

누에의 實用形質에 대한 遺傳力, 遺傳相關 및 經路係數의 分析

鄭 元 福
東亞大學校

Heritability, Genetic Correlation and Path Coefficient Analysis of Economic Characters in the Silkworm, *Bombyx mori*

Won Bog Jeong
Dong-A University, Pusan, Korea.

Summary

This experiment was carried out to analyze genetic parameters for the selection of silkworm by diallel-crossing with three Japanese and four Chinese silkworm races.

Heritability, genetic correlation and path coefficient were calculated as the statistical parameters to evaluate direct or indirect effects of various genetic characters on bave weight. The heritabilities of fifth instar period, cocoon weight, cocoon layer weight, cocoon layer ratio, fibroin contents, boiling off ratio and bave weight were over 76.65% in both F_1 and F_2 generations.

There were positive coefficients in both phenotypic and genotypic correlations between male and female of both F_1 and F_2 generations. The latter showed greater values in general. The correlation between bave weight and the characters of cocoon weight, cocoon layer weight, cocoon layer ratio, fibroin contents were over 0.727 in both sexes of F_1 and F_2 . Therefore, these results suggest that above characters would be useful for genetic selection of silkworms. As result of path coefficient analysis, there was a direct effect with path coefficient value of 0.991 between bave weight and F_1 female cocoon layer weight, and with the value of 0.803 between bave weight and F_1 male cocoon weight. In F_2 , the effect showed 0.938 between bave weight and male cocoon layer ratio, and 0.930 between bave weight and male fibroin contents.

The characters of cocoon weight and cocoon layer weight had greater influence on direct or indirect effects (in path coefficient) than the others.

緒 言

누에 品種育成에서 繭絲量은 매우 중요한 과제이다. 양잠에서 얻어지는 蠶繭과 繭絲는 量의形質로서 多因子에 의하여 지배된다. 더욱이 이들 목적형질은 단순형질이라기 보다는 여러 형질간의 상호작용에 의한 복합형질이라고 볼 수 있다. 목적형질에 관여하는 다른 형질간에 正의 相關이 있을 경우는 한 형질의 선발이

다른 형질의 선발에도 유효하다. 그러므로 목적형질에 관계가 있는 유용형질들을 한 품종에 集積시키려면 먼저 이들 형질에 대한 遺傳力을 파악하고 이들 형질간의 相關關係가 조사되어야 하며 이들 형질이 직접 목적하는 양적형질에 어느 정도 관여하는가, 또한 그 개개의 형질은 직접 목적형질과 상관관계를 가지고 있는 다른 형질과의 상관관계에 의하여 양의 결정에 어느정도 관계하는가를 구명하여야 한다.

본 연구는 전사량을 좌우하는 각 형질간의 상관관계

와 그 개개의 형질이 직접적으로 전사량에 어느정도 관여하는가 또는 그들 형질이 다른 형질과의 관계에 의하여 간접적으로 어떻게 전사량에 영향을 미치는가를 밝히기 위하여 유전력, 상관관계 및 경로계수를 분석하였다.

누에의 유전력에 대한 연구는 土屋・倉島(1957a, b, 1959), 大塚(1966), 大塚・中島(1966, 1968), 齊尾等(1959, 1967), 大井・山下(1977), 大井(1981) 등의 보고가 있다. 또한, 土屋・倉島(1958)는 견충중, 전사장, 전사량의 유전력이 각각 68, 51, 71%라고 하였고, 齊尾等(1959a, b)은 $日 \times 中$, $中 \times 日$ 의 F_2 세대에서 단견중, 견충중의 유전력은 일모체보다 중모체가 크다고 하였다. 金(1972)에 의하면 雌雄間의 유전력은 雌가 雄보다 큰 때도 있고 雄이 雌보다 큰 때도 있으나 이는 교배조합간에 따라 달라진다. 또 二面교잡에 의한 유전력의 추정은 齊尾(1964), 張等(1979), 蒲生・平林(1983), 張・孫(1985), 鄭(1986a, b), 孫等(1987)이 繭質과 絲質의 실용형질에서, 蒲生・平林(1984), 鄭・都(1986), 鄭・張(1987) 등은 견충 연감율에서 각각 유전력을 측정 보고한 바 있다.

齊尾(1958)는 遺傳相關은 각 형질간에 유전적으로 상호 작용하는 것을 의미하기 때문에 선발상 중요한 의의를 갖는다고 보고하였으며 특히 金(1960), 小林(1961), 畑村等(1963), 大井(1965, 1981), 大塚・中島(1966), 大塚・板垣(1966), 皆川・大塚(1975), 河野(1982) 등은 실용 형질간의 유전상관을, 그리고 平林(1982a, b), 鄭等(1986b), 孫等(1987)은 二面교잡방법에 의하여 유전상관을 각각 추정하였다. 또 蒲生・平林(1984)가 견충연 감율과 fibroin량, 견충중간에는 유의적인 상관이 있다고 보고한 바 있다.

경로계수의 분석은 Wright(1921a, b)에 의하여 처음 제안되었고, Li(1956)와 Dewey and Lu(1959)에 의하여 유용형질과의 상관분석과 경로계수 분석 등으로 체계화 되었으며, 韓(1963), 張(1969a), Patal and Telang(1967), 金・張(1978), 發(1984), 張等(1985)은 豆類에서, 生沼(1970), 陳・張(1982), 李・張(1986)은 연초에서, 그리고 張(1969b), 李等(1977)은 油菜등에서 주요 형질간의 상관관계와 경로계수등을 추정한 바 있다. 그러나 누에의 주요 형질에 대한 유전력, 상관관계에 대한 보고는 이상에서와 같이 많은데 비해 경로계수에 대한 분석은 鄭(1988)이 처음 도입한 이래 朴等(1988)의 보고에 불과하다.

여기에는 누에의 유전력, 각형질 상호간의 상관과 경로계수 추정으로 전사량에 관여하는 여러 형질과의 직접효과 및 간접효과를 알고자 누에 교배조합간의 F_1 ,

F_2 세대의 잡종집단을 분석한 바 몇가지 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

材料 및 方法

시험에 공시된 누에 품종은 일본종 계통으로 잠 107, 잠 113, 북동아와 중국종 계통으로 잠 108, 잠 114, 중 14, 남동아의 7개 품종을 사용하여 1985년 봄에 교배진으로 사육, 二面교잡한 후 월년잡종과 불월년잡종으로 재종하였다가 그해 가을에 불월년 잡종으로 F_1 세대를 만들어 1986년 봄에 F_1 , F_2 세대를 공시하였다.

사육방법은 1~3령 방진지육, 4~5령은 보통육으로 각령 1인 4회 급상하였다. 시험구는 4령 항식 후 2인제에 각구 300두씩 3반복으로 배치하였다. 고치 형질 조사는 상족 8인제에 수견하여 단견중, 견충중, 견충비율을 雌雄別, 반복별로 구하여 평균치란 산출하였다.

견충 연감율과 fibroin량 측정은 雌雄別로 각구 분리하여 1구당 3반복으로 견충 10립씩을 칭량, Gauze袋에 넣어 견충량의 50배 정련액(무수탄산 나트륨 10% o. w. f.)으로 40분간 자비, 2회 정련후 세정, 건조, 칭량, 산출하였다.

絲質調査는 繭質調査후 잔여고치 100여개 내외로서 多條線絲機의 製絲에 의하여 실시하였다.

廣義의 유전력은 조사측정된 평균치로 Robinson 등(1949), Grafius等(1952)의 분석에 따라 추정하였으며, 유전상관과 표현형상관은 Johnson等(1955)의 분석법에 의하여 추정하였다. 經路係數는 Dewey and Lu(1959)의 標準偏回歸分析法에 의하여 形質間의 直接效果와 間接效果를 算出하였다.

結果 및 考察

1. 遺傳力

조사형질에 대한 F_1 , F_2 세대의 유전력, 유전분산, 환경분산은 표 1과 같다.

廣義의 유전력은 전 형질 모두 F_1 세대에서 88.07~99.65%, F_2 세대에서 76.65~99.63%로 모두 높았으며 그 경향은 F_1 세대보다 F_2 세대가 다소 낮았다. 유전력이 높은 형질은 교잡육종의 선발에 있어서 중요한 지표가 될 수 있으므로 선발의 기초적인 면에서 그 의미가 크다고 할 수 있다. 일반적으로 본 시험에서와 같이 유전력이 높은 형질은 환경적 영향에 의한 變異가 비교적 적다고 할 수 있겠으나 유전력의 발현은 시험시기나 교배조합 또는 시험장소에 따라서 달라질 수도

Table 1. Genotypic variances(δ^2G), environmental variances(δ^2E), and heritabilities (h^2) of seven characters in the F_1 and F_2 of the silkworm

Item		F_1			F_2		
		δ^2G	δ^2E	h^2 (%)	δ^2G	δ^2E	h^2 (%)
Characters							
Fifth instar		341.610	1.995	99.41	105.446	25.197	80.71
Period							
Cocoon weight	Female	0.093	0.002	97.69	0.055	0.004	93.25
	Male	0.055	0.001	97.13	0.030	0.004	88.01
Cocoon layer weight	Female	86.305	0.440	99.49	67.849	1.447	97.91
	Male	83.049	0.284	99.65	58.733	0.218	99.63
Cocoon layer ratio	Female	8.682	0.250	97.20	6.598	0.128	98.09
	Male	12.275	0.649	94.97	9.673	0.181	98.17
Amount of fibroin	Female	49.178	0.454	99.08	34.530	0.382	98.90
	Male	48.695	0.260	99.46	32.427	0.662	98.00
Boiling off ratio	Female	1.774	0.240	88.07	1.149	0.350	76.65
	Male	1.900	0.182	91.23	2.045	0.414	83.17
Bave weight		70.799	0.245	99.65	52.162	0.234	99.55

있고 또한 사육방법 및 분석방법에 따라서도 그 결과는變動될 수 있다. 이것은 환경에 의하여 형질의 유전력의 發現이 달라지기 때문이며 또한 유전자와 환경과의 복잡한 相互作用에 의한 것이라고 생각되기 때

문에 여러 가지 환경하에서 複合的인 차원으로 檢討되어야 더욱 더 效果的인 것으로 思料된다.

누에의 유전력에 대한 연구 보고는 齊尾(1958)가 狹義의 유전력을, 土屋·倉島(1957a, 1957b, 1958) 등이

Table 2. Phenotypic, genotypic and environmental covariances of seven characters in the F_1 generation of the silkworm

Characters		FP	CW	CL	CR	AF	BR	BW
		Cov.Ph	(335.361)	1.303	101.803	39.519	70.613	11.401
*Fifth instar period (FP)	Cov.G		1.322	104.260	40.552	72.274	11.683	86.286
	Cov.E	(335.361)	0.011	0.044	-0.051	0.067	-0.004	0.070
	Cov.Ph	0.833	(0.093)	2.299	0.350	1.743	0.111	2.087
Cocoon weight (CW)	Cov.G	0.860		2.358	0.379	1.773	0.113	2.142
	Cov.E	-0.007	(0.055)	-0.002	-0.020	0.012	0.001	-0.003
	Cov.Ph	102.330	1.767	(84.660)	22.773	62.165	3.960	72.202
Cocoon layer weight (CL)	Cov.G	104.915	1.804		23.192	63.655	4.130	74.056
	Cov.E	-0.065	0.007	(81.328)	0.145	0.040	-0.076	-0.064
	Cov.Ph	50.115	0.382	27.496	(8.718)	16.260	0.966	18.357
Cocoon layer ratio (CR)	Cov.G	51.086	0.411	28.177		16.754	1.002	18.790
	Cov.E	0.252	-0.019	-0.007	(12.626)	-0.089	-0.012	0.017
	Cov.Ph	75.820	1.310	61.144	20.998	(48.444)	2.405	53.362
Amount of fibroin (AF)	Cov.G	77.615	1.338	62.557	21.579		2.534	54.634
	Cov.E	0.043	0.004	0.094	-0.067	(47.822)	-0.068	0.053
	Cov.Ph	12.058	0.045	3.883	1.581	2.421	(1.971)	2.708
Boiling off ratio (BR)	Cov.G	12.167	0.048	3.961	1.561	2.479		2.766
	Cov.E	0.195	-0.001	0.019	0.061	0.008	(2.034)	0.012
	Cov.Ph	84.257	1.631	69.968	22.590	53.178	1.832	(69.343)
*Bave weight (BW)	Cov.G	86.286	1.670	71.764	23.211	54.476	1.851	
	Cov.E	0.070	0.001	-0.064	-0.056	0.033	0.022	(69.343)

*, Fifth instar period and bave weight are obtained irrespective of sex.

Cov.Ph, phenotypic covariance; Cov.G, genotypic covariance; Cov.E, environmental covariance.

Covariances for characters of female and male are shown above and below side of stratified diagonal line, respectively. Numbers in parentheses are phenotypic variances.

Table 3. Phenotypic, genotypic and environmental covariances of seven characters in the F₂ generation of the silkworm

Characters		FP	CW	CL	CR	AF	BR	BW
*Fifth instar period (FP)	Cov.Ph	(128.949)	0.908	47.045	15.541	35.391	1.686	45.012
	Cov.G		0.984	51.055	16.196	36.367	0.553	46.281
	Cov.E	(128.949)	-0.065	-2.688	-0.138	-0.041	0.809	-0.348
Cocoon weight (CW)	Cov.Ph	0.731	(0.057)	1.647	0.358	0.915	0.045	1.328
	Cov.G	0.662		1.649	0.383	0.941	0.045	1.355
	Cov.E	0.070	(0.034)	0.040	-0.015	-0.003	-0.001	0.004
Cocoon layer weight (CL)	Cov.Ph	48.327	1.077	(67.645)	19.510	42.753	3.158	54.649
	Cov.G	49.010	1.091		19.899	43.873	3.268	55.975
	Cov.E	0.509	0.013	(57.535)	0.077	-0.071	0.008	0.049
Cocoon layer ratio (CR)	Cov.Ph	19.702	0.301	21.989	(6.577)	13.216	1.107	16.032
	Cov.G	20.455	0.323	22.503		13.520	1.144	16.467
	Cov.E	-0.156	-0.014	0.289	(9.624)	0.017	0.023	-0.018
Amount of fibroin (AF)	Cov.Ph	35.795	0.708	40.332	15.387	(34.074)	2.260	36.324
	Cov.G	37.405	0.731	41.348	15.740		2.392	37.238
	Cov.E	-0.647	-0.004	-0.015	0.019	(32.299)	-0.061	-0.010
Boiling off ratio (BR)	Cov.Ph	0.901	0.126	3.021	0.608	0.703	(1.551)	2.314
	Cov.G	0.904	0.119	3.129	0.634	0.862		2.351
	Cov.E	-0.215	0.006	-0.035	0.007	-0.127	(2.436)	-0.028
*Bave weight (BW)	Cov.Ph	45.012	0.953	50.636	19.079	37.891	2.217	(51.172)
	Cov.G	46.281	0.977	51.859	19.519	38.846	2.285	
	Cov.E	-0.348	-0.003	0.036	0.042	-0.017	-0.039	(51.172)

For legend, see Table 2.

품종의 系統別 유전력을 F₁세대에서 구한 바 일본종은 견충중 71.0, 견사장 51.0, 견사량 54.3%이고 중국종은 각각 56.0, 65.0, 54.3%이며, 中×日 交雜에서도 각각 68, 51, 71%라고 보고하였다. 金(1972)은 父體를 일정한 품종으로 固定하여 母體를 달리하여 交配시킬 경우 따라 견충중의 유전력은 雌가 雄보다 크게 나타나기도 하고, 雄이 雌보다 크게 表現되기도 하며 그 크기는 0.26~0.35라고 보고한 바 있다. 齊尾(1959a)는 日×中, 中×日으로 교잡했을 경우 F₂의 유전력은 단견중, 견충중 등에서 日母體보다 中母體가 크다고 보고했고, 大塚·中島(1966)도 같은 결과를 보고하였다. 한편 大塚(1966)는 가장형질의 유전력 추정에서 5령경과는 낮았으나 견사량, 견사장, 견충중, 견충비율 등은 유전력이 높다고 보고했다. 이들로 미루어 보아 유전력의 값이 일정하지는 않으나 연구자들은 대체로 繭質과 絲質의 實用形質은 높은 유전력을 나타낸다고 보고하여 본시험의 결과와 유사한 경향이였다.

2. 形質相互間의 相關關係

다사량계 품종을 육종목표로 할 경우 선발 대상이 되는 각 형질의 유전력이 낮으면 그만큼 선발효과의 기대가 적으나 유전력이 다소 낮은 형질이라도 목적형질과 높은 상관이 있는 형질이 있다면 선발은 다소 효과적으로 수행될 수 있으므로 주요 형질간의 유전상관

은 평가해 볼 필요가 있다. 따라서 형질간의 表現型共分散, 遺傳共分散, 環境共分散을 산출한 결과는 表 2, 3과 같고, 또 각 형질간에 상관의 정도를 추정하기 위하여 表現형상관, 유전상관, 환경상관을 추정한 결과는 表 4, 5와 같다.

표 2, 3의 共分散은 F₁세대에서 遺傳共分散이 表現型共分散보다 대체로 높은 경향이였으나 환경공분산은 대체로 이들보다 낮았다. 유전공분산이 表現형공분산보다 다소 낮았던 경우는 雄의 형질중 견충연감율과 견충비율간의 상관 뿐이었다. F₂세대에서도 F₁세대와 비슷한 경향으로서 유전공분산은 表現형공분산보다 대부분 높았고, 유전공분산이 表現형공분산보다 낮았던 경우는 雌의 형질 중 5령경과와 견충연감율간에서, 雄의 형질 중 단견중과 5령경과, 견충연감율과 단견중간에서의 상관 뿐이었다.

표 4, 5의 相關關係에서 F₁세대의 자웅 모두 형질 상호간의 相關係數는 表現형상관과 유전상관의 값이 대부분 正의 상관관계를 보였고, 유전상관 값은 表現형상관 값보다 높았다. 雄의 形質 중 단견중과 5령경과, 견충연감율과 단견중, 견사량과 견충연감율간의 상관을 제외한 각 자웅의 형질 상호간은 높은 상관을 보였다. 또 雌의 형질 중 견사량과의 상관관계를 보면 견사량과 견충연감율, 견사량과 5령경과가 각각 0.232,

Table 4. Phenotypic(rPh), genotypic(rG) and environmental correlation coefficients(rE) in the F₁ of the silkworm

Characters		FP	CW	CL	CR	AF	BR	BW
Fifth instar period (FP)	rPh		0.233*	0.604**	0.730**	0.554**	0.443**	0.553**
	rG		0.235	0.607	0.745	0.558	0.475	0.555
	rE		0.175	0.047	-0.073	0.071	-0.006	0.100
Cocoon weight (CW)	rPh	0.193		0.819**	0.389**	0.821**	0.260*	0.822**
	rG	0.198		0.832	0.422	0.829	0.278	0.835
	rE	-0.123		-0.085	-0.854	0.389	0.048	-0.143
Cocoon layer weight (CL)	rPh	0.620**	0.830**		0.838**	0.971**	0.307**	0.942**
	rG	0.623	0.841		0.847	0.977	0.334	0.947
	rE	-0.087	0.329		0.437	0.091	-0.235	-0.195
Cocoon layer ratio (CR)	rPh	0.770**	0.456**	0.858**		0.791**	0.233*	0.747**
	rG	0.739	0.499	0.882		0.811	0.255	0.758
	rE	0.222	-0.610	-0.018		-0.267	-0.052	0.071
Amount of fibroin (AF)	rPh	0.509**	0.803**	0.980**	0.855**		0.246*	0.921**
	rG	0.602	0.815	0.984	0.883		0.271	0.926
	rE	0.060	0.206	0.346	-0.163		-0.208	0.160
Boiling off ratio (BR)	rPh	0.462**	0.135	0.302**	0.312**	0.246*		0.232**
	rG	0.477	0.148	0.315	0.323	0.258		0.247
	rE	0.323	-0.079	0.085	0.179	0.040		0.051
Bave weight (BW)	rPh	0.553**	0.830**	0.931**	0.763**	0.923**	0.154	
	rG	0.555	0.843	0.936	0.787	0.928	0.160	
	rE	0.100	0.095	-0.240	-0.140	0.131	0.105	

Correlation between female and male are shown above and below side of diagonal.

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

Table 5. Phenotypic(rPh), genotypic(rG) and environmental correlation coefficients(rE) in the F₂ of the silkworm

Characters		FP	CW	CL	CR	AF	BR	BW
Fifth instar period (FP)	rPh		0.335**	0.504**	0.534**	0.534**	0.119	0.554**
	rG		0.411	0.604	0.614	0.603	0.050	0.624
	rE		-0.207	-0.445	-0.077	-0.013	0.272	-0.144
Cocoon weight (CW)	rPh	0.351**		0.838**	0.584**	0.656**	0.151	0.776**
	rG	0.372		0.857	0.638	0.686	0.178	0.803
	rE	0.217		0.527	-0.649	-0.075	-0.038	0.122
Cocoon layer weight (CL)	rPh	0.561**	0.775**		0.925**	0.891**	0.308**	0.929**
	rG	0.623	0.820		0.940	0.906	0.370	0.941
	rE	0.217	0.428		0.179	-0.095	0.011	0.085
Cocoon layer ratio (CR)	rPh	0.559**	0.529**	0.934**		0.883**	0.347**	0.874**
	rG	0.640	0.599	0.944		0.896	0.415	0.888
	rE	-0.073	-0.510	0.145		0.078	0.108	-0.103
Amount of fibroin (AF)	rPh	0.555**	0.680**	0.936**	0.873**		0.311**	0.870**
	rG	0.640	0.740	0.947	0.889		0.380	0.877
	rE	-0.159	-0.083	-0.040	0.055		-0.168	-0.034
Boiling off ratio (BR)	rPh	0.051	0.439**	0.255*	0.125	0.079		0.260*
	rG	0.062	0.481	0.285	0.143	0.106		0.304
	rE	-0.067	0.157	-0.116	0.024	-0.243		-0.097
Bave weight (BW)	rPh	0.554**	0.727**	0.933**	0.860**	0.932**	0.199	
	rG	0.624	0.780	0.937	0.869	0.945	0.221	
	rE	-0.114	-0.083	0.158	0.204	-0.043	0.125	

For legend, see Table 4.

0.553으로 다소 낮은 正의 상관을 보인 반면 견사량과 견충중, fibroin량, 단견중 및 견충비율간은 0.747이상의 높은 正의 상관을 보였다. 雄의 형질 중 견사량과의 상관관계를 보면 견사량과 견충연감율, 5령경과에서 각각 약간 낮은 正의 상관을 보였고, 기타 형질과는 대체로 높은 正의 상관을 보였다. F₂세대에서는 雌의 형질 중 5령경과와 견충연감율, 단견중과 견충연감율은 有意성이 인정되지 않았으며 雄의 형질 중 견충연감율과 5령경과, 견충연감율과 견충비율, 견충연감율과 fibroin량, 견사량과 견충연감율간에도 有意성이 인정되지 않았다. 자용 모두 견사량과 단견중, 견충중, 견충비율 및 fibroin량은 0.727이상의 높은 상관을 보였다.

유전상관은 각 형질간의 유전적인 상호작용을 意味하기 때문에 선발상 중요한 意義를 갖는다(Robinson 등, 1977). 유전력이 높은 형질간의 유전상관은 일반적으로 표현형상관보다 그 값이 크게 나타나며, 그 값은 유전분산과 유전공분산에서 산출되고 세대에 따라 差異가 있다. 다사량계 품종을 육종 목표로 할 경우 이와 관련되는 어떤 형질에서 유전력이 낮으면 초기세대에서 이들 형질의 선발효과는 크게 기대할 수 없다. 그러나 이들 형질도 유전력이 높은 다른 형질과의 사이에서 높은 유전상관을 認定할 수 있다면 多絲量系에 대한 선발도 어느 정도 효과적이라고 할 수 있을 것이다. 그러므로 유전력이 낮을지라도 주요 형질간의 상관관계를 평가해 볼 필요가 있다.

본 시험의 결과에서 F₁, F₂세대의 자용은 각 형질간의 표현형공분산과 유전공분산 그리고 표현형상관과 유전상관이 모두 正의 방향으로 나타났다. 각 형질과 견사량과의 상관관계에서 높은 상관관계를 나타내는 형질을 살펴보면 F₁, F₂세대의 각 자용에서 단견중, 견충중, 견충비율 및 fibroin량 등이 대체로 正의 有意인 상관을 나타내었다. 단 原蠶種과 F₁세대간의 상관에 대해서는 河野(1982)가 단견중, 견충중, 견사장 및 견사량 등에서 有意적이라고 보고했고, 平林(1982a, 1982b)는 5령경과, 단견중, 견충중, 견사량 등의 F₁값과 MP(양원종의 평균치)간에 有意적인 상관이 있다고 하였으며, 谷口・眞野(1982)는 原蠶種과 F₁세대에서 견사장의 상관이 r=0.711로서 有意적이라고 보고했고, 鄭등(1986b)은 불월년종에서 견사장과 단견중, 견충중 및 견충비율의 자용간에 높은 正의 유전상관이 있다고 하였다. F₂세대에서는 小林(1961)가 단견중과 견충중간에 유전상관이 있다고 하였고, 大塚・中島(1986)는 단견중, 견충중, 견충비율이 F₂세대에서 유전력이 높고 유전상관도 1에 가까운 수치를 보

였다고 보고한 바 있다. 이들 보고자들의 몇몇 주요 형질간의 相關係數가 높다고 보고한 바와 본 시험의 결과와는 비슷한 경향이였다.

3. 經路係數

유전상관을 이용하여 여러 형질이 직접 또는 간접적으로 繭絲量에 미치는 영향을 究明하기 위해 경로계수를 분석한 결과는 표 6, 7과 그림 1, 2와 같다.

F₁ 세대의 雌에서 여러 형질이 견사량에 미치는 직접효과는 견충중이 p_{3b}=0.991, 단견중이 p_{2b}=0.179, 5령경과가 p_{1b}=0.133의 順으로 正의 효과를, fibroin량이 p_{5b}=-0.142, 견충연감율이 p_{6b}=-0.131, 견충비율이 p_{4b}=-0.107로 負의 효과를 나타내었다. 견사량에 직접효과가 가장 컸던 견충중의 간접효과는 단견중과 5령경과의 關與에 의해 각각 r_{23p2b}=0.149, r_{13p1b}=0.080으로 正의 효과를 나타냈고, fibroin량, 견충비율, 견충연감율의 관여에 의해 각각 -0.139, -0.091, -0.044로서 負의 간접효과를 나타내었다. 전 형질을 통하여 대체로 간접효과가 正으로 나타난 형질은 견충중이 관여하는 조합에서 r_{35p3b}=0.968, r_{34p3b}=0.840, r_{23p3b}=0.816, r_{13p3b}=0.602로 각각 나타남으로써 견충중이 각 형질에 영향을 미친 것으로 평가된다.

F₁세대의 雄에 있어서 견사량에 대한 직접효과는 단견중이 p_{2b}=0.803, 견충비율이 p_{4b}=0.401, 5령경과가 p_{1b}=0.296, fibroin량이 p_{5b}=0.211로 正의 효과를 나타내었고, 견충중, 견충연감율이 각각 p_{3b}=-0.439, p_{6b}=-0.146으로 負의 직접효과를 나타내었다. 견사량에 직접효과가 가장 컸던 단견중의 간접효과는 견충비율, fibroin량 및 5령경과의 관여에 의하여 0.200, 0.172, 0.059로 正의 효과를, 견충중과 견충연감율의 관여에 의해 각각 負의 간접효과를 나타내었다. 전 형질을 통하여 대체로 간접효과가 正으로 크게 나타난 조합은 단견중이 관여하는 조합에서 r_{23p2b}=0.676, r_{25p2b}=0.655, r_{24p2b}=0.401로 각각 나타남으로써 단견중이 각 형질에 영향을 미친 것으로 평가된다.

F₂세대의 雌에서 여러 형질이 견사량에 미치는 직접효과는 견충비율이 p_{4b}=0.506, 단견중이 p_{2b}=0.400로서 正으로, 견충중이 p_{1b}=-0.100로서 負의 효과를 나타내었고, 간접효과는 전 형질을 통하여 r_{34p4b}=0.476, r_{45p4b}=0.453, r_{24p4b}=0.323, r_{14p4b}=0.311로 나타나 견충비율이 각 형질에 영향을 미친 것으로 추정되었다.

F₂세대 雄의 견사량에 대한 직접효과는 견충비율이

Table 6. Path coefficient analysis of the direct and indirect influences of each character on bave weight of the silkworm in the silkworm in the F₁ generation

(1) Fifth instar period vs. Bave weight		(2) Cocoon weight vs. Bave weight		(3) Cocoon layer weight vs. Bave weight	
Female	Male	Female	Male	Female	Male
$r_{1b} = 0.555$	$r_{1b} = 0.555$	$r_{2b} = 0.835$	$r_{2b} = 0.843$	$r_{3b} = 0.947$	$r_{3b} = 0.936$
$p_{1b} = 0.133$	$p_{1b} = 0.296$	$p_{2b} = 0.179$	$p_{2b} = 0.803$	$p_{3b} = 0.991$	$p_{3b} = -0.439$
$r_{12p2b} = 0.042$	$r_{12p2b} = 0.160$	$r_{12p1b} = 0.031$	$r_{12p1b} = 0.059$	$r_{13p1b} = 0.080$	$r_{13p1b} = 0.184$
$r_{13p3b} = 0.602$	$r_{13p3b} = -0.273$	$r_{23p3b} = 0.825$	$r_{23p3b} = -0.369$	$r_{23p2b} = 0.149$	$r_{23p2b} = 0.676$
$r_{14p4b} = -0.080$	$r_{14p4b} = 0.316$	$r_{24p4b} = -0.045$	$r_{24p4b} = 0.200$	$r_{34p4b} = -0.091$	$r_{34p4b} = 0.354$
$r_{15p5b} = -0.079$	$r_{15p5b} = 0.127$	$r_{25p5b} = -0.118$	$r_{25p5b} = 0.172$	$r_{35p5b} = -0.139$	$r_{35p5b} = 0.207$
$r_{16p6b} = -0.062$	$r_{16p6b} = -0.069$	$r_{26p6b} = -0.036$	$r_{26p6b} = -0.022$	$r_{36p6b} = -0.044$	$r_{36p6b} = -0.046$

(4) Cocoon layer ratio vs. Bave weight		(5) Amount of fibroin vs. Bave weight		(6) Boiling off ratio vs. Bave weight	
Female	Male	Female	Male	Female	Male
$r_{4b} = 0.758$	$r_{4b} = 0.787$	$r_{5b} = 0.926$	$r_{5b} = 0.928$	$r_{6b} = 0.247$	$r_{6b} = 0.160$
$p_{4b} = -0.107$	$p_{4b} = 0.401$	$p_{5b} = -0.142$	$p_{5b} = 0.211$	$p_{6b} = -0.131$	$p_{6b} = -0.146$
$r_{14p1b} = 0.099$	$r_{14p1b} = 0.233$	$r_{15p1b} = 0.074$	$r_{15p1b} = 0.178$	$r_{16p1b} = 0.063$	$r_{16p1b} = 0.141$
$r_{24p2b} = 0.075$	$r_{24p2b} = 0.401$	$r_{25p2b} = 0.148$	$r_{25p2b} = 0.655$	$r_{26p2b} = 0.050$	$r_{26p2b} = 0.119$
$r_{34p3b} = 0.840$	$r_{34p3b} = -0.387$	$r_{35p3b} = 0.968$	$r_{35p3b} = -0.432$	$r_{36p3b} = 0.331$	$r_{36p3b} = -0.138$
$r_{45p5b} = -0.115$	$r_{45p5b} = 0.186$	$r_{46p4b} = -0.087$	$r_{46p4b} = 0.354$	$r_{46p4b} = -0.027$	$r_{46p4b} = 0.130$
$r_{46p6b} = -0.033$	$r_{46p6b} = -0.047$	$r_{56p6b} = -0.036$	$r_{56p6b} = -0.038$	$r_{56p5b} = -0.039$	$r_{56p5b} = 0.054$

Note: r, genotypic correlation; p_{ab} , direct effect; r_{mnpab} , indirect effect.

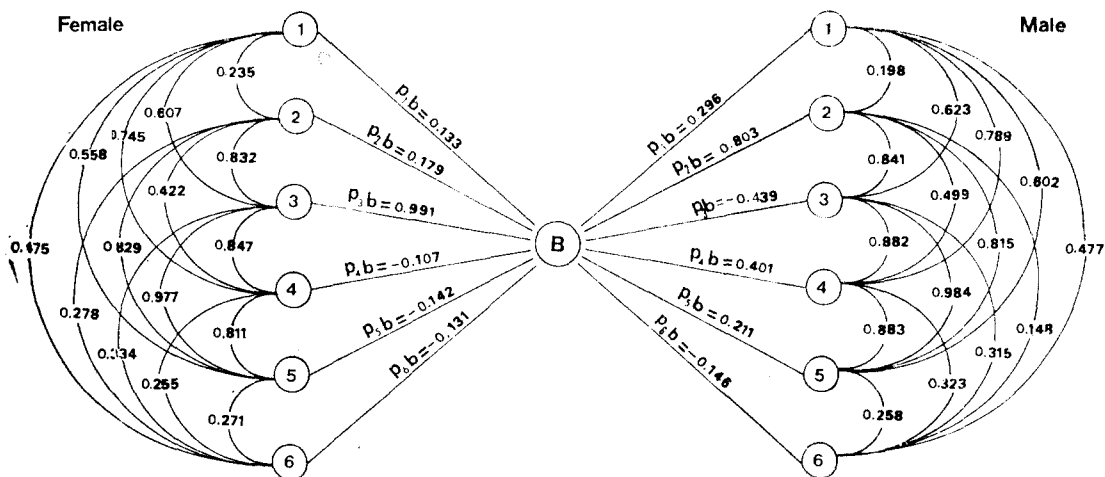


Fig. 1. Path-diagram of direct effects of each character on bave weight in F₁ generation of the silkworm. The curved lines indicate indirect effects between the characters.

1. Fifth instar period; 2. Cocoon weight; 3. Cocoon layer weight; 4. Cocoon layer ratio; 5. Amount of fibroin; 6. Boiling off ratio; B. Bave weight.

Table 7. Path coefficient analysis of the direct and indirect influences of each character on bave weight of the silkworm in the F₂ generation

(1) Fifth instar period vs. Bave weight		(2) Cocoon weight vs. Bave weight		(3) Cocoon layer weight vs. Bave weight	
Female	Male	Female	Male	Female	Male
$r_{1b} = 0.624$	$r_{1b} = 0.624$	$r_{2b} = 0.803$	$r_{2b} = 0.780$	$r_{3b} = 0.941$	$r_{3b} = 0.937$
$p_{1b} = 0.097$	$p_{1b} = 0.063$	$p_{2b} = 0.400$	$p_{2b} = 0.598$	$p_{3b} = -0.100$	$p_{3b} = -1.385$
$r_{12p2b} = 0.164$	$r_{12p2b} = 0.222$	$r_{12p1b} = 0.040$	$r_{12p1b} = 0.023$	$r_{13p1b} = 0.059$	$r_{13p1b} = 0.039$
$r_{13p3b} = -0.060$	$r_{13p3b} = -0.762$	$r_{23p3b} = -0.086$	$r_{23p3b} = -1.136$	$r_{23p2b} = 0.343$	$r_{23p2b} = 0.490$
$r_{14p4b} = 0.311$	$r_{14p4b} = 0.600$	$r_{24p4b} = 0.323$	$r_{24p4b} = 0.562$	$r_{34p4b} = 0.476$	$r_{34p4b} = 0.885$
$r_{15p5b} = 0.113$	$r_{15p5b} = 0.595$	$r_{25p5b} = 0.128$	$r_{25p5b} = 0.664$	$r_{35p5b} = 0.169$	$r_{35p5b} = 0.881$
$r_{16p6b} = -0.001$	$r_{16p6b} = 0.006$	$r_{26p6b} = -0.003$	$r_{26p6b} = 0.044$	$r_{36p6b} = -0.006$	$r_{36p6b} = 0.026$

(4) Cocoon layer ratio vs. Bave weight		(5) Amount of fibroin vs. Bave weight		(6) Boiling off ratio vs. Bave weight	
Female	Male	Female	Male	Female	Male
$r_{4b} = 0.888$	$r_{4b} = 0.869$	$r_{5b} = 0.877$	$r_{5b} = 0.945$	$r_{6b} = 0.304$	$r_{6b} = 0.221$
$p_{4b} = 0.506$	$p_{4b} = 0.938$	$p_{5b} = 0.187$	$p_{5b} = 0.930$	$p_{6b} = -0.016$	$p_{6b} = 0.091$
$r_{14p1b} = 0.060$	$r_{14p1b} = 0.040$	$r_{15p1b} = 0.058$	$r_{15p1b} = 0.040$	$r_{16p1b} = 0.005$	$r_{16p1b} = 0.004$
$r_{24p2b} = 0.255$	$r_{24p2b} = 0.358$	$r_{25p2b} = 0.274$	$r_{25p2b} = 0.443$	$r_{26p2b} = 0.071$	$r_{26p2b} = 0.288$
$r_{34p3b} = -0.094$	$r_{34p3b} = -1.307$	$r_{35p3b} = -0.091$	$r_{35p3b} = -1.312$	$r_{36p3b} = -0.037$	$r_{36p3b} = -0.395$
$r_{45p5b} = 0.168$	$r_{45p5b} = 0.827$	$r_{46p6b} = 0.453$	$r_{46p6b} = 0.834$	$r_{46p4b} = 0.210$	$r_{46p4b} = 0.125$
$r_{46p6b} = -0.007$	$r_{46p6b} = 0.011$	$r_{56p6b} = -0.006$	$r_{56p6b} = 0.010$	$r_{56p5b} = 0.071$	$r_{56p5b} = 0.099$

Note: r , genotypic correlation; p_{ab} , direct effect; $r_{abp_{ab}}$, indirect effect.

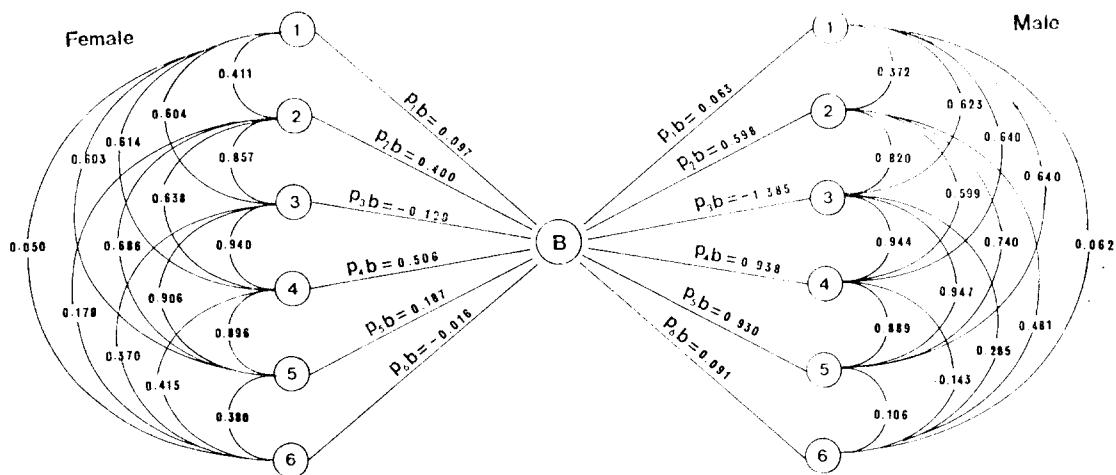


Fig. 2. Path-diagram of direct effects of each character on bave weight in F₂ generation of the silkworms. The curved lines indicate indirect effects between the characters.

See Fig. 1 for legend.

$p_4b=0.938$, fibroin량이 $p_5b=0.930$ 건충중이 $p_3b=-1.385$ 로서 正・負로 각각 나타났고, 간접효과는 진형질을 통하여 $r_{342}p_4b=0.885$, $r_{45}p_4b=0.834$, $r_{45}p_5b=0.827$ 로 나타나 건충비율과 fibroin량이 각 형질에 영향을 미친 것으로 추정된다.

경로계수는 선발과정에 있어서 유전상관을 명백히 분석하는 데 필요하다. 육종을 위한 선발과정에서 어떤 형질을 선발할 때 표현형만을 보고 목적형질을 선별하는 것이 대부분이므로 각 형질의 발현이 목적형질인 건사량에 어떤 유전적 효과를 미치는가를 알기 위해 Dewey and Lu(1959)의 標準偏回歸分析法를 적용하여 건사량의 특정 형질에 대한 다른 형질의 직접 또는 간접적인 효과를 추정하였다.

본 시험에서 건사량에 미치는 직접적인 영향은 F₁세대의 雌雄에서 각각 건충중과 단견중, 단견중과 건충비율이고 F₂세대의 雌雄에서 건충비율이 각각 正의 방향으로 크게 나타났다. 건사량에 미치는 간접효과는 진형질을 통하여 F₁세대는 雌雄에서 건충중과 단견중이 대체로 큰 영향을 나타내었다. 또한 F₂세대는 雌에서 건충비율, 雄에서 건충비율과 fibroin량이 각각 正의 방향으로 간접적인 영향을 크게 미친 것으로 생각된다. 이런 결과로 直・間接間의 영향은 世代別, 雌雄別로 다소 變異가 있었지만 대체로 단견중, 건충중, 건충비율, fibroin량 등의 直・간접효과가 크게 평가되는 것으로 보아 가감육종에는 주로 이들 형질이 건사량에 크게 영향을 미칠 것으로 추정되며 이는 유전상관의 결과와도 잘 一致하는 경향이 있었다. 그러나 경로계수는 세대와 환경에 따라서도 변동되지만 교배조합 간에도 달라지는 것이 일반적이다. 경로계수의 직접효과와 간접효과가 누에 육종에 도입됨으로써 선발효과를 한층더 높이는 데 奏效할 것으로 思料된다. 누에에 대한 경로계수의 도입은 鄭(1988)이 최초로 시도하였고 朴등(1988)의 몇개 형질에 대한 보고뿐이다. 경로계수에 대한 개념을 가감육종에 도입하여 여러 형질을 대상으로 多角的인 면에서 연구 분석되어야 할 것으로 생각된다.

摘 要

家蠶育種의 選抜에 대한 遺傳的 Parameter를 추적하기 위해 누에 日本種系統 3, 中國種系統 4 모두 7개 품종을 二面交配하여 주요 繭性과 絲質의 遺傳力과 遺傳相關을, 그리고 遺傳相關의 값을 利用하여 여러 形質이 直接 또는 間接적으로 繭絲量에 미치는 影響을 究明하기 위한 經路係數를 推定하였다.

原蠶種을 材料로 한 각 形質의 遺傳力은 F₁, F₂세대에서 5령경과, 단견중, 건충중, 건충비율, fibroin량, 건충연감율, 건사량 등이 모두 76.65% 이상이였다. 繭絲量과의 相關關係를 F₁, F₂세대에서 雌雄別로 보면 表現型相關과 遺傳相關의 값은 대체로 正의 方向이었고, 遺傳相關의 값이 表現型相關의 값보다 일반적으로 높았다. 繭絲量과의 形質相互間의 相關關係에서 단견중, 건충중, 건충비율, fibroin량 등은 F₁, F₂세대의 雌雄이 모두 0.727 이상의 높은 遺傳相關 값을 보였다. 주요 形質들의 遺傳力이 대체로 높고 遺傳相關의 값이 正의 方向이므로 이들 形質은 選抜이 용이할 것으로 기대된다. 經路係數는 繭絲量에 關與하는 直接效果가 F₁세대에서 雌의 건충중이 0.991, 雄의 단견중이 0.803이고, F₂세대에서 雄의 건충비율이 0.938, 雄의 fibroin량이 0.930으로서 正의 方向으로 그 效果가 크게 表現되었다. 經路係數에서 繭絲量에 關與하는 直・間接效果가 世代間과 雌雄間에 차이는 있으나 주로 增量的 形質인 단견중, 건충중 등의 影響이 컸을 것으로 評價된다.

引 用 文 獻

- Dewey, D.R. and K.H. Lu(1959) A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agronomy J.* 51: 515-518.
- 浦生卓曆・平林 隆(1983) 蠶의發育速度, 化蛹歩合及 繭形質の二面交雜による遺傳分析. *日育雜* 33(2): 178-190.
- 浦生卓曆, 平林 隆(1984) 繭層減率の二面交雜による遺傳分析. *日蠶雜* 53(2):114-120.
- Grafius, J.E., W.L. Nelson and V.A. Dirks(1952) The heritability of yield in barley as measured by early generation bulked progenies. *Agronomy J.* 44:253-257.
- 韓相麒(1963). 大豆 收量에 關與하는 主要 形質間의 相關關係와 이들 形質이 收量에 미치는 影響. *서울대 論文 生農系* 13:70-76.
- 韓鏡秀(1984) 大豆(*Phaseolus angularis*) 育種을 위한 諸形質의 統計 遺傳學的 研究. *慶尙大 論文集(生農系篇)* 23(1):31-71.
- 烟村又好・齊尾乾 郎・大塚擁雄(1963) カイコの實用的 諸形質の分散. 共分散成分および遺傳相關の推定(環境, 品種および反復について). *日蠶雜* 32(3):194.
- 平林 隆(1982 a) 化性の異なる蠶の原種間での二面交雜

- による交雑能力の推定. (I) 飼育成績にもとづく推定. 蠶絲試驗場彙報 115:15-28.
- 平林 隆(1982 b) 化性の異なる蠶の原種間での二面交雑による交雑能力の推定. (II) 繅絲成績にもとづく推定. 蠶絲試驗場彙報 116:29-44.
- 生沼忠夫(1970) タバコの數量構成形質の經路分析. 盛試報 5:1-6.
- 張權烈(1969 a) 大豆形質 相互間の 相關關係와 經路係數分析에 關한 研究. 第2報. 交配組合에 따른 經路係數 變動. 晉州 農科大學 農業研究所報 3:69-74.
- 張權烈(1969 b) 고추의 優良系統 選抜에 關한 研究. 第4報. 形質相互間の 遺傳相關과 經路係數. 韓國園藝學會誌 6:17-20.
- 張權烈・韓鏡秀・閔丙烈(1979) 二面交雜에 의한 蠶體形質의 遺傳分析. I. 蠶體의 量的 形質에 關與하는 遺傳子의 優性程度와 分布狀態. 韓蠶誌 21(2):1-6.
- 張權烈・高美錫・金鎮聲・李元俊(1985) 동부 雜種世代에 있어 收量에 關與하는 量的形質의 經路係數와 選抜指數. 慶尙大 農研報 19:13-18.
- 張昌植・孫海龍(1985) 二面交雜에 의한 家蠶의 몇가지 實用形質의 遺傳變異와 組合能力 分析. 韓蠶誌 27(2):7-19.
- 鄭元福・張權烈・韓鏡秀・金鎮聲・柳甲道・鄭鎭永・柳秀徹(1986 a) 二面交雜에 의한 家蠶 F₁世代에 있어서 몇가지 量的形質에 대한 遺傳分析. 韓蠶誌 28(1) 24-29.
- 鄭元福・張權烈・韓鏡秀・金鎮聲・柳甲道・鄭鎭永・柳秀徹(1986 b) 家蠶 F₁世代에 있어서 몇가지 量的形質에 대한 遺傳力 및 遺傳相關의 推定. 韓蠶誌 28(2):21-27.
- 鄭元福・都成國(1986) 二面交雜에 의한 家蠶 F₁世代의 繭層練減率에 대한 遺傳分析. 東亞大 韓農技研所報 7(1):35-42.
- 鄭元福・姜弼敦・朴東洵(1986) 家蠶育種을 위한 繭形質의 遺傳分析. 東亞論叢 23:347-361.
- 鄭元福・張權烈(1987) 누에 二面交雜에 의한 繭層練減率, Sericin量, Fibroin量에 대한 遺傳分析. 韓蠶學誌 29(1):31-38.
- 鄭元福(1988) 家蠶의 有用形質에 대한 遺傳力. 遺傳相關 그리고 經路係數 分析. 漢林 鄭樹鳳博士 華甲紀念論叢(自然科學篇): 1213-1222.
- 陳品義・張權烈(1982) 담배 葯培養에 의한 半數體倍加系統의 特性에 關한 研究. — 遺傳力, 遺傳相關, 經路係數를 中心으로 —. 韓作誌 27(1):87-98.
- Johnson, H.W., H.F. Robinson and R.E. Comstock (1955) Genetic and phenotypic correlation in soybeans and their implications in selection. *Agronomy J.* 47(10):477-483.
- 河野義徳(1982) 家蠶의 實用形質에 みる 原種, 交雜原種, 四元交雜種의 相互關係. 日蠶學講要 52:83.
- 金春植・張權烈(1978) 동부(Cowpea)의 有用形質에 대한 遺傳力. 遺傳相關 그리고 經路係數分析에 關한 研究. 慶尙大 大學院 論文集 1:51-64.
- 金元敬(1960) 家蠶形質에 있어서 原種과 交雜種間의 相關關係 및 回歸. 韓蠶學誌 1:27-32.
- 金元敬(1972) 遺傳力에 의한 交配組選抜試驗. 韓蠶學誌 14(2):61-65.
- 小林悅雄(1961) 交雜原種의 後代特における 選抜效果について. 日蠶雜 30(3):255.
- 李正日・權炳善・金一海(1977) 油菜收量에 關與하는 主要形質間의 相關關係와 經路係數 및 遺傳力 調査. 韓育誌 9(1):58-64.
- 李廷徳・張權烈(1986) 煙草(N. tabacum L.)의 韓國在來種과 Orient種에 대한 量的形質의 遺傳分析. III. 遺傳力, 形質間 相關, 經路係數 및 選抜指數. 韓育誌 18(1):6-13.
- Li, C.C. (1956) The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics* 12: 190-210.
- 皆川 勇・大塚擁雄(1975) カイコの 諸形質における 四元雜種實値とその系統間F₁平均値との 相關. 日育雜 25(5):251-257.
- 大井秀夫(1955) 家蠶における 選抜形質と 育種效果について. I. 相關のある 量的形質(繭層重, 繭層歩合)について. 日育雜 15(1):64-65.
- 大井秀夫・山下昭弘(1977) 日137號および 支137號育成. 蠶絲試驗場報告 27(1):97-139.
- 大井秀夫(1981) 遺傳力と 形質の 相互關係. 蠶絲科學と 技術 20(4):66-69.
- 大塚擁雄(1966) カイコにおける 實用諸形質の 遺傳力との 變動. 日育雜 16. 別刷 2:152-153.
- 大塚擁雄・中島文人(1966) カイコにおける 量的形質の 選抜反應と 遺傳力および 遺傳相關. 日育雜 16(1):62.
- 大塚擁雄・板垣正男(1966) カイコの 交雜後代における 諸形質の 選抜反應および 相關反應. 日蠶雜 35(3):225.
- 大塚擁雄・中島文人(1968) カイコの 育種に 關する 統計遺傳學的研究. I. 雜種集團初期世代の 遺傳率. 蠶絲研究 66(1):28-49.
- 朴年圭・李相豊・李浩柱(1988) 家蠶幼蟲의 行動反應性에 關한 研究. III. 行動半徑에 대한 遺傳分析과 實

- 用形質斗의 相關反應. 韓蠶學誌 30(1):8-19.
- Patal, O.P. and S.W. Telang(1976) A path-analysis of yield components in cowpea(*Vigna sinensis* L.). JNKVV Res. J. 10(3):227-227-229.
- Robinson, H.E., R.E. Comstock and P.H. Harvey (1949) Estimates of heritability and the degree of dominance in corn. *Agronomy J.* 14:353-359.
- Robinson, H.E., R.E. Comstock and P.H. Harvey (1951) Genotypic and phenotypic correlations in corn and their implications in selection. *Agronomy J.* 43(6):283-287.
- 齊尾乾二郎(1958) 家蠶の量的形質間の遺傳及び環境相關と系統また品種選抜における選抜指數. 蠶絲研究 25(4):27-35.
- 齊尾乾二郎(1959 a) 親子回歸による家蠶F₂集團のヘリタビリティ. 日蠶雜 28(3):182-183.
- 齊尾乾二郎(1959 b) 家蠶におけるF₂集團の選抜指數. 日育雜 8(4)223-226.
- 齊尾乾二郎・大塚擁雄・中島文人(1959) 蠶におけるF₂集團の狹義遺傳力推定の方法について. 日育雜 9(4):60-61.
- 齊尾乾二郎(1964) 部分近縁交配系の修正完全二面交雜の分析と蠶における實例. 日育雜 14(2):99-106.
- 齊尾乾二郎・堀江正樹・畑村又好・伊藤綾子(1967) 水稻, 大豆および蠶における遺傳力の推定値. 第IV報. 蠶について. 日育雜 17(3):221-231.
- 孫基旭・柳江善・洪起源・金啓明・朴年圭(1987) 繭生産力이 다른 系統間의 Diallel cross에 의한 누에 量的形質의 遺傳分析. 韓學蠶 29(2):7-14.
- 谷日正樹・眞野保久(1982) 最近の育成品種における繭絲長の雜種強勢について. 日蠶學講要 52:84.
- 土屋精三・倉島秀雄(1957 a) 家蠶における計量形質のHeritabilityに關する研究. (I) 繭層量におけるHeritability. 日蠶雜 26(1):84-88.
- 土屋精三・倉島秀雄(1957 b) 家蠶における計量形質のHeritabilityに關する研究. (II) 繭絲量, 繭絲長および繭絲織度におけるHeritability. 日蠶雜 26(5):317-322.
- 土居精三・倉島秀雄(1958) 家蠶における計量形質のHeritabilityに關する研究. (III) 異系統の交配におけるHeritability. 日蠶雜 27(4):253-256.
- 土屋精三・倉島秀雄(1959) 家蠶における計量形質のHeritabilityに關する研究. (IV) 同系統の相反交雜におけるHeritability. 日蠶雜 28(5):313-316.
- Wright, S. (1921a) Correlation and causation. *J. Agric. Res.* 20:557-585.
- Wright, S. (1921b) Systems of mating I, II, III, IV, V *Genetics* 6:111-178.