



Title	テンサイの根重と糖分の間の負の相関関係に関する育種学的研究 : IX. 交雑 F2 世代における選抜
Author(s)	津田, 周弥; TSUDA, Chikahiro
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 9(2), 144-154
Issue Date	1975-02-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11864
Type	departmental bulletin paper
File Information	9(2)_p144-154.pdf



テンサイの根重と糖分の間の負の 相関関係に関する育種学的研究

IX. 交雑 F₂ 世代における選抜

津田 周 弥

(北海道大学農学部工芸作物学講座)

(昭和 49 年 7 月 2 日受理)

Genetic studies on the negative correlation between root weight and sugar content in sugar beets

IX. Selections in F₂ generation of a varietal cross

Chikahiro TSUDA

(Laboratory of Industrial Crops, Faculty of Agric.
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

緒 言

著者は従来、テンサイの砂糖生産量を構成する根重と糖分の要因間に通常観察される遺伝的な負の相関関係を支配する機構を検討し、その程度が品種、あるいは系統によって異なり、集団選抜によってさえ、場合によってはこの相関が消去される事実から、これが遺伝子(群)の多面発現以外の機構によっても支配されている可能性を示唆してきた。

テンサイにおいても、特性の組換えを目的として、古くから交雑が行われてきたにも拘らず、それに関する報告は耐病性・雄性不稔性・単胚性など比較的単純な遺伝行動をとる特性の導入を目的としたものが多く、根重と糖分のような量的形質の特性の組換えを主題としたものはきわめて少ない。

本研究は根重が高い値を示す一方、糖分が低い品種に対して交雑を行うことによって、どの程度高糖性を導入することができるか、またこれを通じて両形質の負の関係を支配する遺伝的機構を検討する目的で計画したものであり、現在までに得られた結果をここに報告する。

材料と方法

1966 年、所謂 Erta 型に属し、高い根重を有する反面、糖分が比較的低い品種である KWS-E と、北海道農業試験場で育成された高糖性の自殖系統である S-26

(Hondai No. 13088 から自殖 2 回、兄妹交配 4 回を経たもの—Suto and Tokuyasu, 1962) のそれぞれ任意の 1 個体を取り、その間で、除雄なし、袋掛けで交配を行った。翌年 F₁ 28 個体を養成、1968 年これらを一括隔離して放任受粉させ、個体別に F₂ 種子を採種した。1969 年これら 28 の F₂ 系統から無作意に 18 系統を取り、2 反復乱塊法で栽培した。畦端のそれぞれ 3 個体を除き、系統あたり 60 個体、合計約 1,080 個体が生育した。収穫時、プロットごとに根体の大きな 3~4 個体を選抜し、合計 128 個体について正確な根頸重とブリックスを測定し、それらの平均値、すなわち根頸重 907 g、ブリックス 21.3% を基準にして、Table 1 に示す 4 群に群別した。1970 年、これらを群ごとに隔離採種を行ったが、HL 群は土壌条件が悪く枯死したため採種不可能となった。

Table 1. Mean value of root weight (including crown) and Brix of selected group.

Designation of group	No. of plants	Root weight		Brix (%)
		logX	(gr.)	
HH	16	3.0414	1,103	23.0
HL	30	3.0682	1,117	19.4
LH	52	2.9038	764	23.1
LL	30	2.8990	800	19.6

た。HH 群と LH 群については、採種は個体別に行い、LL 群は集団で採種された。

1971, '72の兩年、これら F₃ の HH および LH 兩群から充分な種子の得られた各5系統と LL 群、それに F₂ より無作意に選んだ5系統と原集団である KWS-E と S-26 を加えて乱塊法配置に従って栽培した。1972 年には以上のほか、KWS-E からそれぞれ根重または糖分について連続2回集団選抜を行って得た系統、すなわち K-RR と K-SS とを比較のため加えた。またこの年、S-26 の種子が不足したので、これより根重または糖分について集団選抜をそれぞれ行なって得た系統、S-26R と S-26S をもって代用した。

試験は 1971 年は4回、翌年は3回の反復とし、1プロットは1畦 (50 cm×9 m) からなる (ただし、1972 年には競合効果をさけるため、KWS-E とその集団選抜後代は1プロット3畦とし、中央畦を調査した)。調査は各プロットごとに欠株の周辺株を除いて最高15個体を取り、

個体別に行った。根重は、個体選抜を兼ねたため、葉柄を所謂鉛筆削りを行って除いた冠部を含んだ重量で表わし、5 g 単位とした。糖分は個体ごとに根端部、全長の約1/3の部分をとって搾汁し、携帯用検糖計で測定したブリックス(%)で表わした。また以下糖量とは上記測定値の積である。

根重の分散は平均値と正の相関を示したので常用対数に変換し、分散分析は個体平均値に基づいて行った。また、兩年に共通して供用した系統は一括した分散分析を行った。ただしブリックスの誤差分散は兩年で有意に異なった (Table 4 参照) が、一応こみにして分散分析をした。

F₂・F₃ の群内の系統はランダムに選ばれた系統であるため、分散・共分散の成分を推定し、遺伝的パラメーターが算出できるので、橋口 (1968) および Cochran and Cox (1961) に従って Table 2 に示す方式に拠って計算した。

Table 2. Pertinent portion of analysis of variance (or covariance).

Source of variation	df	MS	Expectation of variance (covariance)	
			Each Year	Pooled data
F ₃ progeny within group	8 (8)	M ₁	$\sigma^2 + 1/n(\sigma_p^2) + r_y \sigma_p^2$	$\sigma^2 + 1/n(\sigma_p^2) + k_2 \sigma_{yp}^2 + (\sum r_y) \sigma_p^2$
Progeny×Year	(6)	M ₂		$\sigma^2 + 1/n(\sigma_p^2) + k_1 \sigma_{yp}^2$
Error	D _y	M ₃	$\sigma^2 + 1/n(\sigma_p^2)$	$\sigma^2 + 1/n(\sigma_p^2)$

σ_p^2 : genotypic variance (covariance). σ^2 : interaction variance (covariance) for Progenies×Replication (× Year). σ_p^2 : Variance (covariance) among individuals. σ_{yp}^2 : interaction variance (covariance) for Progeny×Year. r_y : Number of replications in each year. n : Number of individuals per plot. D_y : Degree of freedom of error in each anova. M_3 : MS for error in whole anova in each year or pooled anova which were shown in Table 4 and 5.

k values are expected coefficients due to unequal number of replication, where $k_1=3.43$ and $k_2=3.57$ (Cochran and Cox 1961).

$$h^2 = \sigma_p^2 / (\sigma_p^2 + (\sigma_{yp}^2) + (1/r_y) M_3)$$

結 果

Table 3 に品種または各系統、および群の個体あたり根重、ブリックス、糖量の平均値を各年次ごと、また兩年に共通に供試したものについてはその平均値を示した。Table 4 には各年次ごとの分散分析の結果と最少有意差を、Table 5 には兩年に共通に供試した系統について行った分散分析の結果と最少有意差を示した。ただしこれら分散分析で、群間の有意差検定は対応する群内の平均平方をこみにしたものをもって行った。また Table 5 の分散分析では S-26R と S-26S をブロックごとに平

均した値をもって 1972 年度の S-26 の値として計算してある。

根重: 原集団 KWS-E と S-26 の間には有意な差は認められない。雑種後代の平均は 1971 年度 581 g, '72 年度は 722 g で兩年とも、原集団の平均値より有意に高く、原集団の平均を 100 とすれば、それぞれ 127%, 107% であった。F₂ から選抜された F₃ の平均値は F₂ の平均値に比較して有意ではないが高い値を示した。F₃ の群間は F₃ 群内の平均平方で検定すると有意とはならないが、平均値は HH≥LH>LL の順位を示す。F₃ の群内系統間には有意差が認められる傾向があり、F₂, あ

Table 3. Results of performance tests for two years.

Population or Line	Root weight ^{a)} (gr.)			Brix (%)			Sugar Yield ^{b)} (gr.)		
	1971	1972	Mean	1971	1972	Mean	1971	1972	Mean
Original Population	(457)	(672)	(554)	(19.2)	(19.3)	(19.2)	(88)	(130)	(106)
KWS-E	462	684	562	18.1	18.3	18.2	84	126	102
S-26 ^{c)}	452	684 635	546	20.4*	19.7* 20.7*	20.3*	93	137 131	111
F ₂	(534)	(735)	(626)	(19.4)	(19.3)	(19.3)	(105)	(143)	(125)
F 03		729			19.4*			143	
F 05	522			19.6*			104		
F 06	534			19.6*			106*		
F 11		699			19.6*			133	
F 20		777			19.0			147	
F 23	488			19.4*			95		
F 24	608*	710	657*	19.2*	19.3*	19.3*	117*	137	126*
F 27	526	797	647	19.3*	19.2	19.2*	102	153	124*
F ₃	(607)	(743)	(672)	(19.4)	(19.2)	(19.2)	(120)	(144)	(130)
HH Group	(679)	(743)	(706)	(19.0)	(19.1)	(19.0)	(129)	(143)	(136)
HH 20	717*	845	779*	18.4	18.6	18.5	134*	157*	143*
HH 24		655			19.8*			130	
HH 51	592*	737	665*	19.3*	18.7	19.1*	115*	138	125*
HH 66	628*	678	653	19.4*	19.1	19.3*	122*	130	125*
HH 68	738*	821	778*	19.0*	19.3*	19.1*	142*	161*	150*
HH103	683*			19.1*			133*		
LH Group	(562)	(762)	(655)	(20.0)	(19.3)	(19.7)	(113)	(148)	(127)
LH 22	572*	722	647	20.1*	19.9*	20.0*	116*	144	128*
LH 27	645*	709	677*	19.8*	18.7	19.2*	128*	133	130*
LH 29	472			19.7*			93		
LH 59		908*			18.9			172*	
LH 82	561*	666	612	20.2*	19.5*	19.9*	114*	130	121
LH110	573*			20.0*			115*		
LH112		833			19.4*			162*	
LL	548	649	596	18.7*	19.2	18.9	103	127	113
Mass selected									
K-RR		848			16.7#			141	
K-S S		551			19.6*			113	

*: significantly higher value than that of KWS-E at 5% level.

#: significantly lower value than that of KWS-E at 5% level.

a) Retransformed from mean of log X.

b) Estimated from product between root weight (gr.) and Brix (%).

c) S-26 could not be tested in 1972 because of shortage of seeds, and 2 progenies which were mass-selected for root weight and sugar contents respectively, were grown as the original population.

Table 4. Anova for data in each year.

Source of variation	df		Root weight		Brix		Sugar yield	
	1971	1972	1971	1972	1971	1972	1971	1972
Block	3	2	.006309	.008916	3.046	3.461	375	279
Line	17	20	.015167	.007511	1.481	1.805	1,015	613
Original population vs. Hybrid progeny	1		.709999**	.015480*	0.236	0.920	4,988**	2,191*
F ₂ vs. F ₃ ^{a)}	1		.042869	.000235	0.000	0.140	3,032*	18
Among F ₃ Groups ^{a)}	2		.032710	.006175	5.580**	0.131	1,847	568
.H vs. LL ^{a)}		1	.007811	.011452	2.420*	0.000	1,198	1,109
HH vs. LH ^{a)}		1	.057608*	.000897	8.740**	0.262	2,496	213
Within F ₂	4		.004980	.002798	0.107	0.198	258	199
Within F ₃ group	8		.007905*	.008207*	0.430**	0.733	546*	838*
Within HH group		4	.006383	.007220	0.681**	0.674	457	678
Within LH group		4	.009426*	.009193	0.179	0.792	636*	999*
KWS-E vs. S-26	1		.000171	.000589	9.909**	6.840**	136	191
KWS-E vs. K-RR		1		.013160		4.168**		352
KWS-E vs. K-SS		1		.007993		2.282*		241
K-RR vs. K-SS		1		.041666**		12.617**		1,176
S-26R vs. S-26S		1		.001568		1.402		48
Error	51	40	.003376	.003547	0.146	0.373	236	345
LSD at 5% level			.082499	.098277	0.54	1.01	21.8	30.6

a) Mean squares for group were tested over corresponding mean squares for within group.

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

Table 5. Anova for data of lines tested successively for two years.

Source of variation	df	Root weight	Brix	Sugar yield
Block	5	.009571	2.116	525.6
Year	1	.177683**	0.520	13,080.0**
Line	11			
1) Original population vs. Hybrid progeny	1	.089790	0.000	5,758.0
2) F ₂ vs. F ₃	1	.003298	0.000	267.0
3) Among F ₃ groups	2	.023607	4.100	1,572.0
a) .H vs. LL	1	.020706	1.060	2,080.0
b) HH vs. LH	1	.026508	7.140	1,064.0
4) KWS-E vs. S-26	1	.000553	14.810**	248.0
5) Within F ₂	1	.000743	0.000	12.0
6) Within F ₃ group	5	.009271*	0.952	762.8
c) Within HH	3	.012929*	0.927	1,161.0*
d) Within LH	2	.003784	0.985	166.0
Line × Year	11			
1) × Y	1	.022340**	0.120	1,153.0*
2) × Y	1	.009006	0.110	814.0
3) × Y	2	.000180	1.040*	40.0
a) × Y	1	.000031	1.020*	68.0
b) × Y	1	.000327	1.040*	11.0
4) × Y	1	.000051	0.130	1.0
5) × Y	1	.011058*	0.037	901.0
6) × Y	5	.001407	0.354	153.6
c) × Y	3	.001308	0.308	97.7
d) × Y	2	.001056	0.430	238.0
Error	55	.002683	0.217	243.2
LSD at 5% level		.07920	0.73	22.0

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

Mean squares for among F₃ groups and its subgroup were tested over mean square for within group of F₃.

るいは原集団より低い値を示す系統も生じた。

これら F₃ の系統のなかで、原集団の KWS-E (対数尺度で 1971 年度 2.6645, '72 年度 2.8350) に最少有意差を加えた値 (2.7470 および 2.9333, グラム単位にするとそれぞれ 560g と 858g) 以上の根重を示した系統を探ると、'71 年度では HH 群の全系統、LH 群の 3 系統があげられるが、'72 年度では LH 59 だけが該当する。また '72 年度では KWS-E より糖分について連続 2 回集団選抜して得られた K-SS よりも有意差以上に高い根重を示した系統としては、LH 59 のほか、HH 20, HH 51,

HH 68, LH 112 があり、そのほとんどは K-RR すなわち KWS-E から根重について連続 2 回集団選抜して得られた系統に匹敵する値を示した。また 2 年間の平均値については年 × 系統のプールした平均平方 (df=11) を基にして最少有意差を求めると、雑種後代の半数以上が KWS-E より有意に高い値を示していることになる (Table 3 参照)

ブリックス: 原集団の KWS-E と S-26 の間には極めて明瞭な差が認められ、前者が低い値を示した。雑種後代の平均値はこれら両者の平均値に等しく、また F₂

と F_3 の間に差が認められない。 F_3 の群間にも明瞭な差は認められないが、平均値の序列は $LH > HH \geq LL$ となる。

基準品種である KWS-E より最少有意差以上に高いブリックスを示した系統をあげると、S-26 のほか '71 年度では F_2 の全系統、HH 20 を除く全 F_3 系統、また '72 年度では F_2 2 系統、 F_3 5 系統および K-SS が該当する。これに対し、K-RR はブリックスが有意に低下していることが示された。一方、S-26 を基準にすると、'71 年度は LH 22, LH 82, LH 110 を除く全系統、'72 年度では F 20, HH 20, HH 51, HH 66, LH 27, LH 59 の諸系統のほか K-RR が有意に低い値を示した。また雑種後代の全ては K-RR より有意に高い値を示し、その半数以上が K-SS とほぼ等しかった。2 年間の平均値では HH 20 を除く全系統が KWS-E より有意に高いが、S-26 に比べると LH 22, LH 82 以外は有意に低い。またこれら 2 系統は原集団の平均値より有意に高いブリックスを示した。

糖量： 原集団の間では、根重がほとんど変わらず、ブリックスは KWS-E が低いため、糖量は S-26 が有意ではないが高い値を示した。後代系統平均値は両年ともに原集団の平均値より高く、 F_3 の平均は F_2 より高い傾向を示した。 F_3 の群間には有意ではないが、 $HH \geq LH > LL$ の序列を示し、また F_3 の群内系統間には有意差があることが認められた。

KWS-E より最少有意差以上に高い糖量を示す系統としては、'71 年度では F_2 2 系統、 F_3 では LH 29 と LL を除く全系統があげられ、'72 年度では HH 20, HH 68, LH 59, LH 112 の 4 系統をあげることができる。またこのうち LH 59 は K-RR より有意に高い値を示した。一方 KWS-E から集団選抜した 2 系統は根重と糖分の間の遺伝的な負の相関反応のため、糖量は有意な増加を示さず、K-SS はむしろ減少の傾向を示した。

根重とブリックスの相関反応： 交雑およびその後代からの選抜に伴って生ずる根重とブリックスの相関反応を、原集団からの集団選抜の結果と比較検討するため、1972 年度のデータを 2 変量散布図として Fig. 1 に示した。この図は両形質の変化の程度を互に比較できるようにするため、次式を用いて基準化した値をプロットしたものである。

$$t_{ij} = \frac{\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{iK}}{\sqrt{2 \cdot MS_{\text{error}}/3}}$$

ただし \bar{X}_{ij} ：形質 i の j 系統の平均値。 \bar{X}_{iK} ：同じく KWS-E の平均値。 MS_{error} ：同じ形質の誤差の平均平方。3：反復数。またこの図には $df=40$ の学生 t の 5% 有意水準における値 ± 2.021 を点線で示してある。この図から KWS-E から集団選抜によって得られた K-RR と K-SS を結ぶ直線はほぼ正確に原点つまり KWS-E の示す点を通ることが認められる。この 3 系統の間で求められる両形質の表現型相関係数は

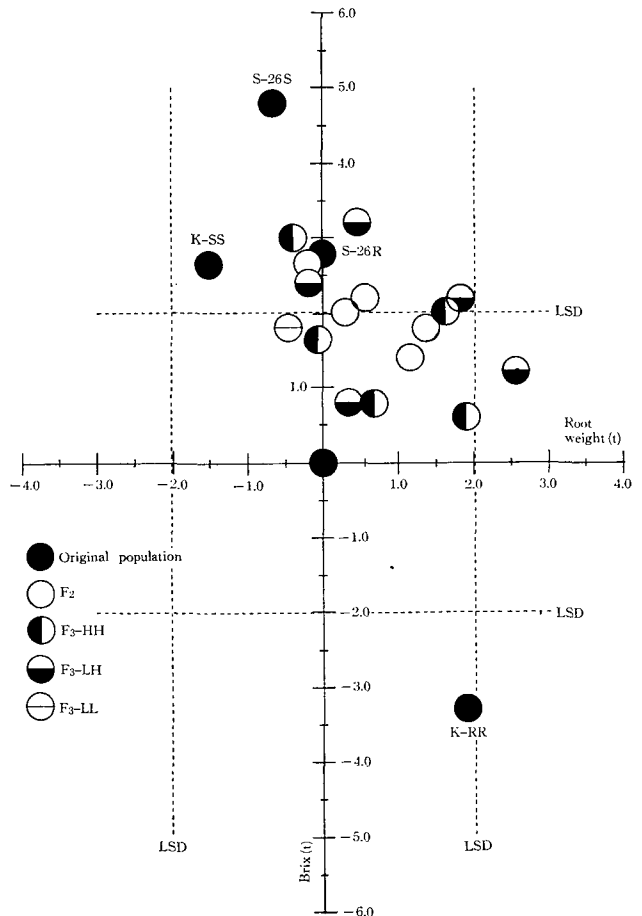


Fig. 1. Bivariate scatter diagram of lines (1972). The root weight and Brix of them were represented by the deviations from the variety KWS-E, which were standardized through t value = (Mean of a given line - Mean of KWS-E) / $\sqrt{2 \cdot MS_{\text{error}}/3}$. Dotted line shows the t value of 2.021 (significant at 5% level).

-0.9999** (df=1) であり, Table 2 に従って求められる遺伝子型相関, および FALCONER (1960) に従って求められる遺伝相関の値は, それぞれ -1.050, -1.010 ではほぼ完全な負の相関を示した。また S-26 の両系統を加えた場合の群内系統間の表現型相関は -0.929 (df=2) 遺伝子型相関は -1.051 であった。これに対して, 雑種後代のほとんど全ての系統はこの KWS-E 群の示す回帰直線から著しい上方への偏りを示し, また半数の系統が S-26 R と S-26 S を結ぶ直線の上方に位置している。

F₃ 系統の選抜に伴う両形質の相関反応を検討するため, 選抜の直接の原集団である F₂ の平均値と, 各 F₃ 系

Table 6. Correlation between selection responses in F₃ progenies (Calculated based on the differences between mean of F₂ group in each character).

	Total	Group	Within group
df	9	1	8
1971	-.356	-.626	-.171
1972	-.149	.262	-.191

Table 7. Root weight (including crown) and Brix of individual F₂ plants of which progenies were tested for performance.

Designation of F ₃ progeny	Derived from F ₂ line of.	Root weight		Brix (%)
		gr.	logX	
HH 20	06	1,095	3.0394	22.8
HH 24	11	1,060	3.0253	23.0
HH 51	23	1,050	3.0212	23.6
HH 66	24	980	2.9912	24.6
HH 68	28	1,150	3.0607	21.4
HH103	22	1,050	3.0212	22.0
LH 22	06	900	2.9542	25.6
LH 27	11	880	2.9442	23.4
LH 29	05	765	2.8837	23.4
LH 52	23	870	2.9395	23.0
LH 82	04	705	2.8482	25.0
LH110	20	720	2.8573	23.6
LH112	16	940	2.9731	21.8
LL*		800	2.8990	19.6

* Mean value of 30 plants.

統の値の間の差を両形質について求め, その間の相関を求めると Table 6 の通りである。すなわち両年とも似た値を示し, 選抜によって生じた両形質の相関反応はほとんど認められない。また Table 7 と, Table 3 から FALCONER (1960) に従って子と親の間の交叉共分散を基にした遺伝相関, また F₃ 系統のみにについての表現型相関, さらに Table 2 に基づいて得られる遺伝子型相関を一括して Table 8 に示した。すなわち, 遺伝相関はいずれも負の値を示すが, その程度は集団選抜の場合ほど大きくはなかった。

Table 8. Correlation between root weight and Brix.

		Total Group	Within group	
Parent-offspring relation ¹⁾	1971	-.544		-.657
	1972	-.651	-.434	-.507
	Pooled	-.341		-.742
df		9 (6)	1 (1)	8 (5)
Phenotypic correlation	1971	-.521	-.669	-.269
	1972	-.373	-.267	-.433
	Pooled	-.533	-.461	-.638
Genotypic correlation ²⁾	1971			-.380
	1972			-.322
	Pooled			-.759

- 1) $r = \sqrt{C_{14} \cdot C_{23} / C_{13} \cdot C_{24}}$, where C represents covariance, 1 and 2 are respectively root weight and Brix of F₂ plant, and 3 and 4 are respectively root weight and Brix of F₃ progeny.
- 2) Based on the component of covariance according to Table 2.

論 議

本実験では親集団である KWS-E と S-26 の間には根重について有意な差が認められなかったが, これまでの観察 (津田・細川 1969 a, b, 津田・八戸 1973) からも明らかのように, KWS-E はもともと S-26 に比較して根重が高く糖分の低い品種である。また本実験の 1972 年のデータが示すように, この品種には集団選抜が充分可能な程度に相対的遺伝変異が含まれているものと考えられる。一方そのなかの個々の個体は当然異型接合体であるから, 交雑 F₁ 世代の各個体は互に遺伝的に整一であるとは言えない。Table 9 にはこの F₁ 個体とそれらの F₂ 系統との間の根重・ブリックスについての関係を示した。根重については全く親子相関は認められず, ブリックスにはやや正の相関が認められるものの有意ではな

い。さらに前報(津田 1972)にも示したように F_2 の系統間の両形質についての差も有意ではない。従って F_1 個体間の両形質の変異には、例え遺伝的変異が関与していたとしてもヘテロシスの発現程度の差であって、相加的な遺伝変異は含まれていなかったと考えられ、従ってこの世代での選抜はいずれの形質についても無効であると推定される。

これに対して F_3 の群内系統間には統計的に有意な差が両形質ともに認められる。いま Table 7 に示した F_2 個体の特性と、それらの F_3 系統の特性 (Table 3) の間

の関係を検討すると Table 10 の通りである。すなわち全ての形質について親子間の相関が比較的高い正の値を示しており、ことに根重についての関係が顕著である。 F_3 系統は母系系統であるから、これを半兄妹から成るものと考え、FALCONER (1960) に従って回帰係数を2倍して遺伝力を推定すれば1.0を超えることになる。これら F_3 系統は放任受粉によって得たものであるため、この方法では遺伝力を過大に推定することになるが、いずれにしても、この F_2 世代の個体間の根重の変異には相加的遺伝変異が大きく関与しており、この世代での選抜が有

Table 9. Relationship between hybrid F_1 plant and its F_2 progeny.

F ₂ line	Root weight			Brix		
	F ₁ plant	Performance of F ₂ line		F ₁ plant	Performance of F line	
		1971	1972		1971	1972
F 03	3.2967		2.8627	17.8		19.4
F 05	3.1271	2.7178		17.4	19.6	
F 06	3.0792	2.7279		16.4	19.6	
F 11	3.1399		2.8253	16.8		19.6
F 29	2.9731		2.8903	16.6		19.0
F 23	3.1173	2.6880		17.4	19.4	
F 24	3.1569	2.7838	2.8510	15.6	19.2	19.3
F 27	3.2878	2.7205	2.9013	15.8	19.3	19.2
Covariance		0.000229	0.000094		.102	.065
b		.036	.005		.102	.083
r		.092	.012		.666	.331

Table 10. Relationship between F_2 plant and its progeny.

Character	Year	Total			Group			Within group			
		df	r	b	df	r	b	df	Cov.	r	b ± sdb
Root weight	1971	9	.790**	.588**	1	1.000*	.592**	8	.000879	.503	.573 ± .348
	1972	9	.359	.288	1	.165	.063	8	.001227	.606	.817 ± .379
	Pooled	6	.830*	.471	1	.935	.423	5	.001159	.754*	.612* ± .238
Brix	1971	9	.741*	.256*	1	.837	.320	8	.194	.536	.146 ± .081
	1972	9	.197	.051	1	.151	.019	8	.153	.131	.082 ± .122
	Pooled	6	.625	.149	1	.756	.178	5	.247	.518	.153 ± .113
Sugar yield	1971	9	.706*	.271*	1	1.000**	.294**	8	67.1	.318	.192 ± .213
	1972	9	.219	.111	1	.350	.082	8	52.2	.230	.273 ± .408
	Pooled	6	.701	.233	1	.999*	.242*	5	58.0	.316	.192 ± .258

r: correlation coefficient, b: Coefficient of regression of F_3 progeny on F_2 plant. sdb: standard deviation of regression coefficient. *, **: significant at 5 and 1 per cent level respectively.

Table 11. Estimated variance components and heritabilities.

z	Root weight			Brix			Sugar yield		
	1971	1972	Pooled	1971	1972	Pooled	1971	1972	Pooled
σ_p^2	.001132	.001553	.000941	.071	.091	.103	77.5	164.3	74.2
σ_{py}^2	—	—	.000000	—	—	.040	—	—	0.0
M_3	.003376	.003547	.002683	.146	.373	.217	236.0	345.0	243.2
h^2	.573*	.568*	.711*	.660*		.423	.567*	.588*	.681*

1) $h^2 = \sigma_p^2 / (\sigma_p^2 + (\sigma_{py}^2) + 1/r_i M_3)$, where r_i is number of replications in i th year.

2) When F_3 progenies are supposed to be half-sib families, $\sigma_p^2 = 1/4 \cdot V_A$ (additive genetic variance) (Falconer 1960). Then all of the heritability values will be larger than 0.8.

* significant at 5% level.

効であることを示している。Table 11 には F_3 の群内系統間の分散から Table 2 に従って求めた遺伝力を示した。明らかな通り、年次間で極めて良く一致した値を示した（これらを半兄妹系統と考えれば、全ての形質について遺伝力は 0.8 を超える）。

従来多くの研究では、根重の遺伝力は低く、表現型による選抜は無効であるとされてきた。例として母系系統を用い、親子回帰係数の 2 倍をもって遺伝力とした場合を示すと、0.129 (今西・武田 1969), 0.16~0.19 (藤本 1971), 0.02 (MACLACHLAN 1972 b) などである。このように根重の遺伝力は極めて低い場合が多いが、長谷川・武田 (1973) は単胚種 T_{mm-1} と Camkilt KLT の交雑 F_3 世代で選抜を行い F_4 系統の収穫時の根重平均値と F_3 個体の親子相関として 0.432~0.574** という高い値を示している。従って本実験で得られた数値は必ずしも特異なものとは言えない。このような正の高い値の得られた原因は今後の研究に俟たねばならないが、この実験は 1 個体間の交配であるため、 F_2 の遺伝変異中に占める相加的遺伝変異が相対的に大きくなったことも一つの可能性として考えられる。

ブリックスについては F_2 の平均と高糖性について選抜した HH, LH 群の平均との間に変化がなく、従ってその選抜は有効であったとは言えない。しかし F_2 個体が 24% 以上のブリックスを示した場合、その後代は高いブリックスを示す傾向が認められる。また計算された遺伝力が低いのは、その計算に関与する系統が全て同一方向への選抜後代であったことも一因と考えられる。従って F_2 世代の糖分の相加的遺伝変異が根重に比べて小さかったとは結論できない。また少なくとも F_2 世代の高糖性についての選抜は後代における糖分の低下を防止する効果をもつと言えよう。

本実験で、 F_3 の群内系統間の変動を無視して、群間の

平均平方を誤差項で検定すれば、群の平均値間の差は有意となり、平均値は選抜の方向に合致した序列を示している。従って F_2 世代における集団選抜もある程度有効であると考えられる。しかし系統間に有意差があることは、適確かつ効率的な選抜を期待するために、母系に展開して後代検定を行うべきであることを示したものである。

結果の項において述べたように、本実験において得られた根重と糖分の間の遺伝相関は、集団選抜の場合に比較して低い値を示した。本実験では、 F_2 個体についてまず根重選抜を行い、これら選抜個体について、糖分を考慮して群別をしたものであり、しかも高根重・低糖分についての選抜後代が含まれていないため、一方の形質だけに着目して行った集団選抜の場合と直接遺伝相関を比較することには問題があらう。然しながら、この両形質が同一遺伝子(群)の多面発現機構によって支配されているものとすれば、K-RR に匹敵する根重を有しながら、これより有意に高いブリックスを有する系統、あるいは K-SS に匹敵するブリックスを有しながら、これより有意に高い根重を有する系統は出現しなかったはずである。藤本 (1971) は飼料用ビートを一方の親に用いて交雑した後代から母系系統選抜を行って両形質の負の相関が破られる場合のあることを示し、また MACLACHLAN (1972 a) も交雑後代の母系系統において遺伝子型相関が正の値を示したことを報告している。従って両形質の間の遺伝的な負の相関の相等部分が遺伝子の連鎖によって支配されているものであり、交雑により組換が生じ、両形質の同時向上がある程度可能であると結論できよう。

このように交雑後の早い世代での選抜によって両形質の同時的な進歩が得られた事実は、この方法が両形質の負の遺伝相関を消去するのに有効であると言える。しかし本実験は個体間の交雑より出発しているため、普通行

われている品種間交雑に比べて、後代における遺伝的変異が少なく、また自殖弱勢が選抜を重ねた場合に早期に現われてくる可能性も考えられるなど、多くのなお検討すべき課題が残されている。

謝 辞

本標題下の一連の研究は本教室主任・細川定治教授の指導の下に開始されたものであり、またこの間教室所属の教職員・大学院生各位より多くの援助を恭くした。ここに記して感謝の意を表する。

要 約

テンサイの根重と糖分の間の負の相関に関与する遺伝的な機構を検討することを最終的な目的として、根重が高く糖分の低い品種 KWS-E と高糖性自殖系統 S-26 のそれぞれ任意に選んだ 1 個体の間で交雑を行い、その F₂ 集団からまず根重について選抜をし、これら選抜個体を根重とブリックスの両特性によって 4 群に分割し、それらの F₃ 母系系統、または集団選抜系統を後代検定にかけ次の結果を得た。

1. 交雑後代は平均して親である KWS-E と S-26 より根重が高く、とくに幾つかの F₃ 母系系統は有意に高い値を示した。
2. 大半の後代系統は KWS-E に比べて高いブリックスを有していたが、S-26 に比べると低く、ほぼ両親集団の中間の値を示すものが多かった。
3. KWS-E から根重について連続 2 回集団選抜を行って得た K-RR に匹敵する根重をもつ一方でブリックスはこれより有意に高い F₃ 系統や、同じく糖分について連続 2 回集団選抜を行って得た K-SS と同じ位のブリックスと、これより有意に高い根重をもつ F₃ 系統が出現した。
4. F₂ における選抜個体と F₃ 系統との間の親子相関は高い値を示し、F₃ 系統間の差も有意であり、従って F₂ 個体間の変異には相加的遺伝変異が多く含まれていることが明らかとなった。ことに根重についてこれが顕著で従来多くの研究結果に比べて対蹠的であった。
5. 両形質の遺伝相関の値も低く算出され、これより単なる品種からの集団選抜よりも、交雑後の母系系統選抜が両形質の遺伝的な同時向上にとって有効な手段であると考えられた。
6. 以上から両形質の負の関係を支配する遺伝的機構として、遺伝子の連鎖が大きい役割を果していると推定された。

引用文献

- COCHRAN, W. G. and G.M. COX. 1960. 新版・実験計画法. 田口・松本訳. 丸善. 東京. p. 629.
- FALCONER, D. S. 1960. Introduction to quantitative genetics (10th edition). Oliver and Boyd, London. pp. 365.
- 藤本文弘 1971. てん菜における母系選抜法の評価に関する研究. てん菜研究報告 10, pp. 136.
- 橋口渉子 1968. 計量育種における統計的方法. 農林水産技術会議事務局監修. 農林水産試験研究のための統計的方法. 農林統計協会, 東京, p. 127-225.
- 長谷川寿保・武田竹雄 1973. てん菜の栽培環境と根重ならびに糖分の選抜効果に関する研究. てん菜研究報告 15, pp. 108.
- 今西 茂・武田竹雄 1969. てん菜の 2, 3 形質に関する遺伝力の推定と遺伝獲得量との関係. 育種 19: 47-53.
- MACLACHLAN, J. B. 1972. Estimation of genetic parameters in a population of monogerm sugar beet (*Beta vulgaris*). 1. Sibanalysis of mother-line progenies. Ir. J. Agric.Res. 11: 237-246.
- 1972. Estimation of genetic parameters in a population of monogerm sugar beet (*Beta vulgaris*). 2. Offspring/parent regression analysis of mother-line progenies. ditto 11: 319-325.
- SUTO T. and K. TOKUYASU 1962. Present status of sugar beet improvement in Japan. Bull. of Sugar Beet Res. 1. p. 73.
- 津田周弥・細川定治 1967. てん菜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. (品種試験から得られた統計量). てん菜研究報告 補巻 7: 34-39.
- 1969 a. てん菜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. (集団選抜より得られた両形質の関係についての考察). 北大農学部紀要 7: 20-28.
- 1969 b. てん菜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. (放射線処理の影響). 育種 19: 437-444.
- 1972. てん菜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 VII. 品種間雑種後代に認められた形質変動について. 北大農・附属農場報告 18: 21-29.
- 八戸三千男 1973. てん菜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.

Summary

With the intention of evaluating the usefulness of the motherline selection after hybridization for the simultaneous improvement of root weight and sugar content of sugar beets, a cross was made between two plants which were arbitrarily sampled from the variety KWS-E and S-26 respectively. The former variety is a yield type one with relatively lower sugar content, and the latter is a sugar type inbred line.

Three or 4 plants with the largest root size were saved from each plot of performance test for F_2 progenies, and as a results, 128 plants in total were selected from about 1080 F_2 plants. On the basis of means of root weight and sugar content of these selected plants, they were classified into following 4 groups; HH (showing higher values of both characters), HL (showing higher root weight and lower sugar content), LH (showing lower root weight and higher sugar content), LL (showing lower values in both characters) (Table 1.) Each of these groups was grown for seed production in isolated plot and seeds of HH and LH group were harvested separately on the plant basis, and those of LL group were harvested in mass. But HL group failed in the seed production because of poor soil condition.

Five families of each of F_2 , HH and LH group which produced ample seeds, and LL group were grown for performance tests in comparison with 2 original populations for two years. The test in latter year involved 2 progenies of KWS-E designated as K-RR and K-SS, of which the former line was obtained by two successive mass-selections for root weight, and the latter for sugar content.

As shown in Table 3, 4 and 5, no significant variations in root weight, Brix and sugar yield estimated by product of the former two traits were detected among F_2 families and among F_3 groups, but it was indicated that the genetic variations in these characters had been produced among F_3 families. Some F_3 families showed superior performances in these characters as compared with the original variety of KWS-E. In addition to this, Fig. 1 clearly shows that some F_3 families with high root weight comparable to K-RR have the significantly higher value of Brix than that of the said line, and some other F_3 families with high Brix value comparable to K-SS have the significantly higher root weight than that of the said line.

The parent-offspring relationship (Table 10) and heritability value estimated on the basis of anova (Table 11) suggested that the existence of additive genetic variations for these characters can be expected among F_2 individuals after such hybridization.

The genetic correlation between root weight and sugar content found in these hybrid progenies was still negative, but much lower than that estimated by the mass-selection from variety per se (Table 6, 8 and Fig. 1).

Based on above mentioned results, it was concluded that the mother-line selection in F_2 after hybridization between two plants differing from each other in superiority of root weight and sugar content would be effective for simultaneous improvement of these characters through the recombination. Furthermore, these results implies that a part of the genetic negative relationship between these characters may be ascribable to the linkage of genes.