

二面交雜에 의한 家蠶 F_1 世代的 몇 가지 量的 形質에 대한 遺傳 分析

鄭元福* · 張權烈** · 韓鏡秀** · 金鎮馨**

柳甲道*** · 鄭鎬永 · *** · ***柳秀徹

*東亞大學校, **慶尙大學校, ***慶尙南道蠶種場

Genetic Analysis by Diallel Crosses in F_1 Generation of Silkworm, *Bombyx mori*

Won Bog Jeong*, Kwon Yawl Chang**, Kyung Soo Han**, Jin Hyeong Kim,**

Kab Do Ryu,*** Ho Young Chung***, Soo Cheol Ryu***

*Dong-A University, **Gyeongsang National University, ***Gyeong-Nam Sericultural Experiment Station

Summary

A set of 21 crosses of F_1 generation by diallel crosses from seven parent silkworm, *Bombyx mori* L. were used as materials to estimate genetic parameters such as gene action and combining ability.

Experiments were conducted in 1985, and three characters, which are weight of cocoon, weight of cocoon layer and ratio of cocoon layer, were observed.

The data were analyzed for each character by Jinks', Hayman's and Griffing's methods.

The result obtained are summarized as follows:

1. In Vr-Wr graphical analyses, weight of cocoon was found to be inherited in over dominance, and weight of cocoon layer and ratio of cocoon layer were observed as partial dominance.
2. Estimate of additive component of variance(D) was greater than those of dominance component of variance(H) for weight of cocoon layer and ratio of cocoon layer, and positive values of F were observed for all characters.
3. Mean squares of general combining ability were higher than those of specific combining ability.
4. Variety Jam 107 was expressed as the highest GCA effects for three characters, and high SCA effects for all characters were observed in combinations of Jam 113×Jung 14 and Jam 107×Jung 14.

緒 論

家蠶은 4,000~5,000年 前에 中國에서 野生の 桑蠶이 改良되어진 것이라 推定되는데, 이것이 Europe, 日本 및 東南 Asia 등의 各地에 傳播되었다고 보여진다. 그후 이러한 桑蠶은 그 地方의 氣候風土에 適應된 固有의 品種으로 分化됨으로서 긴 세월을 통하여 地理的인 蠶品種으로 育成되었다(入戶, 1982).

누에 育種에 있어서는 交雜育種法이 外山(1906)에 의해 導入된 以後 品種改良은 飛躍의으로 進歩하여 現在의 品種은 育種上 높은 水準에 이르렀다고 볼 수 있으나 아직까지도 品種育種에 있어서는 改良되어야 할 여지가 많다고 하겠다. 즉 蠶卵으로부터 育種에 관한 諸形質과 繭質 및 絲質에 관한 形質등 經濟的으로 重要한 形質은 20여 가지에 달하고 있다.

交雜育種에 있어 育種의 成果는 育種素材의 選擇과 雜種 初期世代的 選拔方法에 의하여 크게 左右되는데

品種改良을 效率的으로 推進하기 위해서는 選拔對象形質에 대하여 正確한 情報을 알고 그 情報을 基礎로 實際 選拔에 應用하는 것이 有利할 것으로 생각된다.

따라서 本 試驗은 누에에 있어 優秀한 組合을 效率的으로 早期에 選拔할 수 있는 二面交雜法으로써 家蠶品種 育成의 基礎 資料를 얻고자, 育成中인 系統 또는 이미 育成된 7個 品種을 材料로 諸 形質들에 관하여 優性程度 및 遺傳子의 分布狀態 그리고 組合能力 등 (Hayman, 1954 a.b, 1957; Jinks, 1954, 1955; Aksel 등, 1963; Griffing, 1956)을 分析한 바 몇가지 結果를 얻었기에 이에 報告하는 바이다. 本 研究遂行에 있어서 慶尙南道 蠶種場의 관계자 여러분들의 協助를 받은 바 크며, 統計分析에서는 慶尙大學校의 Computer Center 에서 도움을 받았다. 이에 여러분께 깊은 謝意를 드리는 바이다.

材料 및 方法

1. 供試材料

本 試驗에 供試된 蠶種은 現 獎勵品種으로서 慶尙南道 蠶種場에 保存中인 蠶 107, 蠶 113, 蠶 108 및 蠶 114와 東亞大學校에서 保存中인 日本種系의 複形蠶, 中 14 및 中國種系의 綠東亞 등의 7個 蠶種으로써 이들을 1985年 春蠶期에 交配親으로 飼育, 二面交雜한 후 當年 秋蠶期에 交配親과 一代交雜種의 21個 組合을 試驗材料로 하였다.

2. 試驗方法

① 浸酸: 浸酸은 1985年 6月 20日 頃에 冷浸種으로 採種한 蠶種을 5°C에 保護하고 當年 8月 13日에 鹽酸 比重 1.100, 液溫 48°C로서 5分間 浸漬 處理하였다.

② 催青: 催青은 溫度 25°C, 濕度 75~85%로서 催青着手 5日째부터 每日 18時間 照明하였다.

③ 飼育方法 및 繭質調査: 掃蠶은 8月 23日에 28個 區로 나누어서 緋어, 1~3齡은 防乾紙育, 4~5齡은 普通育으로 各齡 1日 4回 給桑하였다. 試驗區는 4齡 餉다. 上簇은 食後 各 區當 300頭씩 完全任意 3反覆으로 配置하였 適熟蠶을 百年簇에 올려, 各 區 混合 防止를 위하여 細網으로 被覆하고, 收繭은 上簇後 7日째에 하였으며, 調査形質은 單繭重, 繭層重 및 繭層比率의 3個 形質로서 區當우승 各 25頭를 無作爲로 採取하여 優勝의 平均値를 算出하였고, 기타 方法은 一般 慣行에 準하였다.

3. 分析 方法

遺傳分析중 優性程度 및 遺傳子 分布狀態는 Hayman (1954a, 1954b), Jinks(1954, 1955)의 方法에 準하였

고, 一般組合能力과 特定組合能力은 Griffing(1956a)의 組合能力 檢定法에 의하였으며 回歸係數의 檢定은 Aksel and Johnson(1963)의 方法에 따라서 慶尙大學校 電子計算所의 Computer로써 分析하였다.

結果 및 考察

單繭重, 繭層重 및 繭層比率에 대하여 交配親과 이들 F₁ 世代의 組合別 平均値를 算出한 結果는 表 1과 같다.

Table 1. Mean values for three characters of seven parents and their F₁'s from diallel crosses of silkworms

Characters Parents and F ₁ hybrids	Weight of cocoon (gr)	Weight of cocoon layer (cg)	Ratio of cocoon layer (%)
A (Jam 107)	1.66	36.62	22.27
B (Jam 108)	1.64	35.16	21.61
C (Jam 113)	1.50	30.66	20.54
D (Jam 114)	1.58	33.91	21.89
E (Bok-Hyeong Jam)	1.40	22.56	16.22
F (Jung 14)	1.20	15.35	12.89
G (Nog Dong-A)	1.11	15.25	13.80
A × B	1.97	46.28	23.61
C	1.94	38.50	20.46
D	1.97	44.53	23.19
E	1.79	37.70	21.25
F	1.68	40.05	23.85
G	1.71	32.63	19.27
B × C	1.90	41.80	22.27
D	1.66	36.68	22.33
E	1.78	35.60	20.33
F	1.78	31.04	18.33
G	1.66	31.07	19.06
C × D	1.89	42.53	22.62
E	1.62	32.48	22.09
F	1.81	36.66	20.21
G	1.72	28.33	16.43
D × E	1.82	37.83	20.97
F	1.82	34.44	19.24
G	1.69	32.22	19.26
E × F	1.74	28.02	16.18
G	1.51	25.25	17.02
F × G	1.54	22.91	14.95

일반적으로 收量要素가 될 수 있는 이들 形質중 單繭重에서는 現在 獎勵品種으로서 인정되고 있는 蠶 107, 蠶 108 등이 현재까지 무거웠으며 이러한 傾向은 繭層重과 繭層比率에서도 同一하였다. 그러나 綠東亞

Table 2. Mean squares of three characters of seven parents of silkworms from the diallel cross

Factors Characters	Block d.f. 2	Array		Error 54
		Parent 6	F ₁ hybrid 21	
Weight of cocoon	0.0009	0.1727**	0.1155**	0.0017
Weight of cocoon layer	0.7004	453.6999**	101.1443**	0.5986
Ratio of cocoon layer	0.1278	72.3701**	13.1522**	0.1022

** p < .01.

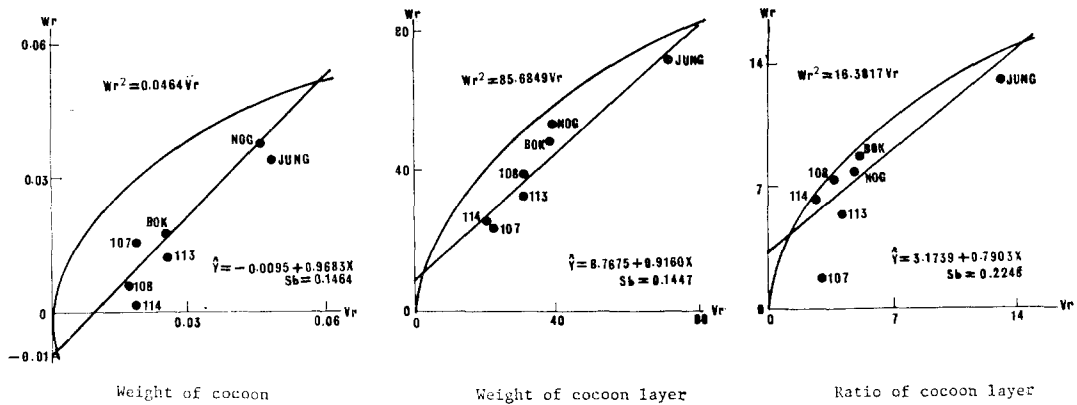


Fig. 1. Vr-Wr graphs for weight of cocoon, weight of cocoon layer and ratio of cocoon layer from analyses of F₁ generation of a 7×7 diallel cross of silkworm. Varieties are shown as follows: 107, Jam 107; 108, Jam 108; 113, Jam 113; 114, Jam 114; Bok, Bok-Hyeong Jam; Jung, Jung 14 and Nog, Nog Dong-A.

나 중 14의 이들 形質은 매우 낮았고 原種으로서의 特性이 잘 나타났다. 한편 家蠶育種에 있어서는 雜種強勢를 利用한 交雜育成法에 의한 品種 育成이 一般的이므로 收量에 대하여 優秀한 能力을 나타낼 수 있는 品種의 확보와 이들 品種間의 優秀組合 選抜方法을 開發하는 것이 絶실하다고 하겠다. 그 외 複形蠶은 收量성이 낮은 綠東亞나 中 14보다는 다소 높게, 蠶 113 및 蠶 114는 蠶 107이나 蠶 108보다는 낮게 평가되어 7個의 交配親中 各 形質에 대하여 中間의 傾向을 각각 보이고 있었다.

한편, 이들 3個 形質에 대하여 交配親과 F₁雜種世代의 全組合을 處理別로 하여 分散分析을 算出해 본 表 2와 같다.

表 2에서 列(array), 즉, 交配親과 交配組合間에는 全形質에 걸쳐 高度의 有意성이 認定되어 交配親의 選擇에 따른 品種의 遺傳의 多樣성과 雜種世代 各 組合間에 差異를 보여 全處理間에는 遺傳의 要因에 의한 形質의 多樣한 變異를 보였으며 反覆區에 따른 環境의 差異는 認定할 수 없었다.

Hayman(1954a, 1954b), Jinks(1955)는 交配親과 自

殖系統의 分散 및 共分散으로서 各 品種의 遺傳子 分布狀態와 雜種世代間의 優性程度를 推定할 수 있는 方法을 提示하였는데, 이들의 方法으로써 Vr-Wr graph를 圖示한 結果는 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

單蠶重은 回歸直線 原點 아래를 通過하므로써 優性程度는 超優性으로 表現되었으며, 各 品種의 分布狀態는 2群으로 나누어진 傾向이었다. 즉, 單蠶重이 가벼운 中 14와 綠東亞가 劣性帶에, 기타 全品種은 優性帶에 位置함으로써 單蠶重이 무거운 品種들이 優性으로 나타내는 超優性이었다. 이러한 結果는 表 1에서도 보여주는 바와 같이 雜種世代의 各 組合間에는 모두 兩親의 큰 쪽으로 범위를 벗어난 數值를 보임으로써 Graph 상에서의 超優性의 結果와 잘 一致하는 傾向이었는데 그중 獎勵蠶品種인 蠶 114와 蠶 108의 中國種系統의 品種들이 優性 遺傳子를 많이 가진 것으로 推定되었다.

한편, 回歸係數 b 값은 0.96으로서 높아 1과 差異가 없었고, 또한 1-b/sb도 有意하지 않아 非對立遺傳子의 關與는 없는 것으로 推定되었는데 이러한 것은 單蠶重에 있어 對立遺傳子의 作用에 의한 遺傳의 形質發見이 큰 것으로 思料된다.

繭層重은 그 優性程度가 不完全優性으로서 各 品種들은 回歸直線上에 近接된 傾向이었다. 品種의 分布狀態는 蠶 107, 蠶 114 등의 繭層重이 比較的 무거운 品種들이 優性帶에, 가벼운 中 14가 劣性帶에 位置하여 各 優性과 劣性遺傳子의 關與를 받았을 것으로 推定되었으며 기타 品種들은 優性帶에 가까운 位置에 分布하고 있었다. 따라서 이 形質에서도 繭層重이 무거운 品種이 優性으로 나타나 不完全 優性이 있는데 回歸係數도 높아 非對立遺傳子의 關與는 認定할 수 없었다.

繭層比率도 繭層重과 같이 回歸直線이 原點 上端을 通過하고 繭層比率이 가장 낮은 中 14가 劣性帶에, 기타 全品種이 優性帶에 位置함으로써 繭層比率이 높은 品種들이 優性으로 表現되는 不完全 優性이었다. 그러나 優性帶에 分布된 品種中 蠶 107은 回歸直線上에서 다소 떨어진 傾向을 보여 이 品種에는 非對立遺傳子의 關與가 있을 것으로 推定되나 全品種들의 回歸係數는 0.79로서 1과 差異가 없어 對立遺傳子에 의한 形質의 發現이 되었을 것으로 推定되었다.

이러한 Vr-Wr graph上的 優性程度에 대한 結果는, 齊尾(1958, 1964), 大塚·中島(1964), 蒲生·平林(1983) 등이 單繭重에 관하여, 張·韓·閔(1979), 張·孫(1985) 등이 飼育經過日數, 單繭重, 繭層重 및 繭層比率 등에 관하여 分析한 바, 單繭重 등에서 超優性과 不完全優性 등을 나타내었다는 報告를 볼 때 本試驗에서 얻은 Vr-Wr graph上的 優性程度에서도 그 成績이 類似한 傾向이라고 思料된다.

또 品種과 雜種世代間的 分散으로서 各 形質에 대한 分散成分을 算出하고 다시 優性程度 및 平均 優性程度, 優性和 劣性 遺傳子의 平均頻度 등을 推定한 바 表 3과 같다.

分散成分中 繭層重과 繭層比率은 $D > H_1$ 으로서 遺傳子의 相加的 效果가 優性效果보다 크게 評價되었으나, 單繭重에 있어서는 $D < H_1$ 으로서 Heterosis나 優性效果에 의한 非相加的 效果가 오히려 相加的 效果보다 컸었다. 따라서 對立遺傳子의 關與度에서도 역시 繭層重과 繭層比率의 F值가 높아 優性遺傳子의 關與가 크게 作用했을 것으로 推定되었으나 單繭重은 比較的 낮은 數值를 보이고 있었다.

또한 優性程度(H_1/D)^{1/2} 및 平均優性程度(H_1/D)는 單繭重이 1以上으로서 超優性으로, 기타 두 形質은 不完全優性을 나타내었는데 이러한 것은 Vr-Wr graph上에서 나타난 結果와도 잘 一致되며(Fig. 1.), 繭層重 및 繭層比率은 單繭重의 兩親 品種에서 온 優性, 劣性 遺傳子의 平均頻度($H_2/4H_1$)가 0.22~0.23으로서 各 形質의 頻度는 0.25인 50 : 50에 가까웠다. 또한, 關與하는 有效 遺傳子群의 數는 形質에 따라 다소 달랐지만 單繭重에서는 13雙 程度이고, 繭層比率은 1雙 程度로 推定할 수 있었다.

이러한 結果는 張·韓·閔(1979, 1981), 張·孫(1985)은 單繭重에서 遺傳子의 分布狀態는 超優性을 나타내고, 組合能力도 높다는 報告 등과 蒲生·平林(1983)의 試驗 結果는 類似한 傾向이었다.

Table 3. Estimates of variance components and ratio of parameters for three characters observed from analyses of diallel crosses in silkworms

Characters	Variance component*				Ratio of parameters*			
	D	F	H ₁	H ₂	H ₁ /D	H ₁ /D ^{1/2}	H ₂ /4H ₁	K
Weight of cocoon	0.0446	0.0156	0.0834	0.0800	1.8683	1.3668	0.2398	13.7171
Weight of cocoon layer	85.0862	2.7369	61.1615	57.2628	0.7188	0.8478	0.2340	0.4790
Ratio of cocoon layer	16.2794	3.4147	7.7900	6.8992	0.4785	0.6917	0.2214	0.7858

* D, additive component of variance; F, recessive allelomorphs at loci; H₁ and H₂, dominance component of variance; H₁/D, mean degree of dominance; H₁/D^{1/2}, degree of dominance; H₂/4H₁, average frequency; K, number of effective factor.

Table 4. Estimates of general (GCA) and specific combining ability (SCA) of three characters of silkworm

Source of variances Characters	GCA d.f 6	SCA 21	GCA/SCA	Error 54
Weight of cocoon	0.0789**	0.0323**	2.4427	0.0005
Weight of cocoon layer	192.3933**	21.9547**	8.7631	0.1995
Ratio of cocoon layer	31.9393**	2.1509**	14.8492	0.0340

** p < .01.

Table 5. Estimates of GCA and SCA effects of three characters from analyses of diallel crosses in silkworms

Characters Effects	Weight of cocoon	Weight of cocoon layer	Ratio of cocoon layer
Mean effect	1.68	33.07	19.65
GCA effect			
A (Jam 107)	0.10	5.37	2.11
B (Jam 108)	0.06	3.13	1.33
C (Jam 113)	0.04	1.89	0.66
D (Jam 114)	0.06	3.49	0.58
E (Bok-Hyeong Jam)	-0.04	-2.51	-0.99
F (Jung 14)	-0.07	-4.53	-2.07
G (Nog Dong-A)	-0.15	-6.89	-2.62
SCA effect			
A	-0.22	-7.19	-1.59
B	-0.17	-4.17	-0.69
C	-0.27	-6.19	-0.43
D	-0.22	-6.15	-0.91
E	-0.19	-5.49	-1.44
F	-0.32	-8.66	-2.61
G	-0.26	-4.12	-0.60
A × B	0.12	4.69	0.52
C	0.11	-1.84	-1.96
D	0.12	2.58	-0.15
E	0.04	1.76	0.48
F	-0.03	6.13	4.16
G	0.08	1.04	0.13
B × C	0.10	3.70	0.62
D	-0.15	-3.02	-0.22
E	0.07	1.90	0.34
F	0.11	-0.64	0.57
G	0.06	1.71	0.70
C × D	0.09	4.06	0.73
E	-0.06	0.02	0.76
F	0.15	6.22	1.96
G	0.14	0.21	-1.26
D × E	0.12	3.77	0.73
F	0.14	2.40	0.08
G	0.10	2.50	0.65
E × F	0.17	1.98	-0.40
G	0.03	1.54	0.98
F × G	0.09	1.22	-0.01

結局, 雜種 強勢를 目的으로 하는 育種에서는 雜種 世代의 어떤 形質에 대하여 優秀한 能力을 發揮할 수 本 結果는 表 4와 같다.

組合能力은 全形質에 걸쳐 高度의 有意性이 認定되

었다. 따라서 각 形質에 대한 一般組合能力과 特定組合能力이 有意적으로 함께 作用했으며, 그 크기는 一般組合能力이 더 크므로 品種間에서 오는 差異가 品種內에서 오는 差異보다 더 크게 作用하였을 것으로 評價되었다.

또한 形質別로 본 分散量에 있어서는 繭層重이 GCA 나 SCA에서 가장 크게, 單繭重이 작게 評價되었다. GCA/SCA는 分析한 3形質中 오히려 繭層比率이 더 크므로 이 形質은 다른 形質보다 相加的 效果가 더욱 더 높았음을 示唆해 준다.

交配親과 F₁世代의 交配 組合間에 나타난 一般組合 能力 效果와 特定組合能力의 效果를 각 각 推定해 본 結果는 表 5에서 보는 바와 같다.

一般組合能力의 效果는 蠶 107이 單繭重, 繭層重 및 繭層比率의 3個 形質에서 正의 方向으로 가장 높아 7個 品種中 收量形質에 대한 交配 母本로서 유리할 것으로 評價되었고, 다음이 蠶 108의 順이었다. 대체로 獎勵 蠶品種들이 GCA 效果가 높아 多收 品種 育成의 交配 親으로 活用하는 것이 좋을 것으로 思料된다.

特定組合能力의 效果는 交配親이나 交配組合에 따라 正 또는 負의 效果를 다소 보였는데 그 중 蠶 113×中 14의 組合이 全形質에서, 蠶 107×中14의 組合이 繭層 重과 繭層比率에서, 그리고 複形蠶×中14의 組合이 單 繭重에서 正의 效果로 각각 높아 각 形質에 대한 交配 組合의 SCA效果는 中14의 品種이 父本인 組合에서 높 이 評價되었다. 그러나 中14 品種 自體는 GCA 效果 및 SCA 效果가 오히려 負로서 單獨으로는 單繭重, 繭 層重 및 繭層比率의 3個 形質에 미치는 影響이 不利할 것으로 생각되나 蠶 113, 蠶 107 및 複形蠶 등의 日 本種 系統의 蠶品種과 交雜이 될 때에는 이들 品種들 의 相加的 影響을 받으므로 中 14의 收量 構成 要素 에 대한 遺傳 形質이 品種 自體 때보다 더 크게 發揮 되는 것으로 思料된다. 즉, 繭層重에서 蠶 107의 경우 品種 自體의 GCA 效果는 다른 品種보다 매우 컸으나, SCA 效果는 매우 작았는데 비하여, 같은 SCA 效果에 서 品種間에 가장 작게 評價되었던 中 14와의 交雜 (A×F組合)에서는 SCA 效果가 매우 크게 評價되었 으며 이러한 現象은 C×F組合에서도 同一하였다. 따 라서 GCA 效果가 낮았다고 해서 반드시 雜種世代間에 나타나는 SCA 效果가 낮아지는 것은 아니고 이러한 現象 은 어떤 特定組合間의 交雜에서 形質에 대한 遺傳 物質의 組成이 相互作用하여 品種 本來의 遺傳 形質보 다 더 크게 奏效할 것으로 推定할 수 있겠으며, 누에 와 같은 雌雄異體인 경우에는 더욱 더 이러한 現象 이 顯著하리라 믿어진다.

한편 全體의 遺傳 分散을 一般組合能力과 特定組合能力으로 나누어 각각 分散 程度를 形質別로 算出해 있는 組合의 交配親을 探求하는 데 그 目的이 있는 바, 本 試驗의 結果들로 볼 때는 이들 形質들에 대한 遺傳의 程度가 매우 安定되어 있으나 앞으로의 交配 組合은 中 14는 어떤 特定品種과 交配親으로 使用될 때 利用해 볼 價値가 있다고 推定된다.

要

家蠶에 있어서 雜種世代的 優秀한 系統을 生産할 수 있는 交配親의 選定과 交配親과 雜種世代的 遺傳 現象에 대한 基礎 情報를 얻고자 7個 品種을 二面交雜하였고 이를 F₁世대에 대하여 遺傳子의 分布狀態 및 優性程度, 그리고 組合能力 등을 檢定한 結果는 다음과 같다.

1. Vr-Wr graph 및 分散成分에서 單顯重은 優性效果가 큰 超優性으로, 顯層重과 顯層比率는 相加의 效果가 큰 不完全優性으로 각각 推定되었다.

2. 組合能力은 全形質에서 有意的으로 作用하였고 一般組合能力이 特定組合能力 보다 크게 評價 되었다.

3. 組合能力의 效果中 GCA 效果는 蠶 107이 全形質에서 가장 높았고, SCA 效果는 蠶 113×中 14의 組合이, 蠶 107×中 14의 組合이 크게 評價되어 주로 中 14가 交配父體일 때에 組合能力이 컸었다.

引 用 文 獻

Aksel, R. and L.V.P. Johnson. (1963). Analysis of a diallel Cross: A worked example. *Advancing Frontiers of Plant Sci.* 2:37-53.

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, 韓鏡秀, 閔丙烈. (1981). 二面交雜에 의한 蠶

體形質의 遺傳分析. II. 組合能力의 檢定. *韓蠶誌* 22(2):1-7.

張昌植, 孫海龍. (1985). 二面交雜에 의한 家蠶의 몇 가지 實用形質의 遺傳變異와 組合能力 分析. *韓蠶誌* 27(2):7-19.

外山龜太郎. (1906). 蠶種論. 丸山社.

蒲生 卓磨, 平林 隆. (1983). 蠶의 發育速度, 化蛹步合及 び 繭形質의 二面交雜による 遺傳分析. *日育雜* 33(2): 178-190.

Griffing, B. (1956). concept of general and specific combining ability in relation to diallel crosses. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:473-493.

Hayman, B.I. (1954a). The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics* 10:235-244.

Hayman, B.I. (1954b). The theory and analysis of diallel cross. *Genetics* 39:789-809.

Hayman, B.I. (1957). Interaction, heterosis and diallel crosses. *Genetics* 42:336-355.

入戶野 康彦, 綠川榮一, 小池利男, 水出通男, 涉川明郎, 蒲生卓磨. (1982). 蠶育種의 現狀と問題點. *日蠶雜* 51(2):146-164.

Jinks, J.L. (1954). The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics* 39:767-788.

Jinks, J.L. (1955). A survey of the genetical basis of heterosis in a variety of diallel crosses. *Heredity* 9:223-238.

大塚雅雄, 中島文人. (1968). カイコの 育種に關する統計遺傳學的研究: I. 雜種集團初期世代的 遺傳率. *蠶絲研究* 66(1):28-49.

齊尾乾二郎. (1958). 家蠶의 量的形質問의 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. (1964). 部分近緣交配系의 修正完全二面交雜의 分析と蠶における實例. *日育雜* 14(2):99~106.