

種子数および結実率によるリンゴの交雑不和合性の判定

誌名	果樹試験場報告 = Bulletin of the Fruit Tree Research Station
ISSN	09165851
著者	小森, 貞男 副島, 淳一 伊藤, 祐司 ほか3名,
巻/号	33号
掲載ページ	p. 97-112
発行年月	1999年11月

原著論文

種子数および結実率によるリンゴの交雑不和合性の判定^{†1,2}

小森貞男^{†3}・副島淳一・伊藤祐司^{†4}
別所英男^{†5}・阿部和幸・古藤田信博

果樹試験場リンゴ支場
020-0123 岩手県盛岡市下厨川

Discrimination of Cross Incompatibility by Number of Seeds per Fruit
and Fruit Set Percentage in Apples

Sadao KOMORI, Junichi SOEJIMA, Yuji ITO
Hideo BESSHO, Kazuyuki ABE, Nobuhiro KOTODA

Apple Research Center, National Institute of Fruit Tree Science
Morioka, Iwate 020-0123, Japan

Synopsis

The number of seeds per fruit and fruit set percentage after bagging and without emasculation was investigated to evaluate the possibility of parthenocarpy and self-compatibility. In the present study, 213 cultivars and strains were examined. Ten cultivars and strains persisted in bearing

†1 果樹試験場業績番号：1159（1998年5月8日受付・1999年10月4日受理）

†2 リンゴの交雑不和合性に関する研究（第2報）

†3 現 国際農林水産業研究センター沖繩支所 907-0002 沖縄県石垣市

†4 現 農業生物資源研究所放射線育種場 319-2136 茨城県那珂郡大宮町

†5 現 山梨県果樹試験場 405-0031 山梨県山梨市

本報告の一部は平成7年度園芸学会春季大会で発表した。

fruit until harvest time (4.7% of the total number). Only three cultivars and strains contained seeds. The number of seeds was very low in 'Yingqiu' (1.33), which included most of the seeds from all of the tree cultivars and strains. When the seeds number of 'Yingqiu' was compared to the average number of seeds per fruit in cross-compatible combinations (6.81), it thus appeared easy to distinguish parthenocarpy and/or self-compatibility from cross-compatibility. These results suggest that emasculation is unnecessary for the evaluation of incompatibility performed by using the number of seeds per fruit. The rate of cultivars and strains belonging to 0% fruit set was 87.3%, that of less than 15% fruit set was 93.3%, that of less than 20% fruit set was 94.4%. Most plants were of these type. However, the cultivars with the high fruit set percentage were rarely observed (e.g. 'Orin'). Therefore, if cross pollinations are performed without emasculation for the evaluation of incompatibility, it is better to compare experimental samples against a control without emasculation and pollination, especially when evaluating compatibility according to the fruit set.

To establish criteria for distinguishing cross-incompatibility from cross-compatibility by cross pollination, the number of seeds per fruit and fruit set percentage were investigated in 659 cross combinations. When we judged the incompatible combinations, reliable evaluations were obtained by using two parameters, namely, number of seeds per fruit and fruit set percentage; only one parameter would have been insufficient. The criteria of number of seeds per fruit and fruit set percentage were established as follows:

(Number of seeds per fruit)

- 1.2 > = incompatible combinations
- 1.2 < < = 3.0 incompatible combinations mixed with compatible combinations
- 3.0 < compatible combinations

(Fruit set percentage)

- 20% > incompatible combinations
- 20% < = < 30% incompatible combinations mixed with compatible combinations
- 30% < = compatible combinations

In the following cases, it is better to perform reciprocal crosses

and/or examine the data from two parameter for more than two years:

(1) When in using each parameter, conflicting results are obtained as regards compatibility and (2) when the value of one parameter shows compatibility or incompatibility and that of the other parameter belongs to the "mixed" region.

Key words: apple, compatibility, incompatibility, number of seed per fruit, fruit set percentage

緒 言

リンゴの交雑和合性と不和合性の識別は、一般に1果当たり種子数の多少で行われているが、判断の基準は明確ではなく解析が恣意的になる危険性がある。また、結実率についても、一般に交雑親和性の低い組合せは低結実率を示すことから不和合性を識別する際の重要な判断材料であるが、その基準値は明確ではない。交雑結果に基づく不和合性の遺伝解析のためには、和合性と不和合性を分ける客観的な判定基準が必要であり、早急に基準値の確立を図ることが求められている。基準値を得るためには多数の交雑実験が必要であり、そのためには交雑操作の効率化が重要となる。花弁の除去・除雄・交雑・袋かけの一連の交雑操作のうち、最も煩雑で時間を要する作業は除雄であり、除雄操作を省略することにより研究の効率化が望める。除雄操作による花器官への付傷が傷害エチレンの発生を促し、結実率に影響を与えることも考えられ(小森ら 1997)、除雄操作を行わないことが必要な場合もある。一方、除雄操作を省略した場合、自家結実性が和合・不和合の判定に影響を与える可能性がある。そこで、本試験では除雄せずに交雑する交雑区と袋かけのみで除雄、交雑を行わない対照区を設け、両区とも結実率と1果当たり種子数を調査して、除雄操作省略の可否についての検討を行うとともに、和合性と不和合性を分ける基準値の確立を試みた。

謝 辞 本研究の遂行に当たり、交雑ならびに結実率、種子数の調査にご協力いただいた果樹試験場リンゴ支場育種研究室の熊谷ヨシエ氏、斎藤美智子氏、立花眞由美氏、岡本幸子氏ならびに業務関係職員・臨時職員の諸氏に深く感謝の意を表します。

材料及び方法

1. 無除雄・無受粉における結実率および1果当たり種子数

1993～97年に果樹試験場リンゴ支場に栽植する213種類の品種・系統を用い、1品種・系統当たり1花そう1花にした10～30花を供試した。除雄および受粉は行わず、バルーンステージの花に袋かけのみを行い、全袋かけ終了後3週間日以降に結実率を調査した。結実したのものについては成熟期に収穫し、種子数を調査した。

2. 1果当たり種子数および交雑結実率による交雑不和合性の判定基準

1993～96年に659組合せについて交雑を行った。供試花は原則として各組合せともに1花そう1花とした15花を用い、パルーンステージに除雄を行わずに受粉をした後、袋かけを行った。交雑に用いた花粉の発芽率の調査は、交雑終了後2週間以内にショ糖17%、寒天1%の花粉発芽用培地に花粉を置床し、22℃で12時間保温後に行った。結実率は全交雑終了後3週間日以降に調査した。結実した果実は成熟期に収穫し、収穫できた625交雑組合せについて種子数を調査して、1果当たり種子数で示した。同一品種・系統の交雑組合せで2年以上の反復調査を行った場合、結実率および1果当たり種子数は平均値で示した。

結果及び考察

盛岡でのリンゴの交雑時期は例年5月中旬が盛期であるが、最終的に作業が終了するのは5月25日前後である。したがって結実率の調査を行った全交雑終了後3週間目は6月15日前後にあたる。盛岡でのジュードロップは例年6月下旬で、結実率の調査が4週間日以降となった場合、着果・肥大している果実が落果する事例が多数生じる。予備的に行った試験でも4週間日以降の調査では、一部落果も認められるが、落果した果実中に多数の種子が存在していることを確認している。一方、全交雑終了後2週間では、一部に果実肥大が不完全なまま着果しているものも存在することから、結実率の調査時期は全交雑終了後3週間目が妥当と考えられた。

1. 無除雄・無受粉における結実率および1果当たり種子数

結実した26品種・系統とその交雑組合せをTable 1に示した。このうち収穫まで至ったものは10品種・系統であった。結実率は高いが収穫できなかった品種・系統として‘銀鈴’(50.0%)、‘紅月’(44.5%)、リー24(38.5%)が上げられる。高結実率を示した品種の親には‘ゴールデン・デリシャス’、‘紅玉’、‘印度’、‘国光’が関与している場合が多かった。

収穫できた10品種・系統の結実率と1果当たり種子数の関係をFig. 1に示した。1果当たり種子数の平均は0.20個、自家結実率を調査した213品種・系統の98.6%が不結実または収穫までにすべて落果または収穫できても種子数が0個であった。無種子で結実した7品種・系統(全体の3.3%)の結実率は‘金星’が8.3%、‘甘錦’が20.7%、‘恵’が28.6%、‘プリンセス’が30.0%、‘印度’が34.8%、‘Ontario’が74.4%、‘王林’が88.3%であった。種子が得られた3品種・系統(全体の1.4%)の結実率および1果当たり種子数はゴールデン・デリシャス×印度No.19が32.2%、0.33個、‘新印度’が40.0%、0.33個、‘迎秋(Yingqiu)’が20.0%、1.33個であった(Table 1)。すなわち最も種子数の多かった‘迎秋’の場合でも種子数は1.33個と、交雑和合組合せの平均種子数である6.81個と比較して著しく少ない結果であった。交雑試験の際に除雄操作を省略すると、不和合組合せの場合でも、種子親品種のもつ単為結果性等の自家結実性によって結実する可能性があり、除袋時には交雑和合との識別が困難と考えられる。しかし、無除雄・無受粉で結実した果実の1果当たり種子数は、交雑和合組合せの種子数と比較して極めて少ないことから、交雑和合組合せとの識別は容易に可能であり、1果当たり種子数で交雑和合性と不和合性を判定する場合には、除雄を行わ

Table 1. Cultivars and strains bearing fruits in case of bagging the floral buds without emasculation and pollination.

Cultivar and strain (Parent combination)	Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit	Cultivar and strain (Parent combination)	Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit
'Akane' (J ^x ×WP ^y)	2	5.0	—	Morioka 38 (A ^r ×O ^q)	2	15.0	—
'Amanishiki' (R ^x ×I ^w)	2	20.7	0	'Ontario' (NS ^p ×W ^o)	2	74.4	0
'Barry' (M ^v ×COP ^u)	2	14.3	—	'Orin' (G×I)	2	88.3	0
'Fukutami' (J×R)	2	5.0	—	'Princess' (G×I)	2	30.0	0
'Ginrei' (G ^t ×I)	2	50.0	—	'Ralls Janet'	2	10.0	—
'Golden Delicious'	2	14.3	—	Ri-24 (J×G)	2	38.5	—
G.D.×Indo No.19 (G×I)	3	32.2	0.33	'Shin Indo' (I×G)	2	40.0	0.33
'Indo'	3	34.8	0	Tohoku 10 (J×G)	4	10.6	—
'Jonadel' (J×D ^s)	3	3.3	—	'Umazawa' (R×NS)	2	5.0	—
'Kinsei' (G×R)	4	8.3	0	'Winston' (COP×WP)	1	10.0	—
'Kogetsu' (G×J)	2	44.5	—	'Yingqiu' (J×ASP ⁿ)	3	20.0	1.33
'Megumi' (R×J)	1	28.6	0	(4)-2868 (G×Me ^m)	1	5.3	—
'Merton 789'	1	10.0	—	(4)-2891 (G×Me)	1	10.0	—

^z'Jonathan', ^y'Worcester Pearmain', ^x'Ralls Janet', ^w'Indo', ^v'McIntosh', ^u'Cox's Orange Pippin',

^t'Golden Delicious', ^s'Delicious', ^r'Akane', ^q'Orei', ^p'Northern Spy', ^o'Wagener',

ⁿ'American Summer Pearmain', ^m'Megumi'

— Number of fruit harvested was 0.

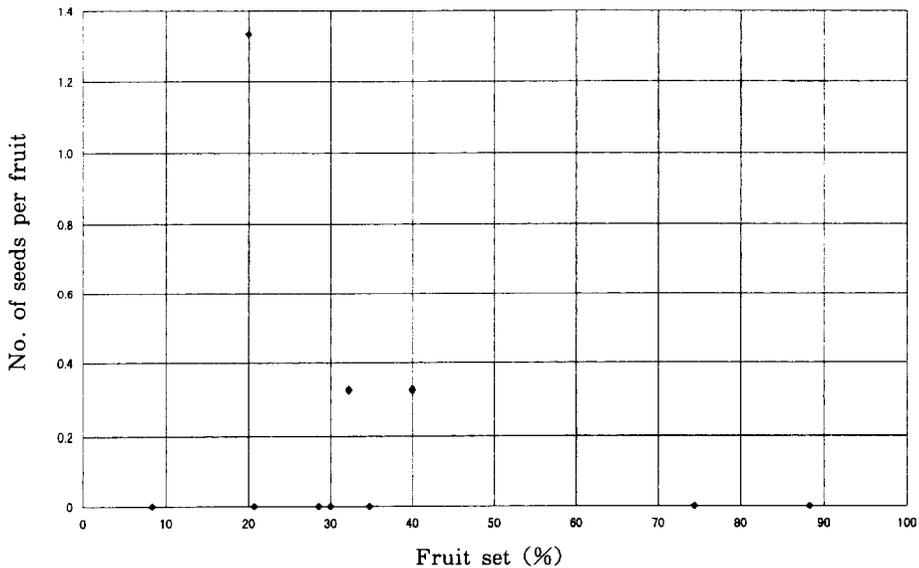


Fig. 1. Relationship between number of seeds per fruit and percentage of fruit set in case of bagging the floral buds without emasculation and pollination.

なくとも支障はないものと推察された。

供試した213品種・系統の無除雄・無受粉における結実率の分布をFig. 2に示した。平均自家結実率は2.9%で、結実率0%の品種・系統数は187で全体の87.8%、結実率10%未満は193で90.6%、結実率15%未満は200で93.9%、結実率20%未満は201で94.4%であった。このように、リンゴでは自家結実を示す品種・系統は極めて少ないことが判明した。しかし、Table 1に示したように単為結果およびごく少数の種子で高い結実率を示す品種・系統も存在することから、結実率を和合性と不和合性の判定の指標に用いる場合は、除袋時の結実率の信頼性を推測するために無除雄・無受粉の対照区を設けることで除雄操作を省略できると推察された。

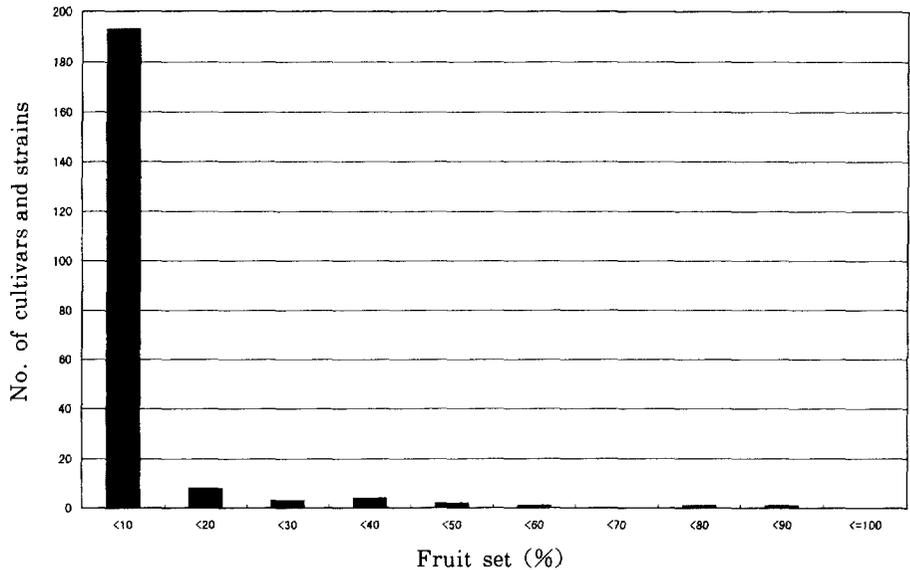


Fig. 2. Distribution of number of cultivars and strains in relation to fruit set percentage in case of bagging the floral buds without emasculation and pollination.

2. 1果当たり種子数および交雑結実率による交雑不和合性の判定基準

(1) 交雑を行った場合の1果当たり種子数

収穫できた625交雑組合せの1果当たり種子数の分布をFig. 3に示した。Fig. 3の種子数の分布は2個以上3個未満を谷とした2つの集団で構成されている可能性がある。全625交雑組合せの1果当たり種子数の平均が6.58個、標準偏差は2.05で、種子数2個未満の組合せが多いため正規性の仮説は0.5%水準で棄却された。2個未満の組合せを除外した場合の602組合せの平均種子数は6.81個、標準偏差は1.70で正規性が認められた。なお1果当たり種子数1個未満の組合せ数は15で全収穫組合せの2.4%に相当した。同様に1果当たり種子数2個未満の組合せ数は23で全体の3.7%、1個以上2個未満は8組合せであった。1果当たり種子数3個未満の組合せ数は28で全体の4.5%、2個

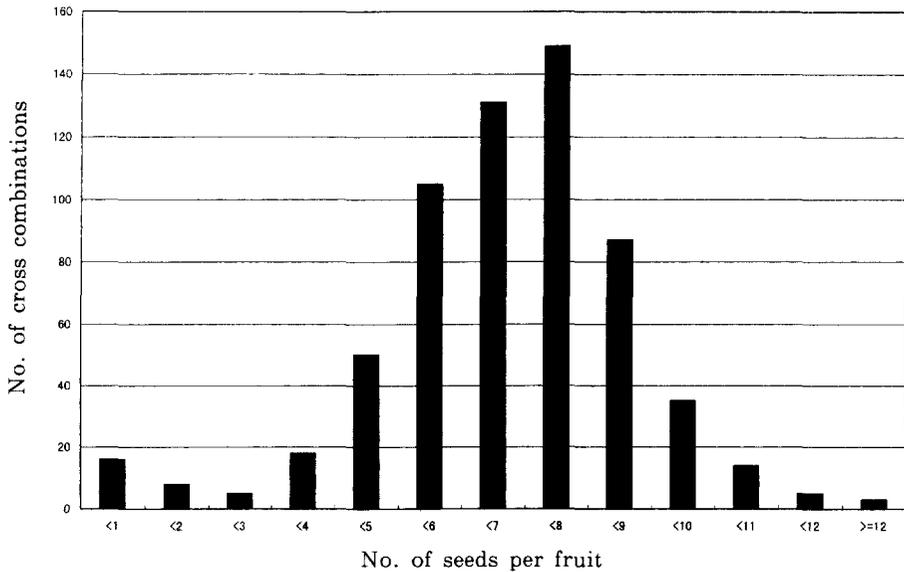


Fig. 3. Distribution of number of seeds per fruit by cross pollination without emasculation.

$$n = 625 \quad \mu = 6.58$$

$$S = 2.05 \quad \chi^2 = 676.85^{***}$$

$$P < 0.005$$

*** : Non significant by χ^2 test

However, the distribution excluding the combinations of the fruits having less than 2.0 seeds was as follows:

$$n = 602 \quad \mu = 6.81$$

$$S = 1.70 \quad \chi^2 = 13.55$$

$$0.1 < P < 0.25$$

以上3個未満に属する組合せは5組合せであった。1果当たり種子数4個未満の組合せ数は46で全体の7.4%に相当した。

便宜的に1果あたり種子数2個未満の組合せを除いて行った検定の結果で分布状態の正規性が確認されたことは、すなわち1果あたり種子数が多い大集団とそこから外れた1果あたり種子数の少ない小集団の2つの集団が存在していることを示していると推察される。大集団は大部分が和合性の集団と推定され、平均値が6.81個、標準偏差が1.70の正規分布を示す集団と推定される。一方、小集団は不和合性、低い花粉発芽率、種子親の種子形成能力の低さ、および花粉管伸長に影響を与える気温（奥瀬 1972）等の著しい負の環境要因などが原因となって1果あたり種子数が少なく表れた集団と推定される。しかし、試験に用いた花粉の中で1果あたり種子数、結実率に影響を与えるほど低発芽率のものは観察されず、また1993～97年の交雑期間とその後の数日間で平均気温が10℃以下の著しい低温日は観測されなかったため（データ省略）、1果あたり種子数が少ない集団は交雑不和合性と種子形成能力に異常を示す品種・系統を種子親に用いた交雑組合せと考えられる。

(2) 交雑結実率

供試した661交雑組合せの結実率の分布をFig. 4に示した。平均結実率は67.5%、10%以上20%未満の出現数が最も少なくグラフも谷を形作り、1果当たり種子数の結果と同様に結実率も結実率の高い集団と低い集団の2つに分かれる可能性が示唆された (Fig. 4)。なお結実率10%未満は49組合せで全体の7.4%に相当した。結実率20%未満は54組合せで全体の8.2%、10%以上20%未満は5組合せであった。結実率30%未満は68組合せで全体の10.3%、20%以上30%未満は14組合せであった。

リンゴの不和合現象は、花粉管の伸長速度の低下や伸長停止のため受精が正常に行われないうことで引き起こされる現象である (Stott 1972, 小森ら 1997)。花粉管の伸長抑制は少種子数と低結実率に反映される。ただし結実率には単為結果の影響も反映しており、結実率のすべてが花粉管伸長の結果のみの反映ではない。しかしリンゴで単為結果性を示す品種は '恵' 等ごく一部に限られており (石山ら 1981, 石山ら 1987, 齋藤ら 1978, 齋藤ら 1988, 齋藤ら 1993), さらに無除雄・無受粉の対照区を設けることで、単為結果等の結実率への影響を推定できる。したがってリンゴの和合性・不和合性の判別は1果当たり種子数だけでなく、結実率も重要な指標となり得ると考えられる。

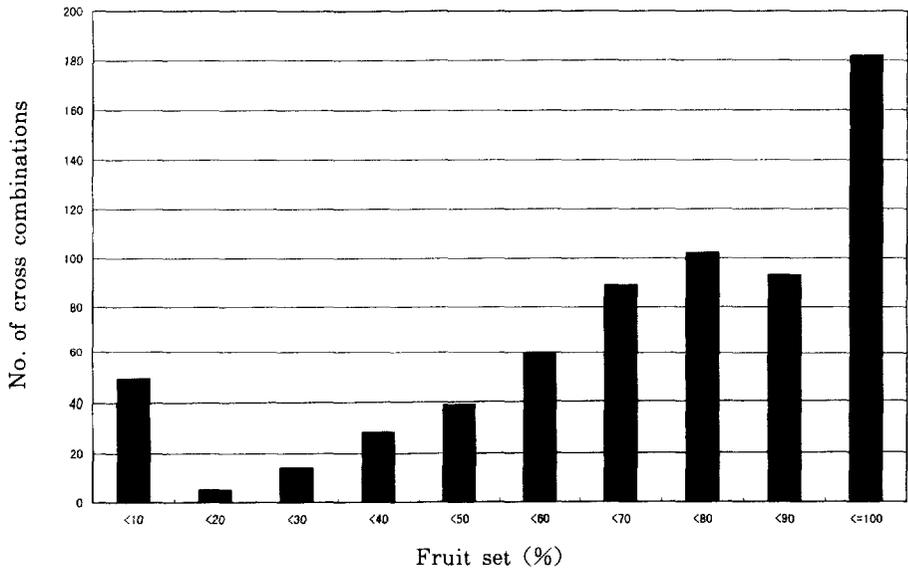


Fig. 4. Distribution of number of cross combinations in relation to fruit set percentage by cross pollination without emasculation.

(3) 交雑不和合および和合組合せの推定

交雑結実率と1果当たり種子数の関係を示したFig.5は、結実率30%未満かつ1果当たり種子数3個以下の位置に分布する集団（以下小集団）とそれ以外の集団（以下大集団）の2群に分かれた。小集団に属する組合せ数は23で全体の3.7%に相当した。

小集団の23組合せは、結実率および1果当たり種子数が2年以上または正逆交雑とともに低く（Table 2）、いずれも交雑不和合組合せと推定された。またTable 2に示した結実率0%の34組合せのうち‘Belle de Boskoop’ × ‘Transparent de Croncels’, ‘Mother’ × ‘Wealthy’, ‘Northern Spy’ × ‘M. 9’, ‘Reinette du Canada’ × ‘Transparent de Croncels’, ‘Suntan’ × ‘Cox’s Orange Pippin’の5組合せについては不和合組合せとの報告がある（Knight 1962, Vondráček 1964, Spiegel-Roy・Alston 1982）。これらの報告は和合性と不和合性の基準値が明確でないため判断にはさらに調査が必要と考えられる。しかし、本試験でも1年間のみの結果ではあるが、結実率0%を示したことから、交雑不和合組合せである可能性が高い。それ以外の29組合せのうち、‘福民’ × ‘恵’, ‘福民’ × 東北6号, ‘いわかみ’ × ‘千秋’, ‘金星’ × ‘Redgold’, ‘北の幸’ × ‘印度’, ‘夏緑’ × ‘はつあき’の6組合せの逆交雑の結実率と1果当たり種子数は、‘恵’ × ‘福民’が3.1%, 1.00個, 東北6号 × ‘福民’が10.0%, 0個, ‘千秋’ × ‘いわかみ’が6.7%, 0.50個, ‘Redgold’ × ‘金星’が3.3%, 0個, ‘印度’ × ‘北の幸’が8.5%, 0.33個, ‘はつあき’ × ‘夏緑’が5.0%, 0個, と結実率、1果当たり種子数がともに低く、この6組合せは交雑不和合組合せと推定された。また東北6号 × ‘恵’は、その逆交雑の結実率が26.7%と比較的高い値を示していたが、1果当たり種子数が0.50個と少なく、しかも東北6号 × ‘恵’は2年間の結実率が0%であることから、交雑不和合組合せと推定された。残りの22組合せについては2年以上または正逆交雑で結実率が0%

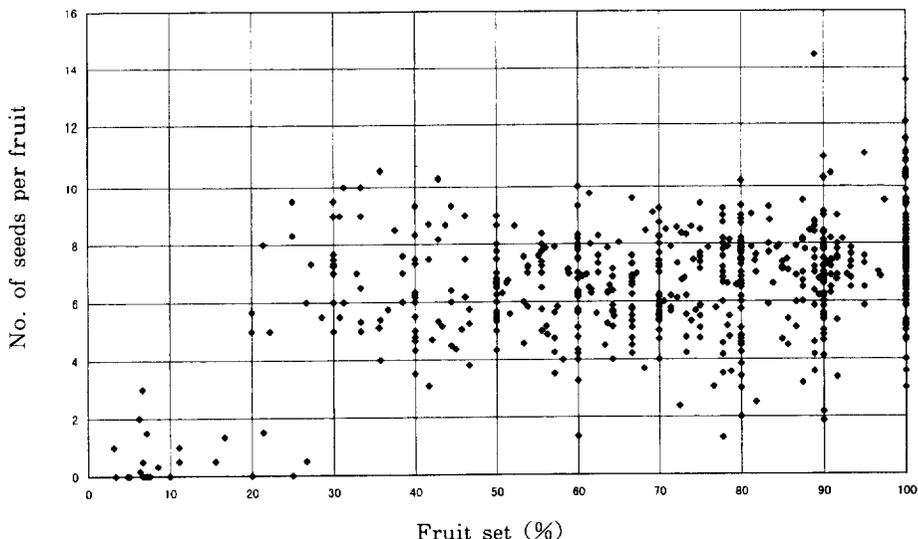


Fig. 5. Relationship between number of seeds per fruit and fruit set by cross pollination without emasculation.

であったため不和合組合せと推定された。以上、Table 2 に示した57組合せを交雑不和合性の可能性が高い組合せと仮定する。

一方、大部分が交雑和合組合せと考えられる大集団に属する組合せの中で、結実率が30%未満の組合せは10品種・系統 (Table 3) である。このうち '紅玉' × '紅月', 'Melrose' × '恵', '世界一' × 'ゴールデン・デリシャス', '新光' × '恵', 'スターキング・デリシャス' × 'あかね' の5組合せは逆交雑の結実率と1果当たり種子数がともに高く、交雑和合組合せと推定される (Table 3)。

Table 2. The list of cross combinations belonging to the small group in Fig.5 or showing 0% fruit set.

Cross combination	Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit	Cross combination	Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit
^{zy} 'Akane' × Nu-32	1	0		^z 'Mother' × 'Wealthy'	1	0	
^z 'B.de B' ^x × 'T.de C.' ^w	1	0		^y 'Natsumidori' × 'Hatsuaki'	1	0	
'Fuji' × I-661	2	0		^{zy} 'Natsumidori' × 'Sekaiichi'	3	0	
'Fuji' × 'Shinko'	2	0		^z 'Northern Spy' × 'M.9'	1	0	
^y 'Fukutami' × Karo Fumei	1	0		^{zy} Nu-32 × 'Akane'	1	0	
^y 'Fukutami' × 'Megumi'	2	0		^z 'R. du Canada' ^t × 'T. de C.'	1	0	
^y 'Fukutami' × Tohoku 6	1	0		^y 'Redgold' × 'Kinsei'	3	3.3	0
^z 'Golden D.' ^v × 'Mellow'	2	6.3	0.17	^y 'Redgold' × 'Megumi'	3	0	
'Hatsuaki' × 'Kuifua'	2	11.1	1.00	'Redgold' × Ri-51	2	7.5	0
^y 'Hatsuaki' × 'Natsumidori'	2	5.0	0	Rero 18 × 'Fukutami'	2	15.7	0.50
^y 'Hatsuaki' × 'Sekaiichi'	2	0		^y Ri-51 × 'Megumi'	3	4.8	0
'Hatsushiga' × 'Megumi'	3	0		^y 'Starking D.' ^u × 'Holly'	2	0	
^y 'Himekami' × 'Jonathan'	1	7.1	0	^y 'Starking D.' ^v × 'Jonadel'	2	0	
^y 'Holly' × 'Starking D.' ^u	1	0		'Starking D.' ^v × 'Melrose'	2	6.3	2.00
^{zy} 'Indo' × 'Kitanosachi'	3	8.5	0.33	'Starking D.' ^v × 'Murasaki'	2	0	
^y 'Iwakami' × 'Senshu'	2	0		^y 'Sekaiichi' × 'Hatsuaki'	3	0	
^y 'Jonadel' × 'Starking D.'	1	0		'Sekaiichi' × 'Kuifua'	2	0	
^y 'Jonathan' × 'Himekami'	1	6.7	3.00	^{zy} 'Sekaiichi' × 'Natsumidori'	3	0	
'Jonathan' × Rero 22	2	11.1	0.50	'Sekaiichi' × 'Taiyo 5'	2	0	
^y 'Jonathan' × U-45	2	0		'Senshu' × I-687	2	6.7	0
^y Karo Fumei × 'Fukutami'	1	0		^y 'Senshu' × 'Iwakami'	2	6.7	0.50
^y 'Kinsei' × 'Megumi'	2	7.1	1.50	^z 'Suntan' × 'Cox's O.P.' ^s	1	0	
^y 'Kinsei' × 'Redgold'	2	0		^y Tohoku 6 × 'Fukutami'	1	10.0	0
^{zy} 'Kitanosachi' × 'Indo'	3	0		^y Tohoku 6 × 'Megumi'	2	0	
^y 'Megumi' × 'Fukutami'	2	3.1	1.00	'Toko' × Ri-24	3	21.4	1.50
^y 'Megumi' × 'Kinsei'	2	25.0	0	'Tsugaru' × 'Kogetsu'	3	7.0	0
^y 'Megumi' × 'Redgold'	3	20.0	0	^y U-45 × 'Jonathan'	1	0	
^y 'Megumi' × Ri-51	4	16.7	1.33	'Umezawa' × 'Northern Spy'	2	0	
^y 'Megumi' × Tohoku 6	1	26.7	0.50				

^z Reported as incompatible combination

^y Reciprocal cross is in Table 2.

^x 'Belle de Boskoop', ^w 'Transparent de Croncels', ^v 'Golden Delicious', ^u 'Starking Delicious',

^t 'Reinette du Canada', ^s 'Cox's Orange Pippin'

Table 3. Cross combinations below 30% fruit set belonging to the large group in Fig.5, and their reciprocal crosses.

Cross combination (Parent combination)	Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit	Reciprocal cross		
				Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit
'Holly' (J ^z ×D ^y)×'Indo'	1	26.7	6.00			
'Jonathan'×'Kogetsu' (G ^x ×J)	1	20.0	5.00	2	75.7	6.00
'Kidd's O.R.' ^w (C ^v ×D or D×C)×'Toko' (G×I ^u)	1	25.0	9.50			
'Melrose' (J×D)×'Indo'	1	21.4	8.00			
'Melrose' (J×D)×'Megumi' (R ^t ×J)	1	28.6	5.50	1	42.9	8.17
'Redgold' (G×D)×'Princess' (G×I)	1	27.3	7.33			
'Sekaiichi' (D×G)×'Golden Delicious'	1	20.0	5.67	1	35.7	4.00
'Shinko' (R×J)×'Megumi' (R×J)	1	27.3	7.33	1	40.0	6.00
'Starking Delicious'×'Akane' (J×W ^s)	1	22.2	5.00	1	91.7	9.00
'Starking Delicious'×'Orei' (G×D)	1	25.0	8.33			

^z'Jonathan', ^y'Delicious', ^x'Golden Delicious', ^w'Kidd's Orange Red', ^v'Cox's Orange Pippin',
^u'Indo', ^t'Ralls Janet', ^s'Worcester Pearmain'

他の5組合せについては判断にはさらに調査が必要であるが、1果当たり種子数が多いことから交雑和合組合せである可能性が高いと思われる。なお、この10品種・系統のうち8組合せの種子親側品種が'デリシャス'系品種もしくはその後代である。'デリシャス'系品種については、交雑時の除雄方法によっては不結実性が認められたり(Einset 1930)、早期生理落果時に離層形成を促すエチレンの発生量が多いとされている(千葉・久保田 1979)等の報告があり、デリシャス系品種では、これらの要因により比較的多くの種子を含む果実も早期落果した可能性があると考えられる。

また、大集団に属する組合せの中で1果当たり種子数が4個未満の組合せはTable 4に示した24組合せである。このうち、リー24×'東光'は結実率80.0%、1果当たり種子数が3.00個と特に結実率の値が高いが、逆交雑の結実率および1果当たり種子数が3年間の平均値で21.4%、1.50個と低い結果となっている。また、リー24は無除雄・無受粉の結実率が38.5%と高く(Table 1)、このことが種子数は少ないが高結実率を示した原因の一つと考えられる。したがってリー24×'東光'は交雑不和合組合せと推定される。一方、逆交雑の結実率および1果当たり種子数がともに多く交雑和合と推定される組合せは、'Cox's Orange Pippin'×'ふじ'、'印度'×'銀鈴'、'印度'×'Golden Melon'、'Jonadel'×'恵'、'恵'×東北5号、'千秋'×'Jonadel'の6組合せである(Table 4)。また、'Blenheim Orange'×'ふじ'、'Blenheim Orange'×'金星'、'Cox's Orange Pippin'×イ-172、'Cox's Orange Pippin'×'東光'、'印度'×'伏紅(Fuhong)'、'葵花'×'輝'、'M.25'×'東光'、'旭'×'Spencer'、'旭'×'Summerland'、'王鈴'×'輝'、'千秋'×ウ-45、ソロ5×東北5号の12組合せについては、'Cox's Orange Pippin'×'東光'は3年間の結果ではあるが片面のみであり、それ以外の11組合せについては一年間の片面のみの結果で有るため判断にはさらに調査が必要である。しかし、全組合せとも1果当たり種子数が3.05個以上、結実率が40.0%以上の比較的高い数値を示していることから(Table 4)、積極的に不和合組合せと判断すること

は困難であり、和合組合せの可能性が高いと推察される。残りの 'Cox's Orange Pippin' を種子親に用いた5交雑組合せは、結実率が高いが種子数は少なく、逆交雑を行っていないため判定は保留した。しかし、花粉親としてどのような品種・系統を交雑しても1果当たり種子数が少ない傾向が見られ (Table 5), 'Cox's Orange Pippin' は種子形成能に何らかの障害がある可能性が考えられる。以上の結果をとりまとめると、交雑を行った659組合せ中、交雑不和合組合せはTable 2 に示した57とリ-24×'東光'の合計58で、'Cox's Orange Pippin' を種子親とする逆交雑未実施の5組合せを保留扱いとし、残りの596組合せが交雑和合組合せと推定される。

Table 4. Cross combinations of the fruits having less than four seeds belonging to the large group in Fig. 5, and their reciprocal crosses.

Cross combination	Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit	Reciprocal cross		
				Years tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit
'Blenheim Orange'×'Fuji'	1	60.0	3.25			
'Blenheim Orange'×'Kinsei'	1	40.0	3.50			
'Cox's O.P.' ^z ×'Fuji'	2	72.5	2.38	1	40.0	8.33
'Cox's O.P.'×I-172	1	68.2	3.67			
'Cox's O.P.'×'M.9'	1	80.0	2.00			
'Cox's O.P.'×'Narihoko'	1	90.0	2.17			
'Cox's O.P.'× Ri-34	1	90.0	1.86			
'Cox's O.P.'× Tohoku 5	2	77.8	1.29			
'Cox's O.P.'×'Toko'	3	76.7	3.05			
'Cox's O.P.'×'Tsugaru'	1	60.0	1.33			
'Indo'×'Fuhong'	1	80.0	3.83			
'Indo'×'Ginrei'	1	100	3.00	2	66.7	5.52
'Indo'×'Golden Melon'	1	91.7	3.36	1	100	6.00
'Jonadel'×'Megumi'	1	81.8	2.50	1	100	5.36
'Kuifua'×'Kagayaki'	1	100	3.57			
'M.25'×'Toko'	1	77.8	3.50			
'McIntosh'×'Spencer'	1	88.9	3.56			
'McIntosh'×'Summerland'	1	57.1	3.50			
'Megumi'× Tohoku 5	1	78.8	3.55	2	100	6.56
'Orei'×'Kagayaki'	1	80.0	3.40			
Ri-24×'Toko' ^y	1	80.0	3.00	3	21.4	1.50
'Senshu'×'Jonadel'	2	41.7	3.08	1	100	7.17
'Senshu'× U-45	1	46.7	3.80			
Soro 5× Tohoku 5	1	87.5	3.17			

^z 'Cox's Orange Pippin'

^y Cross incompatible combination

Table 5. Fruit set and seeds number per fruit in 'Cox's Orange Pippin' used as seed parent.

Cross combination	Years of tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit	Cross combination	Years of tested	Fruit set (%)	No. of seeds per fruit
'Cox's O.P.' ^z × 'Fuji' ^y	2	72.5	2.38	'Cox's O.P.' × 'Narihoko'	1	90.0	2.17
'Cox's O.P.' × 'Fukutami'	1	80.0	4.50	'Cox's O.P.' × 'Redgold'	1	77.8	4.17
'Cox's O.P.' × 'Hatsuaki' ^x	1	70.0	4.00	'Cox's O.P.' × Ri-34	1	90.0	1.86
'Cox's O.P.' × I-172	2	68.2	3.67	'Cox's O.P.' × 'Taiyo 5'	1	80.0	4.60
'Cox's O.P.' × 'Kagayaki'	1	100	4.75	'Cox's O.P.' × Tohoku 5	2	77.8	1.29
'Cox's O.P.' × 'Kinsei'	1	85.7	4.50	'Cox's O.P.' × 'Toko'	3	76.7	3.05
'Cox's O.P.' × 'M. 9'	1	80.0	2.00	'Cox's O.P.' × 'Tsgaru'	1	60.0	1.33

^z 'Cox's Orange Pippin'

^y Fruit set and number of seeds per fruit in 'Fuji' × 'Cox's Orange Pippin' were 40.0% and 8.33, respectively.

^x Fruit set and number of seeds per fruit in 'Hatsuaki' × 'Cox's Orange Pippin' were 100% and 7.33, respectively.

(4) 交雑和合性および交雑不和合性の判定基準の検討

交雑和合性と不和合性の判定を1果当たり種子数単独で行う場合、3倍体品種や 'Cox's Orange Pippin' のように種子形成能力が多少劣る品種で問題が生じる可能性がある。また、結実率単独で和合性と不和合性を判断した場合、単為結果性の問題がつかまとう。そこで1果当たり種子数と結実率を指標に用いての各指標ごとに和合性と不和合性を分ける基準値をいくつか設定し、各指標単独で和合性と不和合性の判断を行った場合と、両指標を用いて判断を行った場合との異同を表したのがTable 6である。各指標の基準値は、1果当たり種子数がFig. 5の大集団の下限値である 'Cox's Orange Pippin' × 東北5号の1.29個の直下の1.2個、Fig. 5の小集団の上限値である '紅玉' × 'ひめかみ' の3.0個、および3.0個以上の場合の代表値として4.0個の3つを設定し、結実率についてはFig. 5の大集団の下限値である20%と小集団の上限値である26.7%の近似値としての30%の2つを設定した。なお上述したFig. 5の小集団に属する23組合せ、およびTable 1に示した結実率0%の34組合せと、Fig. 3の大集団に属するリ-24 × '東光' の合計58組合せを真に不和合性の可能性が高い組合せ（以下、真の不和合組合せ）とし、各指標の各基準での組合せ数との比較を行った。+は真の不和合組合せ以外の組合せで不和合性と判断された数を表し、-は真の不和合組合せに含まれながら不和合と判断されなかった組合せの数を表す。結果は1果当たり種子数、結実率それぞれ単独では真の不和合組合せ数とかなり離れた値となるが、1果当たり種子数、結実率の両指標を併用した場合はより精度が高く判定できることが明らかになった。特に1果当たり種子数3個以下と、結実率30%未満、並びに1果当たり種子数4個未満と、結実率30%未満の場合に精度が高く、共に真の不和合組合せとの不一致数は1組合せであった。しかし1果当たり種子数単独で判断した場合の3.0個以下と4.0個未満の比較から明らかのように、3個以下、30%以下の基準値が望ましいことは明らかである。4個未満、30%以下の場合が3個以下、30%以下の場合と同じ値になったのは、たまたま1果当たり種子数が3個より多く4個未満でかつ結実率30%以下の組合せが存在しなかったためである。

Table 6. Inspection of criteria for incompatibility based on the number of seeds per fruit and/or fruit set percentage.

Criteria ^z		Number of cross combinations evaluated as incompatible by the criteria	Misjudgement of ^y compatibility	
No. of seeds per fruit	Fruit set (%)		+	-
1.2 > =		52		- 6
3.0 > =		66	+ 8	
4.0 >		81	+23	
	20 >	53		-- 5
	30 >	67	+10	- 1
1.2 > = and	20 >	49		- 9
1.2 > = and	30 >	52		- 6
3.0 > = and	20 >	53		- 5
3.0 > = and	30 >	57		- 1
4.0 > and	20 >	53		- 5
4.0 > and	30 >	57		- 1

^z Criteria for the incompatibility evaluation of cross combinations

^y When a total of 58 cross combinations are considered incompatible, + indicates the number of cross combinations which are misjudged as incompatible aside from the 58 cross combinations met by the criteria; - indicates the number of cross combinations misjudged as compatible out of 58 cross combinations by the criteria.

Fifty-eight cross combinations seemed to be incompatible. In Table 2, 57 cross combinations are shown that were estimated to be incompatible based on the low number of seeds per fruit and the low fruit set. One cross combination, Ri-24 × 'Toko', (3.0: number of seeds per fruit; 80%: fruit set) was also estimated as incompatible based on the low number of seeds per fruit (1.50) and the low fruit set (21.4%) evaluated during a three-year period of reciprocal crosses.

判定基準はできるだけ誤判定を排除することが重要であり、さらに各指標ごとの基準値を詳細に検討すると、真の不和合組合せと考えられる58組合せは1果当たり種子数に関してはすべて3.0個以下の範囲に分布しており、結実率に関してはリ-24 × '東光' の80.0%を除けば26.7%以下に分布している (Table 2, Table 4)。一方、和合性と断定できる交雑組合せの下限値は1果当たり種子数に関しては 'Cox's Orange Pippin' × 'ふじ' の2.38個 (Table 4) (当該組合せは逆交雑が和合性を示す)、結実率に関しては '紅玉' × '紅月' と '世界一' × 'ゴールドデン・デリシャス' の20.0%である (Table 3) (当該組合せは逆交雑が和合性を示す)。また判断にはさらに調査が必要であるが、交雑和合性の可能性のある組合せとして 'Cox's Orange Pippin' を種子親に用いた一連の組合せがある (Table 5)。そのうち1果当たり種子数に関する下限値は 'Cox's Orange Pippin' × 東北5号 (保留扱い) の1.29個である。したがって、1果当たり種子数に関しては、1.2個以下を不和合、1.2個から3個以下を和合と不和合の混合領域とし、3個より多い場合は和合と判断することが妥当と考えられる。一方結実率に関しては、20%未満が不和合、20%以上30%未満が混合領域とし、30%以上は和合と判断することが妥当と考えられる。ただし結実率を和合性と不和合性の判

定の指標に用いる場合は、リー24×‘東光’のような場合を想定して除袋時の結実率の信頼性を推測するための無除雄・無受粉の対照区を設ける必要がある。対照区で高い自家結実性が観測された場合、結実率を判定の指標に用いるべきでない。以上のように設定した1果当たり種子数と結実率の両指標の基準値を用いて和合と不和合の判断を総合的に行うことが最も精度良く判定できるものと推定される。この基準で本実験の全交雑組合せを判定すると、583組合せが和合性、49組合せが不和合性、27組合せ（全体の4%）が保留扱いとなり、高い割合で交雑和合・不和合の判定ができ、しかも誤判定は無いことになる。この判定基準の使用に当たっては、1果当たり種子数と結実率の値で和合と不和合の判定が異なった場合は、単年度または片面のみでの判断はせず、2年以上または両面交雑の結果を待って判断するべきと考えられる。また、1果当たり種子数または結実率のいずれかが混合領域の値で、もう一方が和合または不和合の場合にも、単年度または片面のみの結果では判断せず、2年以上または両面交雑の結果を待って総合的に判断したほうがよいと考えられる。

摘 要

無除雄・無受粉における結実率および1果当たり種子数の調査に供試した213品種・系統のうち収穫期まで結実を維持できたものは10品種・系統（全体の4.7%）であった。そのうち種子を伴っていたものは3品種・系統（全体の1.4%）のみと極めて少ない結果であった。1果当たり種子数は、最も多かった‘迎秋’の場合でも1.33個で、交雑和合組合せの場合の平均の1果当たり種子数である6.81個と比較して著しく少なかった。したがって、交雑和合組合せとの識別は容易に可能であり、1果当たり種子数で交雑和合性と不和合性を判定する場合には、除雄を行わなくても支障はないものと推察された。一方、結実率が0%のものは全体の87.3%、15%未満のものは全体の93.9%、20%未満のものは全体の94.4%とリンゴの場合は自家結実性を示す品種・系統は極めて少ないことが示された。しかし、単為結果等の自家結実性によって結実する品種・系統も存在することから、結実率を和合性と不和合性の判定に用いる場合には、判定の信頼性を高めるために無除雄・無受粉の対照区を設けることが必要で、それによって除雄操作の省略が可能になると推察された。

交雑和合性と不和合性を判定する場合は、1果当たり種子数と結実率の両指標を併用し、総合的に判断することで、より精度が高く判定できることが明らかになった。その際の基準値として、1果当たり種子数は、1.2個以下を不和合、1.2個から3個以下が和合と不和合の混合領域、3個より多い場合は和合と判断することが妥当と考えられた。結実率に関しては、20%未満が不和合、20%以上30%未満が混合領域、30%以上は和合と判断することが妥当と考えられた。ただし結実率を和合性と不和合性の判定の指標に用いる場合は、除袋時の結実率の信頼性を推測するための無除雄・無受粉の対照区を設ける必要がある。1果当たり種子数と結実率の値で和合と不和合の判定が異なった場合、及び1果当たり種子数または結実率のいずれかが混合領域の値で、もう一方が和合または不和合の場合は、単年度または片面のみでの判断はせず、2年以上または両面交雑の結果を待って総合的に判断し、判定の精度を高めることが重要である。

引用文献

- 1) 千葉和彦・久保田貞三. 1979. リンゴの早期生理的落果とエチレン発生, およびそれに及ぼす摘果剤デナボンの影響. 果樹試報. C6 : 55-64.
- 2) Einset, O. 1930. Cross-unfruitfulness in the apple. Tech. Bull. N. Y. State Agr. Exp. Sta. 159 : 3-24.
- 3) 石山正行・佐藤 耕・山田三智穂・鈴木長蔵・北山 弘. 1981. リンゴ「恵」とその後代の自家和合性について. 東北農研. 29 : 191-192.
- 4) 石山正行・佐藤 耕・瀬川一衛. 1987. リンゴ属植物の結実様式. 東北農研. 40 : 241-242.
- 5) Knight, R. L., J. B. Briggs, A. M. Massee and H. M. Tydeman. 1962. The inheritance of resistance to woolly aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hsmnn.) in the apple. J. Hort. Sci. 37 : 207-218.
- 6) 小森貞男・副島淳一・土屋七郎・増田哲男・別所英男・伊藤祐司. 1997. リンゴの人工交雑における2種類の不結実性. 園学雑. 66 : 289-295.
- 7) 奥瀬一郎. 1972. リンゴ花粉の発芽と花粉管伸長に関する研究. 第1報. 発芽温度について. 弘大農報. 18 : 114-126.
- 8) 齋藤健一・武田和義・中山林三郎. 1978. リンゴの交雑育種に関する基礎的研究 第6報「恵」の自家結実性について. 弘大農報. 29 : 41-49.
- 9) 齋藤健一・新関 稔・浅田武典・肥田野豊・斎藤 彰. 1988. リンゴの自家結実性品種育成に関する基礎的研究. 昭和60, 61, 62年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書. 1-24.
- 10) 齋藤健一・新関 稔・原田竹雄・石川隆二. 1993. Malus属における自家結実性の遺伝変異と環境変異. 弘大農報. 57 : 9-24.
- 11) Spiegel-Roy, P. and F. H. Alston. 1982. Pollination requirements of new apple cultivars. J. Hort. Sci. 57 : 145-150.
- 12) Stott, K. G. 1972. Pollen germination and pollen-tube characteristics in a range of apple cultivars. J. Hort. Sci. 47 : 191-198.
- 13) Vondráček, J. 1964. Oplodňovací poměry u jabloní. Rostlinna Výroba. 10 : 729-742.