



Title	テンサイの根重と糖分の間の負の相関々係に関する育種学的研究 : X II. 葉部形質による選抜の重回帰分析
Author(s)	津田, 周彌; TSUDA, Chikahiro
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(1), 1-12
Issue Date	1978-07-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11903
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(1)_p1-12.pdf



テンサイの根重と糖分の間の負の相関々係 に関する育種学的研究

XII. 葉部形質による選抜の重回帰分析

津 田 周 彌

(北海道大学農学部・工芸作物学講座)

(昭和52年7月1日受理)

Genetic Studies on the Negative Correlation between Root Weight and Sugar Content in Sugar Beets

XII. Regression analyses for selected progenies on foliar traits of mother plant

Chikahiro TSUDA

(Laboratory of Industrial Crops, Faculty of Agriculture
Hokkaido University)

緒 言

著者は前報(1977⁶⁾)においてテンサイの雑種集団から葉の分化速度と葉の大きさについて個体選抜を行い、その母系系統の根重と糖分の調査結果に基づいて、これら葉部形質が選抜の指標として有効であることを論じた。

本論文においては以上の実験結果について重回帰分析を行い、観察容易なこれら葉部形質についての選抜が、後代の根重、糖分の遺伝的変動、両者間の負の相関にどの程度影響したかを評価し、また得られた重回帰式の予測の機能の有効さを検討し、今後の研究の資料とすることを試みた。

材料と方法

供試した材料は根重型品種 KWS-E と高糖性自殖系統 S-26 のそれぞれ1個体の間で行った交雑の後代である。約800個体のF₂およびF₃世代について、収穫時の1葉身重(最大生葉から内方へ数えた10枚の葉の新鮮重量の平均値)と8月21日以降(1972年)の発生葉数の2形質のそれぞれについて、高低2方向に選抜し、両形質ともに高い値を示す群-LL群(32個体)、両形質とも低い値を示す群-SS群(24個体)、両形質のうち1葉身重が高く、発生葉数の少ない群-LS群(57個体)および

1葉身重が低く、発生葉数が多い群-SL群(31個体)に分類し、各群を互に隔離、個体ごとに採種した。1974、1975年の両年、各群から充分種子の得られた5系統ずつを選んで親系統とともに2回反復の乱塊法に従って栽培し、根重・糖分のほか種々の形質を調査した。その詳細については前報(1977⁶⁾)に報告した。

重回帰分析は選抜後代の根重と糖分(携帯用検糖計の読み)の系統平均値のそれぞれを目的変数、後に示す選抜個体の諸種の形質を説明変数として採用し、計算は全て北大大型計算センターにおいて行い、主としてBMD(Biomedical computer program)のステップワイズによる回帰分析法を用いた。用いた変数のうち根重は常用対数変換、葉の分化速度は平方根変換を行って用いた。

結果と論議

1. 形質間相関 選抜を行った世代においては合計24の形質が測定されている。すなわち萌芽から7月10日、7月11日~7月30日、7月31日~8月20日、8月21日~9月10日、9月11日~収穫(10月7日)に至る5期間にそれぞれ発生した葉の数を10日間あたりに換算した数値をもって葉の分化速度(LN 1, LN 2, LN 3, LN 4, LN 5と符号付けをする)を表わした。7月28日、8月30日、および収穫時にそれぞれの時期の最大の葉に

Table 1. Correlation

	RW	SC	LN 1	LN 2	LN 3	LN 4	LN 5	PH 1	LL 1	LW 1	LS 1	PH 2	LL 2
RW		*** -.711	-.409	* -.533	-.323	.086	* -.482	-.236	-.116	.106	.051	.107	.097
SC	*** -.737		.378	* .584	.306	-.026	.338	.214	.085	.194	.187	-.162	.003
LN 1	-.172	-.134		* .545	.256	.121	.371	*** .698	* .494	.382	* .508	.117	-.022
LN 2	** -.605	* .446	* .466		* .517	.354	* .529	.259	.074	.159	.150	.155	.082
LN 3	** -.660	* .539	.194	** .830		** .662	** .834	.168	.139	-.391	-.279	.041	.052
LN 4	*** -.704	** -.639	.136	*** .790	*** .850		* .584	.157	-.010	-.059	-.078	.105	-.013
LN 5	*** -.728	* .556	.207	*** .795	*** .736	*** .901		.270	.317	-.129	.003	.101	.115
PH 1	.419	-.652	* .517	-.100	-.199	-.330	-.284		*** .789	.319	* .585	.424	.101
LL 1	** .643	*** -.697	.127	* -.555	** -.565	*** -.702	** -.672	*** .734		.244	* .605	.317	.308
LW 1	-.436	*** -.682	.285	-.420	-.447	-.513	.457	*** .756	*** .812		*** .917	.125	.046
LS 1	* .525	** -.677	.209	* -.493	* -.495	* -.588	* -.546	*** .772	*** .933	*** .966		.236	.166
PH 2	.300	-.340	-.142	-.506	-.418	-.451	-.430	.486	* .482	** .561	.569		.257
LL 2	.273	-.440	-.211	** -.589	* -.539	* -.526	* -.460	.202	* .477	* .459	* .500	** .650	
LW 2	.219	* -.513	.087	** -.582	** -.609	* -.556	* -.395	.425	** .620	*** .725	*** .714	** .644	*** .781
LS 2	.237	* -.479	-.087	** -.635	** -.605	* -.559	* -.450	.314	** .574	** .612	** .632	*** .689	*** .928
PH 3	.255	-.428	.151	-.189	-.351	-.221	-.181	* .496	.257	.422	.356	*** .732	* .506
LL 3	-.060	-.263	.116	-.123	-.258	-.107	-.117	.144	.122	.272	.211	.438	*** .692
LW 3	.422	** -.612	.233	-.340	-.618	-.438	-.230	** .569	* .536	*** .710	** .659	* .496	* .544
LS 3	.192	* -.496	.212	-.281	-.519	-.319	-.201	.408	.386	** .576	* .512	* .559	*** .742
WL	.170	-.388	-.052	-.383	-.518	-.369	-.278	.317	.344	* .444	.422	* .556	*** .701
TNL	*** -.686	* -.489	* .506	*** .962	*** .881	** -.877	*** .866	-.086	*** -.566	*** -.377	* -.463	* -.481	*** -.578
TW	.087	-.354	* .517	.093	-.232	-.177	-.122	* .501	.293	* .445	.389	.241	* .458
WR	.055	-.302	* .471	.037	-.168	-.193	-.187	* .541	.312	* .464	.411	.237	.372
CS	-.144	.267	-.339	.037	-.080	.119	.222	* -.524	-.404	-.479	* .483	* -.510	-.357
SY	.011	-.209	.354	.049	-.196	-.210	-.186	.384	.205	.315	.272	.126	.347
R/T	-.074	.003	.232	-.036	-.019	-.170	-.205	.318	.167	.203	.201	.065	.103

Explanation of symbol.

RW : Root weight of selected progeny.

SC : Sugar content of selected progeny.

LN 1 : Rapidity of leaf differentiation during 1st growing stage (Emergence to July 10).

LN 2 : ditto during 2nd growing stage (July 11 to July 31).

LN 3 : ditto during 3rd growing stage (Aug. 1 to Aug. 20).

LN 4 : ditto during 4th growing stage (Aug. 21 to Sept. 10).

LN 5 : ditto during 5th growing stage (Step. 10 to Oct. 7).

PH 1 : Plant height on July 28.

LL 1 : Lamina length on July 28.

LW 1 : Lamina width on July 28.

LS 1 : Lamina size on July 28 (Lamina length×Lamina width).

PH 2 : Plant height on Aug. 30.

LL 2 : Lamina length on Aug. 30.

LW 2 : Lamina width on Aug. 30.

matrix

LW 2	LS 2	PH 3	LL 3	LW 3	LS 3	WL	TNL	TW	WR	CS	SY	R/T
.139	.332	-.094	.095	.190	.196	.193	-.477*	-.070	-.000	-.199	-.016	.235
.081	-.196	-.160	-.361	-.136	-.316	-.140	.465*	.224	.149	.149	.186	-.150
.012	-.052	.086	.126	-.159	-.005	.313	.633**	.676**	.522*	-.182	.593**	-.054
-.012	-.013	.096	.118	-.117	.014	.161	.828***	.493*	.149	.025	.369	-.201
-.464*	-.241	.071	.120	-.467*	-.246	-.134	.837***	.299	.345	-.235	.305	.169
-.242	-.114	.003	.052	-.008	.037	.008	.648**	.200	.108	-.340	.084	-.123
-.176	-.024	.055	.115	-.245	-.096	-.056	.843***	.355	.300	-.138	.300	-.016
.056	.079	.388	.280	.082	.275	.178	.408	.416	.145	-.025	.232	-.454*
.139	.303	.190	.277	-.088	.146	.209	.262	.377	.193	.189	.280	-.316
.707***	.528*	-.203	-.121	.552*	.335	.558*	.004	.523*	.324	-.043	.392	-.235
.642**	.566*	-.079	.026	.435	.356	.540*	.091	.577**	.342	.047	.433	-.312
.289	.560*	.670**	.504*	.197	.491*	.242	.139	.217	.011	-.011	.064	-.344
.144	.394	-.110	.173	-.041	.081	.226	.066	.093	.029	.436	.117	-.101
	.798***	.109	-.024	.695***	.486*	.466*	-.217	.268	.098	.050	.184	-.180
.951***		.096	.388*	.475*	.604**	.652**	-.114	.428	.291	.036	.352	-.072
.442	.487*		.709***	.133	.573**	.087	.088	.128	.024	.120	.025	-.142
.503*	.616**	.699***		.047	.696***	.570**	.141	.445*	.393	-.272	.371	.126
.745***	.659**	.581**	.406		.748***	.255	-.278	.002	-.188	.038	-.133	-.332
.756***	.771***	.748***	.842***	.831***		.565**	-.087	.321	.143	-.145	-.171	-.166
.694**	.742***	.496*	.635**	.641**	.760***		.087	.773***	.770***	-.330	.715***	.207
-.515*	-.584**	-.196	-.124	-.348	-.279	-.401		.551*	.446	-.191	.457*	-.058
.393	.402	.534*	.607**	.634**	.725***	.561**	.036		.920***	-.370	.949***	.266
.305	.317	.446*	.425*	.508*	.539*	.456*	.005	.915***		-.477*	.981***	.602**
-.294	-.329	-.492*	-.347	-.133	-.286	-.139	-.022	-.395	-.415		-.368	-.526*
.203	.241	.364*	.445*	.430	.506*	.420	-.002	.883***	.937***	-.224		-.519*
.010	.034	.096	.016	.079	.045	.059	-.038	.484*	.765***	.265	.774***	

LS 2 : Lamina size on Aug. 30.

PH 3 : Plant height at harvest.

LL 3 : Lamina length at harvest.

LW 3 : Lamina width at harvest.

LS 3 : Lamina size at harvest.

WL : Weight of largest laminae at harvest.

TNL : Number of leaves developed in a growing season.

TW : Total weight of mother plant.

WR : Root weight of mother plant.

CS : Sugar content of mother plant.

SY : Sugar yield of mother plant (root weight × Sugar content).

R/T : Ratio of root weight to total weight.

All characters except for RW and SC are those of mother plant.

*, **, and *** are significant at 0.05, 0.01, and 0.001 levels respectively.

Above diagonal; statistics in 1974. Below diagonal; statistics in 1975.

ついて、葉柄基部から葉身先端部までの長さ (PH 1, PH 2, PH 3), 葉身長 (LL 1, LL 2, LL 3), 葉身の最大部の幅 (LW 1, LW 2, LW 3), その両者の積で葉身の大きさを表わした (LS 1, LS 2, LS 3)。収穫時に最大葉から内方へ10枚の葉身を取り、その生体重を測定して1葉身重に換算 (WL), 全生育期間に発生した葉数 (TLN), 全個体重 (TW), 頭部を含んだ根重 (WR), 糖分 (CS) (携帯用検糖計の読み), 推定糖量 (SY) ($SY = WR \times CS$), 根重の全体重に対する百分率 (R/T) (これは転流の効率を表わす) 等が測定または計算された。

Table 1 に後代検定に供された母系系統 (各年20系統) の採種親 (以下母本と称する) について計算されたこれら形質間, ならびに母系系統の平均根重 (RW) と糖分 (SC) との相関係数を後代検定の年次別に示した。

母本の形質間相関について目立つことは、萌芽から7月10日迄の間の葉の分化速度が根重と推定糖量に対して有意な正の値を示し、糖分とはほとんど関連性を示さぬこと。また8月以降の葉の分化速度 (LN 3~LN 5) に対しても有意な相関を示していないことである。また当然ではあるが1葉身重が生育期の後半の葉の大きさを示す諸種の形質, つまり葉身長, 葉身幅などと正の相関を示した母本の根重に正の相関を示した。また転流効率を示す R/T も当然根重と正の相関を示し、根重と糖分間には弱い負の関係が認められた。

母系系統の根重, 糖分の変化については前報 (1977)^{5,6)} に示したが、以下のように要約できる。根重は LS, SS の両群, つまり生育期後半の出葉数が少ない方向に選抜した群の後代が、逆方向に選抜した群, つまり LL, SL 群より有意に高い値を示した。一方糖分は LL, SL 群が平均して高い値を示した。各群内の系統間には根重については有意な変動は認められず、ことに LS 群内の変異が低かった。一方糖分については群内に有意な変動が認められたが、LS, SL 両群は他の群に比べて低い値を示した。これら根重, 糖分の変異は Table 1 に示されているように母本の根重, 糖分と何らの関連性が認められなかった。一方一般に母本の葉の分化速度とは根重が

負, 糖分が正の相関を示した。また1975年のデータにおいては7月末までの葉の大きさを示す形質, つまり葉身長 (LL 1), 葉の大きさ (LS 1) 等は有意な正の相関を根重に対して示し、糖分に対してはこれら以外に葉身幅が有意な負の相関を示した。

2. 重回帰分析 a. 選抜の直接対象となった形質に対する分析: この選抜実験の直接対象となった形質は8月21日以降の発生葉数と、収穫時における1葉身重である。Table 2 に前者の形質の後者及び後代根重, 糖分に対する相関係数を示し、Table 3 にはこれら選抜対象形質に対する後代根重及び糖分の重回帰分析の結果を示した。Table から明らかなように1974年のデータでは有意な結果は得られず、1975年のデータでも、得られた重回帰係数は、8月21日以降の発生葉数の示す単相関係数とほとんど変らぬ値を示し、1葉身重は何らの寄与をも示さなかった。このようにこれら2形質に対する重回帰分析からは有用な情報は得られなかった。

b. 母本葉部形質に対する重回帰分析. 以上の直接選抜の対象とした形質は母本について調査した他の形質と多少とも関連性を有していた (Table 1) ので、これらの形質を用いてさらに解析を進めた。この場合、予備的な解析で、根重, 糖分を含めた根部6形質は後代の根重, 糖分の変動にほとんど寄与を示さぬことが明らかとなったので、これら形質は除外することとし、さらに標本の大きさ, 解析の目的などの点から全発生葉数, および3時期の草丈 (PH 1, PH 2, PH 3) をも除外し、残り14の葉の発育を示す形質 (LN 1~LN 5, LL 1~LL 3, LW 1~LW 3, SL 1~LS 3) を説明変数として採り上げた。

解析は年次ごとに、逐次選択法のうち変数増減法 (奥野ほか, 1971)⁷⁾ を用いた。取込み及び除去基準をともに $F=2.0$, 最大ステップ数19とした。Table 4 にその結果の一部を示した。

すなわち選抜後代の根重の系統間の変動は1974年の結果では、その約70%が母本の7月11日~30日, 8月21日~9月10日, 9月11日~収穫期に至る葉の分化速度,

Table 2. Correlation coefficients of number of leaves developed after August 21 with some other characters.

Year	Lamina weight of mother plant	Root weight of progeny	Sugar contents of progeny
1974	-0.035	-0.256	+0.196
1975	-0.328	-0.735***	+0.609***

, *; significant at the 0.01 and 0.001 levels respectively.

Table 3. Multiple regression analyses for root weight or sugar contents of progenies on the two foliar traits of mother plant for which selection was made.

Dependent variable	Independent variable	Year	Source of variation				Multiple correlation	Coefficient of determination	Adjusted coefficient of determination
			Due to regression		Residuals				
			df	Mean square	df	Mean square			
Root weight	LN ¹	1974	1	0.0032	18	0.0025	.256	.066	.246
		1975		0.0400**		0.0019	.735	.541	.515
Root weight	LN WL ²	1974	2	0.0024	17	0.0025	.316	.100	—
		1975		0.0205**		0.0020	.739	.546	.493
Sugar contents	LN	1974	1	0.339	18	0.472	.196	.038	—
		1975		3.508**		0.330	.609	.371	.336
Sugar contents	LN WL	1974	2	0.248	17	0.490	.237	0.56	—
		1975		1.940*		0.328	.641	.411	.340

1) Number of leaves developed after August 21.

2) Weight of a lamina at harvest.

*, **; significant at the levels of 0.05 and 0.01 respectively.

Adjusted coefficient of determination = $1.0 - MS_R/MS_T$, where MS_R = Mean square for residuals and MS_T = mean square for total.**Table 4.** Multiple regression analyses with foliar characters of mother plant (Stepwise procedure with criterion F values for inclusion and deletion = 2.0).

Dependent variable	Year	Independent variable	Standardized regression coefficient						Number of equation	
			LN 2	LL 1	LW 2	LS 2	LN 4	LN 5		LW 3
Root weight	1974		-.428** (1)			.535** (2)	.726** (3)	-.740** (4)	-.287 (5)	1
	1975		-.407 (5)	.375 (4)	-.878** (3)			-.342** (1)	.675** (2)	2
Sugar contents	1974		.622** (1)		-.441* (4)	.332 (3)	-.451* (2)			3
	1975			-.517* (1)				-.335 (2)		4

ANOVA

Source of variation	due to Regression		Residuals		F	Multiple correlation	Coefficient of determination	Adjusted Coe. of determination
	df	MS	df	MS				
1	5	0.0074	14	0.0008	9.18***	.875	.766	.695
2	5	0.0124	14	0.0009	13.36***	.909	.827	.765
3	4	1.411	15	0.212	6.64***	.800	.639	.543
4	2	2.673	17	0.241	11.07***	.752	.566	.514

Adjusted coefficient of determination = $1.0 - MS_R/MS_T$, where MS_R = mean square for residuals and MS_T = mean square for total.

*, **, and ***; significant at the levels of 0.05, 0.01 and 0.005 respectively.

Figure in parenthesis represents the order of inclusion of corresponding independent variable.

Table 5. Contribution of selection to the variation among progenies.

Character	Year	(A) Total mean square among progenies	(B) Averaged mean square within selection group	(C)= 1-(B)/(A)
Root weight	1974	.002523	.002172	0.143
	1975	.003947	.001876	0.525
	Mean	.003241	.002024	0.375
Sugar contents	1974	.465	.432	0.070
	1975	.497	.227	0.544
	Mean	.481	.330	0.315

(C) Proportion of total variace accounted for by selection.

8月の葉の大きさ (LS 2), 収穫時の葉身幅 (LW 3) の計5形質によって説明される。また1975年の結果では根重の変動の75%がLN 2, LN 5, LW 3のほか7月の葉身長 (LL 1), 8月の葉身幅 (LW 2) の5形質によって説明できることが示された。

一方糖分については、1974年度では7月11日~30日, 8月21~9月10日および9月11日以降の出葉速度と収穫時の葉身長 (LL 3) によって約60%, 1975年度には7月の葉身長と収穫時の葉身幅によって50%程度が説明された。

これら後代系統間の根重, 糖分の変異のうち選抜が占める割合は次式によって計算できる。

$$1 - \frac{(\text{群内平均平方})}{(\text{全平均平方})}$$

Table 5に示したようにそれらの値は根重について平均38%, 糖分については32%である。これに対し上式と同じ方式で算出される自由度調整済みの決定係数はそれぞれ74%と52%である (Table 4)。つまり選抜群内の系統間の変異の相当大きな部分が母本の葉部形質の一次結合によって説明できることが判る。

Table 6. Validity of obtained regression equation in each inclusion step (1)

Dependent variable	Equation No. in Table 4		Inclusion step				
			1	2	3	4	5
Root weight	1	Multiple correlation	.533*	.624*	.708***	.844***	.875***
		Correlation with data in 1975 ¹	.605**	.519*	.316	.491*	.409
	2	Multiple correlation	.723***	.774***	.867***	.885***	.909***
		Correlation with data in 1974 ²	.481*	.458*	.389	.340	.337
Sugar content	3	Multiple correlation	.584**	.727***	.767***	.800***	
		Correlation with data in 1975 ¹	.446*	.493*	.350	.330	
	4	Multiple correlation	.697**	.752***			
		Correlation with data in 1974 ²	-.085	.031			

*, ** and ***; significant at the level of 0.05, 0.01 and 0.005 respectively.

- 1) Correlation coefficient between value which was predicted by the application of regression equation for 1974 to the data of mother plants of which progenies were tested in 1975, and observed value in 1975.
- 2) Correlation coefficient between value which was predicted by the application of regression equation for 1975 to the data of mother plants of which progenies were tested in 1974, and observed value in 1974.

さらに同じ雑種集団の F₂ 世代から根重、糖分を直接対象として実施した選抜実験では、根重の親子相関は +0.790** と +0.359 平均して 0.619**, 糖分については +0.741** と +0.197 平均して 0.520* の値が得られている(津田 1975)。これらの値に比べ、ここで得られた重相関係数は高くしかも安定している。

3. 選抜への重回帰式の利用

一般に重回帰は予測の機能を有しているから、上で示したような母本の葉部形質の一次結合した重回帰式が次代の根部形質の予測に役立つとすれば、これを選抜に利用することが可能となるであろう。Table 4 に示した 4 つの重回帰式が選抜にどの程度利用できるかを検討するため、一方の年度の計算のステップごとに得られた重回帰式に他の年度に供試した系統の母本の葉部形質の値を代入して予測値を得、これと実測値との間の相関を算出した。その結果が重相関係数(各式の当該年度の予測値と実測値との単相関)とともに Table 6 に示されている。すなわち重相関係数は説明変数の数が増えるに従って当然高い値を示すようになるが、他年度のデータへの当て嵌り方(以下適合度と言う)は次第に劣るようになる。この事は、これら回帰式を異った材料に適用して予測に役立つことは不可能であることを示している。

そこでこれら兩年の重回帰式に取込まれた全ての形質(根重については 7, 糖分については 6 形質)を説明変数として採り上げ、測定時期の早いものから逐次導入して各年ごとに重回帰式を求め、それらの式の適合度を検討した。その重相関係数と他年度のデータへの適合度が Table 7 に示してあるが、重相関係数はやや大となるものの適合度の向上は認められなかった。

そこで「平均の」重回帰式を得るため、年次を 1 つの説明変数として最初に取込み、その後 7 もしくは 6 の形質を順次調査時期に従って取込んだ。Table 8 に第 2 ステップ以降の年次の項の偏回帰係数を除いたものと、自由度調整済みの決定係数が示してある。また Table 9 の左半分にはこれらの式による各年度の予測値と観測値との単相関係数を示した。これらの値は Table 7 に示した重相関係数に比べ当然低い値を示すが、説明変数の数が多くなるに従って増加し、特に根重については相当高い値を示している。これらは Table 7 において用いた兩年の回帰式の係数の平均値により合成した式、また、2 年間のデータをこみにして計算した重回帰式の適合度(Table 9 の右半分に示した)より優れている。Fig. 1 に以上の最終ステップの重回帰式による予測値と実測値の相関図を示した。この図から、とくに根重について LS

Table 7. Validity of regression equation¹ (2)

Dependent variable	Step	Independent variables included	Multiple correlation		Correlation ² with data in	
			1974	1975	1974	1975
Root weight	1	LN 2	.533**	.605**	.533*	.605*
	2	LN 2 LL 1	.538	.709**	.252	.552*
	3	LN 2 LL 1 LW 2	.557	.796**	.119	.514*
	4	LN 2 LL 1 LW 2 LS 2	.697*	.796**	.112	.353
	5	LN 2 LL 1 LW 2 LS 2 LN 4	.750*	.819**	-0.08	.144
	6	LN 2 LL 1 LW 2 LS 2 LN 4 LN 5	.873**	.819*	-0.55	.505*
	7	LN 2 LL 1 LW 2 LS 2 LN 4 LN 5 LW 3	.881**	.910**	0.51	.426
Sugar contents	1	LN 2	.584**	.446*	.584*	.446*
	2	LN 2 LL 1	.586*	.700**	.412	-.003
	3	LN 2 LL 1 LN 3	.586	.725**	.413	-.065
	4	LN 2 LL 1 LN 3 LN 4	.663	.738*	.242	-.203
	5	LN 2 LL 1 LN 3 LN 4 LL 3	.808**	.756*	.222	-.076
	6	LN 2 LL 1 LN 3 LN 4 LL 3 LW 3	.821*	.797*	.118	-.034

1) Computation was made with data in each year, and independent variables are those included in equations 1 and 2, or 3 and 4 shown in Table 4.

2) Correlation of observed value with the estimate predicted by regression equation obtained in another year.

*, **; significant at the levels of 0.05 and 0.01 respectively.

Table 8. Multiple regression equations computed with foliar traits and a dummy variable assigned to 'year' (1).

1. Dependent variable; root weight

Inclusion step	Constant	Independent variable							Adjusted coefficient of determination
		LN 2	LL 1	LW 2	SL 2	LN 4	LN 5	LW 3	
2	2.94622	-.07151**							.303
3	2.81738	-.06459**	.00480						.319
4	2.83508	-.06652**	.00542	-.00159					.299
5	2.84808	-.06440**	.00478	-.00533	.00013				.288
6	2.86636	-.06178**	.00452	-.00566	.00014	-.00746			.272
7	2.88831	-.03039	.00533	-.00590	.00017	-.07430	-.12339**		.440
8	2.85542	-.02818	.00529	-.01416*	.00024	.05821	-.11298**	.01034	.493

2. Dependent variable; sugar contents

		LN 2	LL 1	LN 3	LN 4	LL 3	LW 3	
2	14.66	.76**						.607
3	16.52	.66**	-.07					.619
4	16.21	.53	-.07	.23				.613
5	16.71	.56	-.08	.40	-.37			.607
6	17.42	.60	-.06	.31	-.26	-.05		.635
7	18.19	.68*	-.04	-.05	-.02	-.05	-.07	.637

1) Dummy variable assigned to 'year' was first included and 7 or 6 foliar traits were stepwise included according to the order of observation during season.

Table 9. Validity of equations shown in Table 8 and equations computed with pooled data.

Step Year		Correlation between predicted and observed value (1)			Correlation between predicted and observed value (2)		
		1974	1975	Mean	1974	1975	Mean
Root weight	1	.533*	.605**	.571***	.533*	.605**	.571***
	2	.475*	.675**	.584***	.467*	.679***	.583***
	3	.446*	.700***	.587***	.437	.704***	.586***
	4	.510*	.675**	.599***	.506*	.677**	.598***
	5	.498*	.682***	.598***	.481*	.690***	.595***
	6	.786***	.705***	.749***	.761***	.719***	.741***
	7	.707***	.814***	.766***	.686**	.825***	.764***
Sugar contents	1	.584**	.446*	.518**	.584**	.446*	.518**
	2	.500	.590**	.547***	.579**	.480*	.530***
	3	.492*	.610**	.554***	.571**	.503*	.538***
	4	.545**	.586**	.566***	.612**	.343	.489***
	5	.683***	.584**	.636***	.754***	.353	.589***
	6	.641**	.642**	.642***	.753***	.289	.564***

(1) Predicted values were computed by the equations shown in Table 8.

(2) Predicted values were computed by the equations with data pooled for two years. Lower coefficient of correlation is due to the significant difference in sugar contents between years.

*, ** and ***; Significant at the levels of 0.05, 0.01 and 0.001 respectively.

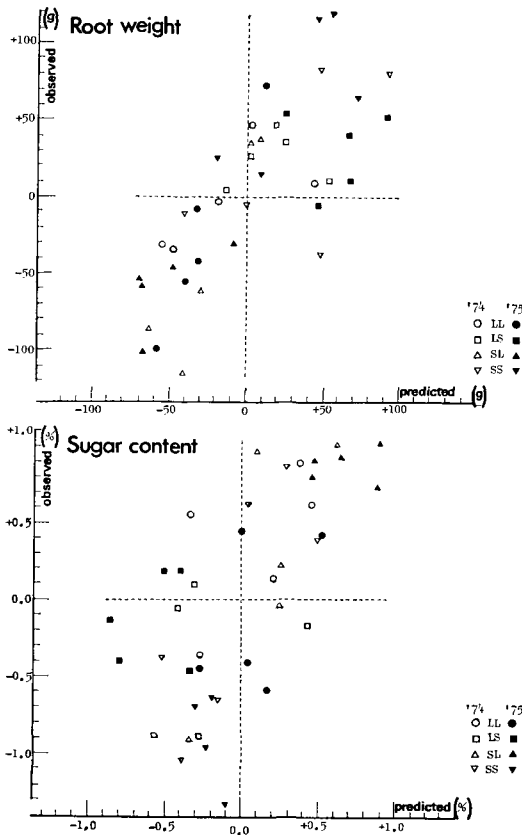


Fig. 1. Scatter diagrams of observed and predicted values of root characters. Predicted values were estimated by multiple regression equations shown in Table 8. All the values were plotted by the deviation from corresponding mean value of selected progenies.

群を除いた各選抜群内の予測値と実測値の相対的位置関係が良く一致していることが判る。

以上のように、母本の葉部形質のみによって、その母系系統の根部形質が、根部形質そのものを直接対象とした選抜実験の場合と同じ位の正確さをもって予測できらうことが示唆された。ここに示した回帰式がそのまま他の集団に適用できるとは考えられないが、さらにデータを集積していくことによって、ここに示したような、測定が比較的簡単な葉部形質の一次結合したものによって、早期に次代の根部形質の予測が可能になれば、これを補助的な基準として選抜効率を高めることが可能であらう。

最近 DONEY and THEURER (1976) は萌芽後3週目

の胚軸直径が根重選抜の指標として有効であることを報告しているが、このような生育初期の測定容易な形質も以上のような重回帰式に取込むことができればさらに選抜効率の向上が期待される。

Table 10 には年次をダミー変数として最初に取り込み、さきに示した14の葉部形質を変数増減法(取込み及び除去基準: $F=2.0$)によって取捨した重回帰式を示した。この式は根重、糖分とも説明変数が少なくなっているにも拘らず自由度調整ずみの決定係数は、Table 4 に示したものに劣らず、またデータへの適合度もそれほど大きな減少が認められないという点で有用であると考えられる。

4. 根重と糖分の間の負の遺伝的相関に果す葉部形質の役割

Table 11 に選抜後代の根重と糖分の表現型相関を示した。この値は同じ集団からこれら形質を直接に選抜対象とした場合に認められた相関(津田 1975)より相当高い負の値である。これが葉部形質を選抜対象としたためであるかどうかを検討する一つの方法として次のような値を求めた。Table 8 の根重について得られた重回帰式に取込まれた7個の説明変数を用いて糖分についての重回帰式を求め、この両回帰式による根重と糖分の予測値間に求められる偏差積和を、これら葉部形質の根重、糖分間の負の相関への寄与分と見做し、それと実測値間の偏差積和に対する比を求めた(Table 11)。この値はいずれの年にも約80%であった。すなわちこれら選抜後代に認められた根重、糖分間の相関の大部分が母本におけるこれら葉部形質の変動によって説明できるものと考えられる。

さきにも述べたように(津田・八戸 1973⁶)根重と糖分の負の相関反応は器官・組織さらには細胞の分化能力とそれらの容積的生長力との間の関係として把えることができるが、ここで認められた高い根重と糖分の間の負の相関は葉部形質についての選抜によって、この分化能力と生長力との間の関係が強化された結果と解釈できよう。従って少くともこの集団においては、ここで対象とした葉部形質に対する選抜によって直接この負の相関を解消することはできないものと考えられる。しかし前報³⁾にも指摘したように4群の選抜群のうちLS, SL両群においては負の相関が著しく低くなっており、これら群内での母系系統選抜によって両形質の同時向上が果されうることが示唆された。この意味において、ここで用いた葉部形質を対象とした選抜は負の相関の解消に間接的には有効であると言えよう。

Table 10. Multiple regression equations computed with foliar traits and a dummy variable assigned to 'Year' (2).

1. Dependent variable; root weight					ANOVA									
Inclusion step	Constant	Independent variable				due to Regression		Residuals		Adjusted coefficient of determination				
		LN 5	LN 2	NL 4	LL 1	df	MS	df	MS					
2	3.01471	-.10884***				2	0.051***	37	0.0020	.379				
3	3.04170	-.07792*		-.03223		3	0.018***	36	0.0019	.397				
4	3.02157	-.11518**		-.03803		.05907		4	0.015***	35	0.0018	.425		
5	2.84402	-.12182**		-.03493		.08053*		0.0603		5	0.013***	34	0.0017	.454

2) Dependent variable; sugar contents										
		LN 2	LS 3							
2	14.66	.76***		2	11.461***	37	0.368	.607		
3	15.96	.69***		-.003**		3	8.327***	36	0.321	.657

Validity of equations						
Step	Root weight			Sugar contents		
	Correlation between predicted and observed value			Correlation between predicted and observed value		
	1974	1975	Mean	1974	1975	Mean
2	.482*	.728***	.620***	.584**	.446*	.518**
3	.568**	.719***	.650***	.654**	.575**	.616***
4	.699***	.685***	.692***			
5	.730***	.717***	.724***			

*, ** and ***; significant at the level of 0.05, 0.01 and 0.005

Table 11. Co-variation between root weight and sugar contents determined by regression on foliar traits.¹

	1974	1075		1974	1975
a. Observed sum of product	-.480	-.625	Correlation	-.711***	-.737***
b. Sum of product between values predicted.	-.406	-.495	Correlation	-.862***	-.822***
b/a×100	84.6	79.2			

1) Predicted value were obtained by regression equation for respective root character with 7 foliar traits which are independent variables included in the equation for root weight shown in Table 8.

要 約

テンサイの雑種集団について8月20日以降の発生葉数と収穫時の一葉身重を対象とした選抜を行い、その後代の根重と糖分の、採種親の葉部形質に対する重回帰分析を行った。

2年間の結果で、後代根重の変動の70~75%が5形質、糖分はその50~60%が4または2形質によって説明された。

各年次ごとの回帰式は予測のための式としては無効であったので、年次を説明変数として採り上げた重回帰式を求めた。

このようにして得られた重回帰式は、選抜によって説明される後代根重または糖分の変動部分よりはるかに大きな変動部分を説明できたので、これを選抜に適用できると考えた。

回帰式による根重と糖分の予測値間の偏差積和は、実測値の偏差積和の80%を占めた。従って後代に認められた両形質の高い負の相関が採種親の葉部形質の変動に起因したものであると推定した。

謝辞 本研究は教室主任細川定治教授の指導の下に開始されたものであり、また実験遂行にあたり本教室の教職員並びに学生諸氏の援助を受けた。これらの方々へ深い感謝の意を表する。

引用文献

1. DONEY, D. L. and J. C. THEURER: Hypocotyl diameter as a predictive selection criterion in sugarbeet, *Crop Sci.*, **16**: 513-515. 1976
2. 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正: 多変量解析法, p. 25-157, 日科技連出版社, 1971
3. 津田周弥・八戸三千男: テンサイの根重と糖分の間の負の相関々係に関する育種学的研究, VIII. 集団選抜に伴う葉部形質の相関反応, *育種*, **23**: 139-147. 1973
4. ————: ————. IX. 交雑 F₂ 世代における選抜. *北大農邦文紀*, **9**: 114-154. 1975
5. ————: ————. X. 交雑と選抜に伴う葉部形質の変化について. *北大農農場研究報告*, **20**: 53-67. 1977
6. TSUDA, Ch.: Genetic studies on the negative correlation between root weight and sugar content in sugar beets. XI. Effect of selections of foliar characters on the root weight and sugar content. *Japan. J. Breed.*, **27**: 305-320. 1977

Summary

In the previous report (TSUDA 1977), the author revealed that the selection for two foliar characters caused the conspicuous variations in root weight and sugar contents among progenies of a hybrid population of sugar beets, and concluded that these foliar traits would be useful as criteria for the selection for these root characters. In this report, the author applied the multiple regression analyses to the results of this selection experiment and intended to obtain some useful information.

The obtained results can be summarized as follows ;

1) The regression analysis for root weight or sugar content on the selection criteria used in this selection experiments (the number of leaves differentiated after August 21 and the weight of a lamina) failed to give any added information to the results reported in the previous paper (Table 2 and 3).

2) The regression analyses with 14 foliar traits of mother plants as independent variables were performed by stepwise procedure with the data in each year (criterion F values for inclusion and deletion=2.0). The results are shown in Table 4. About 70 to 80 percent of variation in root weight among selected progenies could be explained by linear dependence upon 5 foliar traits of mother plant. About 50 to 60 percent of variation in sugar contents could be explained by the variation in 4 foliar traits of mother plants in 1974 and 2 in 1975. The values were much larger than the proportions accounted for the selection for foliar traits mentioned above (Table 4 and Table 5).

3) These equations were found to be invalid for prediction, because, as shown in Table 6, the correlations between observed dependent variables in one year and the predicted ones estimated by the regressions equations obtained from data in another year were reduced as the number of independent variables increased.

4) Regression analyses with these independent variables and a dummy variable assigned to 'year' were performed. The fitness of predicted dependent variables estimated by these equations in each year from which the term of year were deleted as shown in Table 8 was fairly good (Table 9), although the correlation coefficient were slightly lower than the corresponding multiple correlations which were computed with the equation shown in Table 6. Furthermore, adjusted coefficients of determination were higher than the proportions of the variations determined by the selection to the total variation among progenies. Thus, these facts suggested that these equations might be useful as the predictive selection criteria for root weight or sugar contents.

5) The correlations between root weight and sugar contents in selected progenies were highly negative (Table 11). Since large proportions of the variations in both characters can be explained by

linear dependence upon foliar traits of mother plants, the variation in these foliar traits of mother plants will be responsible for this adverse correlation in progenies. The sum of product between root weight and sugar contents estimated by the two multiple regression equations with seven independent variables were shown in Table 12. The percentage of this value to the observed sum of product was about 80 percent. Thus, the adverse correlation between these root traits can be attributed to the variation in foliar traits of mother plants. Accordingly, the selection utilizing

these equations seemed to be ineffective for the breakdown of these adverse correlation. However, LS and SL groups whose foliar traits in parental generation were quite contrary to each other, showed no adverse correlation (TSUDA 1977). This seems to suggest that mother line selection from these groups would be effective for concomitant improvement in these root characters. From this viewpoint, the selection with which such multiple regression equations are used as supplemental criteria will be effective for concomitant improvement in these root characters.