと関連するが根径の大きさとは無関係であった。

Table 3 の相関行列より主成分分析を行ない，Table 4 の1列，2列に第2主成分までの固有値，固有ベクトルを示した。第1，第2主成分の合計分散は，全分散の93%になった。また，各形質の第2主成分までの累積寄与率は Brix を除きすべて93%以上であった。この事から，根部の形態的形質に関しては，第1，第2主成分を座標軸とする平面で十分説明し得るものと考えられた。

第1主成分は，根重，根径，根長，10 cm 根重の生育量を示す形質が正の固有ベクトルを示し，Brix が負の固有ベクトルを示したので，一般にこのような主成分を「大きさに関する因子」*size factor* と呼ぶ事が多いが，10 cm 根重/根重，根長/根径がそれぞれ負，正の大きい固有ベクトルを持つ事や根径が小さい正の固有ベクトルを示した事から第1主成分を単に *size factor* とする事はできない。また，第2主成分についても根径が正の大きい固有ベクトルを示し，根長，根長/根径が負の固有ベクト

Table 4. Eigen values, eigen vectors and structure vectors extracted from principal components, and rotated vectors (Experimental field I)

character	Eigen vector		Structure vector[a)]		Rotated vector[b)]		
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	F_1	F_2	$h_2^{2c)}$
RW	.468	.175	.945	.272	.870	−.459	.97
RD	.224	.548	.453	.852	.917	.300	.93
RL	.426	−.320	.861	−.497	.276	−.955	.99
Brix	−.356	−.259	−.719	−.402	−.797	.209	.68
10 cm RW	.408	.349	.825	.543	.971	−.181	.98
10 cm RW/RW	−.393	.374	−.795	.581	−.170	.970	.97
RL/RD	.320	−.488	.647	−.758	−.061	−.993	.99
Eigen value	4.09	2.42					
% variance	58	35					

a) structure vector; $\sqrt{\lambda_k}\, l_{ik}$
λ_k; eigen value of k-th principal component
l_{ik}; eigen vector of i-th character in k-th principal component
b) after varimax rotation
c) cumulative contribution; $h_2^2 = \sum_{k=1}^{2} R(Z_k, x_i)^2$
$R(Z_k, x_i)$; structure vector

ルを示した事から，第2主成分を根径，根長の相対的関係を示す「形に関する因子」*shape factor* とする事が多いが，そのように解釈すれば根径，根長が互いに負の関係にあるとせねばならず，Table 3 の相関表から両形質はむしろ独立の関係にある事と矛盾した。このように，各主成分の解釈においては，単に各形質の固有ベクトルの正負によるばかりでなく，その大きさを十分配慮すべきであるといえる。特に本報の如く主成分値による品種分類を試みる場合，各主成分の解釈が明確でなければ，各品種の特性を示す事ができない。本報では，抽出された主成分の固有ベクトルに大きい差がなく，どの形質が各主成分を支配しているか明確ではない。そこで，バリマックス法によって因子軸の回転をし単純構造を求めた。なお，バリマックス回転にあたっては，固有ベクトルによらず構造ベクトル，即ち主成分と形質の相関係数によった。Table 4 の3列，4列には因子回転前の構造ベクトルを示している。

Fig. 1 は因子回転前の構造ベクトルの平面撒布図である。これによっても，第1，第2主成分を単に *size factor*, *shape factor* と解釈せず，根重，根径，10 cm 根重からなる形質群と根長，根長/根径からなる形質群，これらの形質群とそれぞれ負の関係にある Brix, 10 cm 根重/根重の4つの形質群に分離できる事から破線の如く約45度回転し，新しい因子軸 F_1, F_2 を得る方がより明確な因子の解釈が可能になるものと考えられた。バリマックス法によって得られた新しい因子軸 F_1, F_2 の構造ベクトルを Table 4 の5列，6列に示した。

第1因子 F_1 は根重，根径，10 cm 根重，Brix に支配される因子であり，第2因子 F_2 は根長，10 cm 根重/根

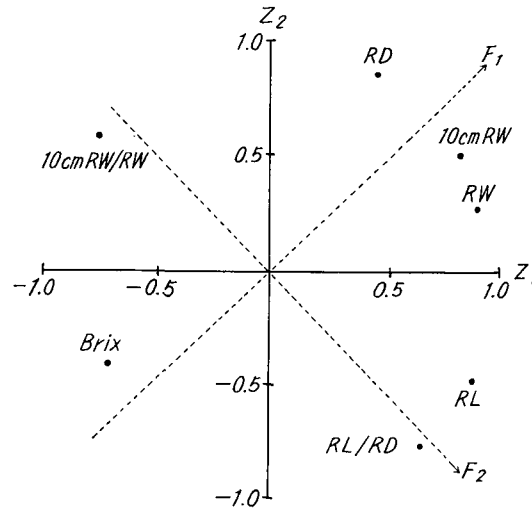

Fig. 1. Scatter diagram of structure vectors.

重，根長/根径によって支配される因子である。F_1 を *size factor* とする事は回転前の第1主成分を *size factor* とするよりもやや合理的であるが，むしろ F_1 が根径の大きさ，F_2 が根長の大きさを示すとし，根径の大きい品種ほど根重が大きいと解釈し，F_1 のスコアが大きく，F_2 のスコアが小さい品種ほど根部の size が大きいとした方がより合理的であると思われる。

次にバリマックス回転前の構造ベクトルを重みベクトルとして算出した各品種の主成分値を Fig. 2 a に，回転後の各品種の因子スコアを Fig. 2 b に示した。Fig. 2 b は a を時計廻りの方向に約45度回転した事になり，各品種の相対的関係には変化はない。Fig. 2 a において第1主成分値が size の大きさを示し，第2主成分値が根径，根長の大小を示すとすれば，Dob A は Tsuki. や H 192 より size が小さく，H 401 は Zwan. と同程度の根径，根長をもつ事になり，Table 1 の品種平均値と矛盾する。この事からも回転前の主成分の解釈は不合理であったといえる。

Fig. 2 b では，F_1 のスコアが大きい品種は根重，根径が大きく，糖分が低いいわゆる根重型品種であり，Dob A, Zwan. がこれに属する。一方，F_1 のスコアが小さい品種は糖分型品種であり，H 401 が代表的品種である。F_2 は根長の大きさを示す因子であり，根径に関しては意味を持たない。従って，F_2 のスコアが小さい品種は根長の大きい品種で Zwan. が代表的であり，F_2 のスコアが大きい品種は根長の小さい品種で H 401 が代表的品種である。このように根長型と根径型の類別は，F_1, F_2 のスコアの相対的関係により，F_1, F_2 のスコア単独では行なう事はできない。

本報では，従来のてん菜品種類別の慣例に従い根部の肥大様式を根径型と根長型で示したが，根径型には楔型，コマ型等と呼ばれる品種が該当し，根長型には円筒型，紡錘型等と呼ばれる品種が該当する。てん菜は，生育初期より直根が伸長し，以後根部の生長の大部分が直根の肥大によって占められる。従って根長型とは，垂直方向への肥大，つまり下部の肥大が旺盛なため，肥大部分までの長さが長い事を示す。また，根径型とは水平方向の肥大が旺盛であり，同時に上部の肥大が大きい事を示す。従って根径と根長は *general size factor* によって，或る程度の正の相関がみられるが，本報で示された如く一般に低い相関が示される事が多い。この事は，水平方向と垂直方向の2つの肥大様式に関する独立な遺伝要因が根部の肥大を大きく支配しているためと考えられる。

Fig. 2 b において，16品種を次の6品種群に大別した。

A群……第IV象限に位置し，根重，根径，根長共に

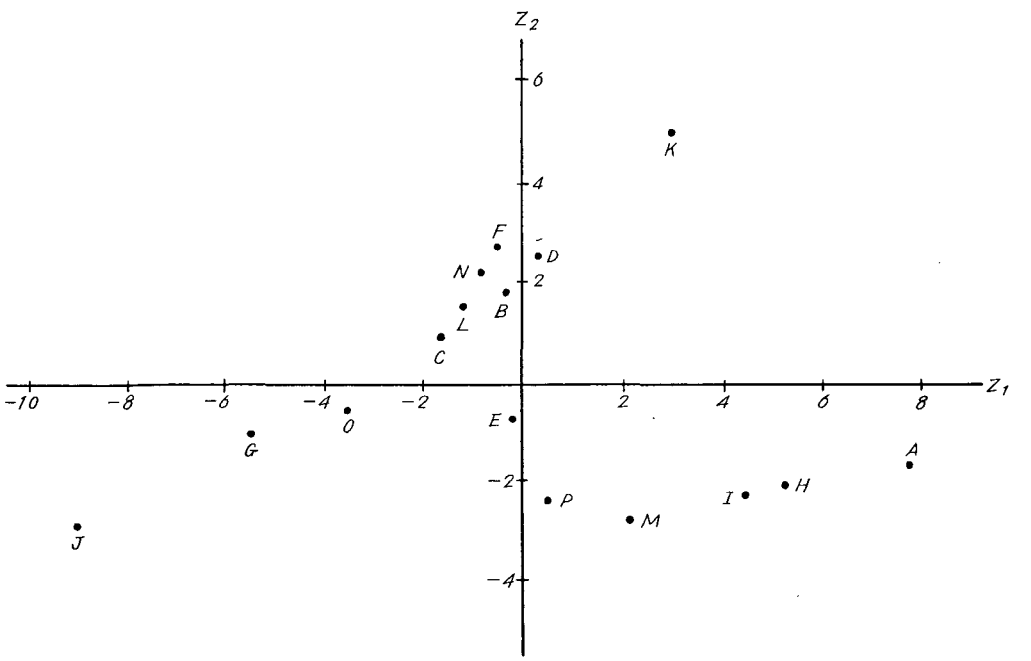

Fig. 2. a. Scatter diagram of varietal scores weighted by structure vectors (Experimental field I).

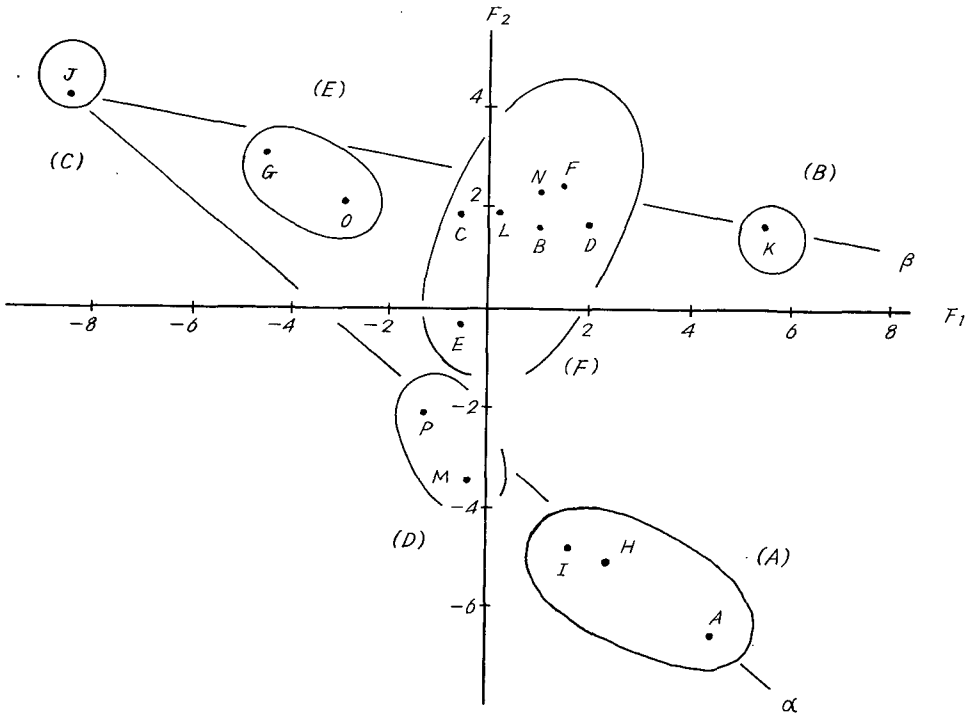

Fig. 2. b. Scatter diagram of varietal scores weighted by rotated vectors (Experimental field I).

大きく，根部全体としての size の大きい品種だが，F_2 のスコアが特に小さいため根長型品種に属すると考えられる。

B群……第I象限に位置し，F_1 のスコアが著しく大きく，F_2 のスコアは正の値を示す事から根径型品種と考えられる。

C群……第II象限に位置し，F_1 のスコアが著しく小さく，F_2 のスコアが大きい事から，根部全体としての size が著しく小さい品種と考えられる。

D群……第III象限に位置し，F_1 のスコアが O に近く，F_2 のスコアが負のやや大きい値を示す事から，size は大きくないが，やや根長型に属すると考えられる。

E群……C 群同様に第II象限に位置するが，C 群より size が大きいが全品種の中では小さい品種と考えられる。

F群……原点付近に位置し，size，根型ともに中間型と考えられる。

なお，Fig. 2 b において，A, B, C 品種群を頂点とする3角形の外に大きく出る品種はなく，A 群，C 群を結ぶ直線 α 上に D 群が位置し，B 群，C 群を結ぶ直線 β 上に E 群，F 群が位置した事は，てん菜品種の根部の肥大様式の変異が定方向的である事を示すものとして興味深い。

2. 試験圃 II における品種分類

前節では試験圃 I で調査された根部7形質について主成分分析を行ない品種の類別を試みだが，その再現性をみるため試験圃 II で栽培された同一品種に関して，同様にして品種分類を試みた。なお，試験圃 I で測定した 10 cm 根重は根重と相関が著しく高く，また 10 cm 根重/根重は根長/根径と相関が高かったため簡略化のため本節ではこれら2形質を除き，根部5形質について主成分分析を行なった。

Table 5, 6 は，7月，10月における5形質の品種平均値，分散分析の結果を示している。すべての形質が5%水準以下で品種間差が有意になり，7月より10月の方が分散が大きくなる傾向にあった。また，根型を示す根長/根径の平均値は，7月より10月の方が小さくなった。つまり生育に伴って根部の肥大は水平方向の方が垂直方向より上回る事を示している。

Table 7 は，7月，10月における5形質についての品

Table 5. Varietal means (Experimental field II)[a)]

variety	July RW (g)	July RD (cm)	July RL (cm)	July Brix (%)	July RL/RD	October RW (g)	October RD (cm)	October RL (cm)	October Brix (%)	October RL/RD
A) Zwan.	131	5.62	11.9	11.3	2.131	602	10.09	15.0	20.2	1.501
B) AJ 4	121	5.64	9.9	12.2	1.768	560	10.64	13.4	22.7	1.273
C) Dippes	120	5.47	11.1	12.0	2.043	511	10.39	13.4	22.3	1.296
D) KWS-E	134	5.67	10.6	11.3	1.885	601	10.71	13.5	20.6	1.269
E) KWS-CR	120	5.50	11.9	12.2	2.191	493	9.97	13.3	22.6	1.334
F) KWS-E-S	166	6.18	11.8	11.3	1.935	609	10.89	13.6	20.9	1.259
G) Klein Z	120	5.41	11.1	12.5	2.058	420	9.43	12.6	24.4	1.307
H) Tsuki.	113	5.10	11.8	11.6	2.322	593	9.45	17.3	20.6	1.847
I) H 192	102	4.90	11.3	12.2	2.330	516	9.68	15.2	22.1	1.587
J) H 401	83	4.85	9.2	13.2	1.902	383	9.19	11.3	24.2	1.243
K) Dob A	134	5.96	10.1	11.4	1.713	675	11.34	14.1	19.8	1.261
L) Dob C	118	5.82	10.4	11.9	1.819	573	10.79	13.3	22.4	1.245
M) US 401	98	4.97	9.7	11.6	1.993	520	9.47	15.3	21.1	1.639
N) Hill.	132	5.85	11.5	10.8	1.977	591	10.51	14.0	20.9	1.341
O) Alba N	104	5.15	10.7	11.3	2.116	457	9.88	12.3	21.4	1.257
P) G-2	110	5.14	11.4	12.7	2.229	525	9.58	15.4	21.5	1.624

a) Hokkaido national agricultural experiment station

Table 6. Variance analysis (Experimental field II)

source of variance	d.f.	RW	RD	RL	Brix	RL/RD
(A) July						
Varieties	15	717.792**	0.3217**	1.4190*	0.8021**	0.06986**
Replications	1	2048.000**	0.9800**	2.1425	5.8825**	0.01390
Error	15	129.270	0.0597	0.4961	0.1703	0.01546
(B) October						
Varieties	15	11699.500**	0.8197**	4.1797**	3.5392**	0.06939**
Replications	1	569.750	0.0956	0.3200	0.1055	0.00133
Error	15	2119.650	0.1697	0.3360	0.2439	0.00377

** significant at 1% level * significant at 5% level

種相関を示している。7月と10月の2つの相関表の間には大きな差はなかった。7月と10月の2つの相関行列について，それぞれ主成分分析を行ない，前節のように構造ベクトルを求め，固有値とともに Table 8 に示した。

7月では，第2主成分までの合計分散は全体の88%，10月では95%を示し，両時期とも5次元空間を第1，第2主成分を座標軸とする平面に凝縮することができた。7月における第1主成分は，根重，根径が正，Brix が負の大きいベクトルを示し，第2主成分は根長，根長/根径が正の大きいベクトルを示した。これは，前節におけるバリマックス回転後の F_1, F_2 と同一内容を示すものであり，実際に2つの主成分をバリマックス回転すると Table 8 の3，4列に示されたように，回転前とほぼ一致した。この事は，7月において根径，根長が相互に強い独立性を示すためといえる。

Table 7. Correlation coefficients (Experimental field II)

characters	RW	RD	RL	Brix	RL/RD
RW	1.000	.907**	.492	−.604*	−.293
RD	.747**	1.000	.246	−.562*	−.576*
RL	.523*	−.130	1.000	−.328	.646**
Brix	−.833**	−.455	−.598*	1.000	.146
RL/RD	.112	−.549*	.898**	−.314	.1000

Above the diagonal: July Below the diagonal: October
** significant at 1% level
* significant at 5% level

Table 8. Structure vectors and rotated vectors (Experimental field II)

characters	July				October			
	Structure vector		Rotated vector		Structure vector		Rotated vector	
	Z_1	Z_2	F_1	F_2	Z_1	Z_2	F_1	F_2
RW	.956	.092	.958	.065	.890	−.425	.970	.180
RD	.947	−.208	.941	−.235	.395	−.901	.850	−.496
RL	−.408	.892	.433	.880	.825	.538	.350	.921
Brix	−.760	−.139	−.764	−.118	−.911	.170	−.837	−.399
RL/RD	−.393	.917	−.367	.928	.524	.849	−.076	.995
Eigen value	2.71	1.71			2.73	2.03		
% variance	54	34			55	41		

10月では，第1主成分は根重，根長が正，Brix が負の大きいベクトルを示し，第2主成分は根径が負，根長/根径が正のベクトルを示した。これは前節の試験圃Iにおける回転前の主成分の内容と一致し，単純構造を求める必要があった。そこでバリマックス回転を行なえば，新しい因子は7月の主成分と同一内容になった。この事は生育時期によって根部に関する因子構造が潜在的には変化しない事を示すものである。

回転後の構造ベクトルから F_1, F_2 の品種スコアを算出し，7月を Fig. 3, 10月を Fig. 4に撒布した。7月は，10月より品種間の分散が小さく，品種の類別は困難であったが，前節で試みた如く F_1, F_2 のスコアの大小によって次のように6品種群に大別した。

A群……根長，根径ともにやや大きくバランスがとれている品種
B群……極端な根径型品種
C群……極端に size の小さい品種
D群……根長型品種
E群……やや根径型品種
F群…… size, 根型とも中間型

10月においても同様に次のように6品種群に大別することができた。

A群……著しい根長型品種
A′群……根長，根径ともにやや大きく，バランスのとれた品種
B群……著しい根径型品種
C群……著しく size の小さい品種
D群……A群に類似しているが，size が小さい根長型品種
F群……根型，size ともに中間型

7月，10月の2つの生育時期における相関表より個々に主成分分析を行なったので，7月，10月の因子スコアの大小の比較はできないが，回転後の F_1, F_2 の因子構造が一致した事から，品種間の相対的関係の比較や，各品種の特性の変化を検討する事はできるものと考えられた。各品種の特性は7月と10月の間でほぼ類似した傾向がみられたが，Hill., KWS-E-S, Tsuki., US 401, Klein Z の各品種は7月と10月において異なった品種

群に属した。草姿が開平型である。Hill., KWS-E-S は，初期生育が旺盛な品種であり，根径の肥大が生育初期に最も盛んなため7月では根径，根重が最も大きい品種 E 群を構成したが，10月では中間型 F 群に変化した。同様に，開平型である Klein Z は，7月では中間型 F 群に属したが，10月では size の小さい品種群 C 群に変化した。一方，草姿が直立型である Tsuki., US 401 はそれぞれ7月に比較して10月の方がより根長型に変化した。このように，7月と10月において著しく変化した品種について矢印によって変化の方向を Fig. 3 で示した。生育に従い，F_1 のスコアが負の方向に変化する品種は草姿が開平型であり，F_2 のスコアが正の方向に変化する品種は直立型品種であった。なお，草型が中間型である Dob A は F_1, F_2 ともに正の方向に変化した。つまり草姿が直立型の品種に根長型品種が多く，生育中期から根部の特性が一層明確になった。一方，開平型の品種に根径型品種が多く，生育初期にすでに特性が表われる傾向がみられた。このような草姿と根型や根部の初期生育の程度の間にみられた関係は育種学的見地からも興味深いものと考えられる。

Fig. 4 において A 群，B 群を結ぶ直線 α, β を実線で示した。また，Fig. 3 の7月においても C 群を中心にして Fig. 4 のように2直線 α, β を引けるものとして実線で示した。その結果7月では2つの直線のなす角度内にほとんどの品種が位置するが10月になると2直線に沿って分離する傾向がみられた。この事は，てん菜品種が生育に伴い，2つの直線に沿って根部の特性に関する変異が拡大されていく事を示すものと考えられる。

3. 試験圃 I および試験圃 II における品種分類の比較

試験圃 I では根部7形質について，試験圃 II では根部5形質について，それぞれ主成分分析を行なったが，いずれも第2主成分までの合計分散が全分散の90%近く，本報においては根部に関して測定された形質による品種分類は，第1，第2主成分を座標軸とする平面上において十分可能であると考えられた。

試験圃 I における品種スコアを示した Fig. 2 b と試験圃 II における10月の品種スコアを示した Fig. 4 とを比較すると，全体としては両者の間に大きな差はなかった。しかし Table 1, 5 の品種平均値を比較すると根重，根径，Brix ともに試験圃 II が試験圃 I を上回るが，根長，根長/根径の両形質は試験圃 II の方が大きかった。また Table 2, 6 の分散分析の結果からも根重，根径，Brix の品種間差は試験圃 II の方が大きく根長，根長/根径の品種間差は試験圃 I の方が大きかった。これらの事から試験圃 II の方が根重，糖分共に高く，根径型になり

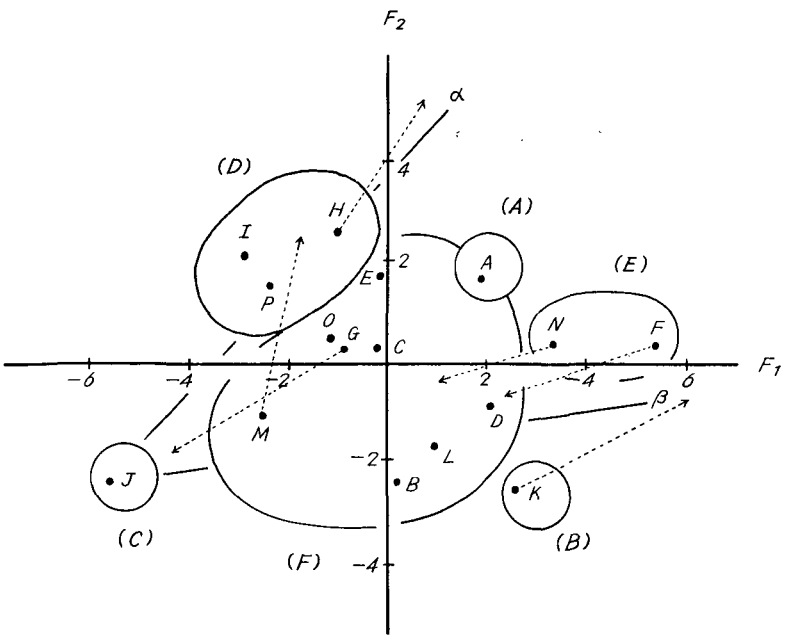

Fig. 3. Scatter diagram of varietal scores weighted by rotated vectors (July, Experimental field II).

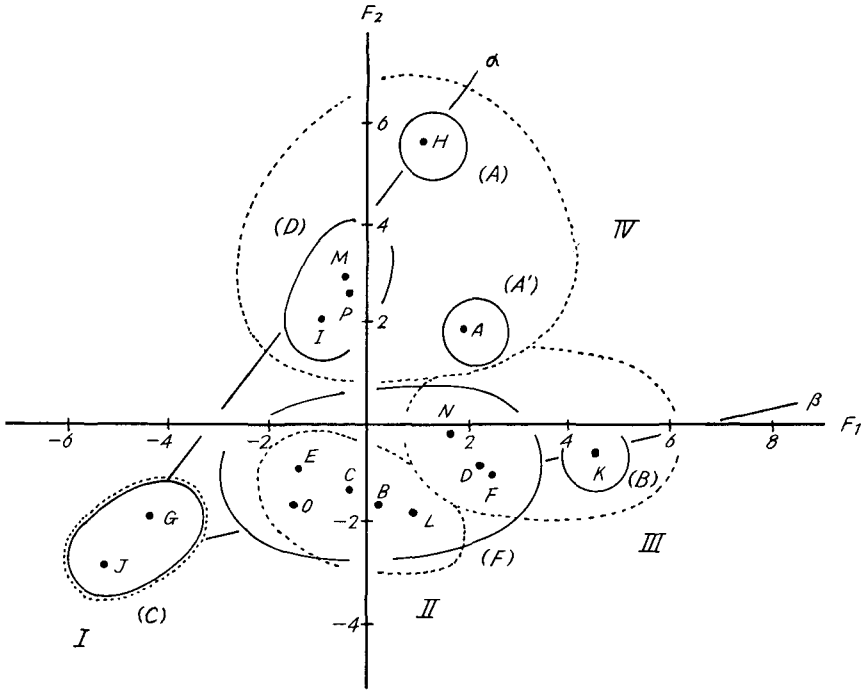

Fig. 4. Scatter diagram of varietal scores weighted by rotated vectors (October, Experimental field II).

やすく，根径型品種間の差が大きいといえる。一方試験圃Iは根長型になりやすく，根長型品種間差が大きいといえる。試験圃Iと試験圃IIはともに比較的近隣に位置しており，気温，日照量等の気象条件はほとんど差がないと考えられるが，前者の土壌が沖積土，後者が火山灰土である事がこのような根部の肥大様式の差を生じた主な原因ではないかと考えられる。

試験圃I，試験圃IIにおいて，ともにH 401を中心に直線 α, β を得る事ができた。H 401は，供試16品種中最もsizeの小さい品種であるが，直線 α, β がH 401を始点とする有向半直線と考えるなら，矢印の方向に向ってsizeが大きくなったり，根型もまた根長型及び根径型の程度が著しくなり，しかもこの傾向は生育が進むに従って顕著になる傾向がみられた。しかし，試験圃IIにおいてZwanが直線 α, β の中間に分布したようにただちにすべてのてん菜品種が2直線 α, β 上に分布するとは結論できないが，少なくともsizeが大きくなるに伴って根部の肥大様式の差異が2直線 α, β に沿って拡大される傾向にあるといえる。

2つの試験圃における品種分類の結果を総合する事によって，4つの品種群にまとめFig. 4において破線で示した。第I群を中心にして，第IV群は α 直線に沿って分布し，第II，第III群は β 直線に沿って分布している。しかし，第I，第II，第III群は β 直線上に連続的に分布しており明確な品種の類別を行なう事はできないが，少なくともこのように直線上に分布した事によって品種分類の目的の1つである品種の相対的位置を知るために十分な知識を得る事ができた。

なお本報では再現性の検討のため環境が類似した2つの試験地で栽培された品種について主成分分析を応用したが，異なった環境条件下での品種特性の変化を同様にして検討する事によって品種の環境適応性を総合的に理解できるのではないかと思われる。

4. 品種分類への主成分分析応用に関する問題点

作物品種分類への主成分分析応用に関する研究は，緒論でも述べたように最近特に電子計算機の使用によって発展しつつあるが，なお若干の問題点が残されている。その1つは主成分分析によって抽出された各主成分の生物学的解釈が常に明確になし得るとはかぎらない事である。例えば，塩谷，川瀬[10]は *Ipomoea* 属における新合成甘しょの育成に関する研究において，その系統分類に主成分分析を用い，抽出された主成分に鮮明な生物学的意義をみい出す事が容易でない場合が多く，従って，客観的な主成分の意味づけができない事があったと指摘し

ている。このような例は本報において試験圃I及び試験圃IIの10月でもみられた。

主成分分析はすべての変量（形質）と相関が高くなるような合成変量を求める方法であり，従って抽出された主成分が必ずしも生物学的解釈が可能とはかぎらない。主成分分析の特徴は，互いに正の相関関係にある変量を扱った時，一般因子を抽出する事ができる点であるが，品種分類ではこのような一般因子を得る事は少なく，明確な主成分の解釈が困難な事が多い。本報においては単に品種を類別するだけでなく分類された品種群の特性を知り，異なった場所や生育時期における再現性の程度を検討するためには抽出された主成分をそのまま用いる事は不合理な点が多い事が示された。そこでその解決法の1つとして単純構造を得るためバリマックス法による因子軸の回転を試みた。バリマックス法は，n 個の変量がいくつかの異なる属性を測定している事が予想されながらも，それらをどのようにグループわけするかについてあらかじめ何の手がかりももっていない場合，ある客観的な基準に従って n 個の変量をいくつかのグループにわけるための手がかりを与える，つまり単純構造をもった合成変量を求める方法である。勿論，測定形質によっては単純構造を得られない場合や，得られたとしても生物学的解釈が困難な場合も考えられるが，本報ではバリマックス法によって試験圃I，試験圃IIの7月，10月における因子構造が類似し，回転前より因子の解釈や比較が容易になった。従って，バリマックス法は主成分分析によって明確な主成分の解釈が困難な時の有力な解決法の1つと考えられた。

さらに，品種分類への主成分分析応用に関して各主成分の固有値の差の評価もまた問題点と考えられる。抽出された各主成分の固有値が全て等しくなる事は有り得ず，むしろ本報の如く相互に相関関係にある形態的形質，特に生育量に関する形質を変量として主成分分析すれば，第1主成分が第2主成分以下と比較して著しく大きい固有値を持つ事が多い。一般に固有ベクトルは，各主成分毎に平方和が1になるように規準化する事が多く固有値の小さい第2主成分以下では少数の変量が1に近い固有ベクトルを持つ事が多い。即ち固有値の小さい主成分における各品種スコアは少数の形質に支配される事になる。従って，このように固有値の差を無視し，各品種間の距離を算出する事によって，品種間の相対的関係を検討すれば固有値の小さい主成分を支配した少数の形質によって距離が拡大され正確な関係を求める事が不可能になる。例えば，著者[5]はてん菜品種の栽植密度反応を数量化するため，3つの主成分からなる3次元空間における主成分値の変化を距離によって求めたが，この場合第3主成分で大きい固有ベクトルを示した2,3の形質の固有ベクトルの大小によって密度反応は支配され，総合的な密度反応の数量化が困難であった。

本報では，その解決法として主成分と変量の相関係数，即ち構造ベクトルを用いて主成分値を算出した。これによって固有値の差を重みベクトルに付加する事ができ，ある程度適正な主成分値を得る事ができるものと思われる。なお，数学的モデルとしては，さらに固有値で除す必要があるが本報では規準化による主成分の分散の均一化を避けた。

さらに主成分分析による品種分類にかぎらず，測定形質の選択は重要であり，特に本報の如く測定形質が少ない場合には十分考慮する必要がある。本報では，根長/根径，10 cm 根重/根重の比率が用いられたが，いずれも根型を示す適確な形質とはいえなかった。特に，一般に根型の指標として用いられる根長/根径は根長の分散が根径の分散より著しく大きかったため，根長と根径の相対的関係を適切に示す事ができなかった。今後はさらに適切な根型を示す形質を考慮し，より多くの形質と広範囲な品種を用いる必要があるものと思われる。

摘　　要

本報はてん菜の品種分類への主成分分析応用に関する基礎的知見を得るため行なった。品種分類としては供試品種，測定形質が少なかったが，品種分類への主成分分析適用に関する2, 3の問題点を指摘し，その解決法を検討する事ができた。例えば，抽出された主成分の生物学的解釈が困難な場合，バリマックス法によって主成分を単純構造に変換すれば解釈が容易になる事が認められた。

また品種分類の再現性を検討するため，気象条件が類似した2つの試験圃を設け，さらに生育に伴う品種の特性の変化をみるため7月と10月の2つの生育時期で調査した。その結果，2つの試験圃における再現性は強く，これらを綜合すると概ね4つの品種群に類別する事ができ，各品種は根部の肥大様式を示す2つの直線 α, β に沿って変異し，さらに生育に伴ってその変異は拡大する事が系統的に把握する事ができた。

参 考 文 献

1) 浅間和夫・上野賢司 1967： 馬鈴薯の育種法に関する研究，第1報　交配母本の選定に関する一考案. 北農，第34巻，第7号.

2) 堀江正樹・山本　巌・細山利雄 1966： 作物の諸特

性についての統計学的解析. II. いくつかの栽植密度における水稲の形態的総合特性の品種間差異. 日作紀 **35**: 148-154.

3) 堀江正樹・山本 厳・細山利雄 1967: 作物の諸特性についての統計学的解析. IV. 2つの窒素施用水準における, いくつかの栽植密度ごとに水稲品種を一括したときの形態的総合特性の品種間差異. 日作紀 **36**: 173-178.

4) 宮浦邦晃・島本義也・細川定治 1968: てん菜品種における生理, 形態的諸特性に関する統計学的解析. 1. てん菜品種における形質間相関. てん菜研究報告 補巻10.

5) 宮浦邦晃・島本義也・細川定治 1969: てん菜品種における生理, 形態的諸特性に関する統計学的解析. 2. 異なる栽植密度における品種の密度反応. てん菜研究報告 補巻11.

6) 望月 昇・奥野忠一 1967: 主成分分析法によるトウモロコシ四国在来種の品種分類と育種材料の探索 育学雑 第17巻: 282-291.

7) MORISHIMA, H and H. I. OKA 1960: The pattern of interspecific variation in the genus *oryza* Its quantitative representation by statistical methods. Evolution **14**: 153-165.

8) 岡田豊日 1967: 数量分類学の展望と批判. 生物科学 第19巻, 第1号: 3-10.

9) 塩見正衛・福永公平 1967: 小麦品種検定試験の計画とその統計解析. 直交表の利用と主成分分析. 農技研報告 A, 第14号.

10) 塩矢 格・川瀬恒男 1971: Ipomoea 属における新合成甘しょの育成に関する研究. I. Ipomoea 二倍性系統群の形質相関と系統の分類. 三重大学農学部育種学教室報告.

Summary

This report is one of the investigations conducted for the reasonable classification of sugar-beet varieties by means of principal component analysis (P.C.A.).

Sixteen varieties were grown in two locations and two growing stages, and five or seven characters in tap root showing the statistically significant difference were used as variables in this analysis.

As occasionally resulted in the application of P.C.A. method in biology, it was impossible to obtain the satisfactory set of refernce axes for biological interpretation, but varimax rotation was effective to obtain the simplified structure for the said purpose. Furthermore, this method made it possible to give the common biological interpretation to the components obtained in different locations and growing stages, and to represent each variety on the similar relative locations in each scatter diagram.

Varieties were classified into four major groups by this method, and scattered along the two lines designated as α and β, which represented the root growing pattern. Moreover, the variation between these groups detected along the lines became conspicuos as the growth proceeded.