

ニホンナシ育種における果実品質の数量的研究第2報

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
巻/号	444
掲載ページ	p. 325-329
発行年月	1976年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ニホンナシ育種における果実品質の 数量的研究(第2報)

交雑実生集団の統計学的考察

町田 裕*・小崎 格

(農林省果樹試験場安芸津支場) (農林省果樹試験場育種部)

Quantitative Studies on the Fruit Quality in Japanese Pear
(*Pyrus serotina* REHDER) Breeding

II. Statistical Analyses of a Hybrid Seedling Population

Yutaka MACHIDA* and Itaru KOZAKI

Akitsu Branch, Fruit Tree Research Station, Akitsu, Hiroshima and
Div. of Breeding, Fruit Tree Res. Stn., Hiratsuka, Kanagawa

Summary

A Japanese pear seedling population of fifteen families consisting of eight individuals per family and their parental cultivars was statistically analyzed with respect to fruit weight, flesh firmness, refractometer index and pH of juice.

Full-sib population analysis performed from 1963 to '64 indicated that the ratio of variance component due to family to the total of variance was 0.078, 0.265, 0.046 and 0.066 for fruit weight, flesh firmness, refractometer index and pH, respectively.

From the analysis of the same hybrid seedling population and their parents, statistical significance was obtained in offspring-mid-parent regressions and correlation coefficients; the regressions were 1.152, 0.497, 0.644 and the correlation coefficients were 0.687, 0.560, 0.644 for flesh firmness, refractometer index and pH, respectively.

Both the ratio of variance component due to family to the total variance and offspring-mid-parent regression or correlation in the full-sib population are generally recognized as valuable parameters for estimating the heritability. Particularly the latter is generally considered more adequate.

From the results of the experiments, it is concluded that among the four characters flesh firmness has the highest heritability, followed by the refractometer index and the pH of juice, and fruit weight shows the lowest heritability.

緒 言

前報において町田ら(2)はニホンナシ既存品種の品質調査結果から品質構成各形質の育種の特徴を明らかにし、実際の育種における各形質の取り扱いについて考察を行なった。本報においては交雑実生集団の品質調査結果を基にして、さらに明確な育種手法を確立することを目的とした。供試した実験材料は実際の育種に用いた交雑実生集団から選んだので不備な点を免れないが、従来

経験的に知られている諸点を数量的に明らかにし、育種の観点から各形質の特徴をつかむことができたと考えられるのでここに報告する。

実験材料および方法

1963年には第1表に示す交配組合せより得られた各8個体よりなる15家系を用い、1個体から5果を任意抽出して品質測定を行なった。品質測定法は前報と同じである。つぎに品質に及ぼす年次効果を調べるために1963年と1964年のデータを用いた。2年間とも測定可能な実生は各家系5~8個体であったので、計算を容易にするため各家系から5個体ずつを任意抽出して用いた。交雑

1974年11月8日 受理
果樹試験場業績番号：A-34

* 現在 農林省果樹試験場育種部

Table 1. List of full-sib families

Family No.	Parents			Nos. of plants
	♀	×	♂	
12	Kumoi	×	Suisei	8
13	Kumoi	×	Chōjūrō	8
21	Kumoi	×	I-33	8
29	Kōsui	×	Nijisseiki	8
35	Nijisseiki	×	Kōsui	8
46	Suisei	×	Kōsui	8
48	Kikusui	×	Kōsui	8
70	I-33	×	Ri-14	8
79	Chōjūrō	×	Ri-14	8
80	Chōjūrō	×	Ri-28	8
82	Sinkō	×	I-32	8
83	Kimizuka	×	Suisei	8
90	O-9	×	I-33	8
92	I-33	×	Kōsui	8
101	Kōsui	×	Kikusui	8

Kumoi : 雲井, Suisei : 翠星, Chōjūrō : 長十郎, I-33 : イ-33, Kōsui : 幸水, Nijisseiki : 二十世紀, Kikusui : 菊水, Ri-14 : リ-14, Ri-28 : リ-28, Sinkō : 新興, Kimizuka : 君塚早生, O-9 : オ-9.

実生はいずれもは種後 1~2 年で長十郎に高接ぎされたものである。いずれも接木後 5~6 年を経過していた。

実験結果

1963 年に測定した各個体および各家系平均ならびに交配両親の平均(平均親)を各形質ごとに第 2 表に示す。平均親の総平均と交雑実生の総平均を比較すると、果実重量、果汁屈折計示度および果汁 pH の各形質では両者

Table 2. Values of family means and mid-parents for each character (1963).

Family No.	Fruit weight (g)		Flesh firmness ¹¹ (kg)		Refractometer index		pH	
	Family mean	Mid-parent	Family mean	Mid-parent	Family mean	Mid-parent	Family mean	Mid-parent
12	291	216	1.3	1.2	10.7	10.3	4.81	4.65
13	245	261	1.8	1.5	11.4	10.4	4.76	4.67
21	165	257	1.5	1.2	12.2	10.7	4.74	4.70
29	173	198	1.5	1.1	10.6	11.2	4.84	4.83
35	156	198	1.6	1.1	11.1	11.2	4.73	4.83
46	209	174	1.2	1.1	11.5	11.0	4.85	4.80
48	210	186	1.3	1.1	12.1	12.3	4.71	4.73
70	230	226	1.3	1.2	12.3	11.7	4.76	4.81
79	248	230	1.7	1.4	12.4	11.4	4.78	4.78
80	237	224	1.4	1.4	11.4	11.0	5.00	4.76
82	280	250	1.4	1.1	11.4	10.6	4.54	4.37
83	189	182	1.3	1.3	11.4	10.6	4.78	4.59
90	149	214	1.3	1.1	12.6	11.6	4.63	4.52
92	161	216	1.3	1.1	12.5	11.5	4.91	4.85
101	203	186	1.3	1.1	11.7	12.3	4.64	4.73
Average	210	215	1.4	1.2	11.7	11.2	4.77	4.71

¹¹ Flesh firmness is represented by flesh pressure resistance (kg) using firmness-meter with cylindrical head (5 mm in diameter).

Table 3. Analysis of variance for the families (1963)

Source	SS	DF	MS	F	Exp. of MS
—Fruit weight—					
Between family	226606	14	16186	3.621**	$\sigma^2 + 8\sigma_f^2$
Within family	469308	105	4470		σ^2
—Flesh firmness—					
Between family	2.9465	14	0.2105	4.160***	$\sigma^2 + 8\sigma_f^2$
Within family	5.3148	105	0.0506		σ^2
—Refractometer index—					
Between family	47.16	14	3.3769	3.549***	$\sigma^2 + 8\sigma_f^2$
Within family	99.91	105	0.9515		σ^2
—pH—					
Between family	1.46	14	0.1043	1.240	$\sigma^2 + 8\sigma_f^2$
Within family	8.83	105	0.0841		σ^2

σ^2 : Variance due to individual

σ_f^2 : Variance due to family

間に著しい差が認められないが、果肉硬度では交雑実生の総平均のほうが平均親の総平均より 20% 近くも大であった。この現象は各家系平均とその平均親との間にも常に認められ、ほとんど全ての家系において平均親より家系平均の硬度のほうが高かった。

次に各測定値の分散分析結果を第 3 表に示す。家系内分散に対する家系間分散は果実重量、果肉硬度、屈折計示度では有意であるが、pH では有意でなかった。分散分析表から家系間および家系内分散成分 (σ_f^2 および σ_w^2) を求め、級内相関係数 $t(\sigma_f^2/(\sigma_f^2 + \sigma_w^2))$ を求めると第 4 表のとおりである。

任意交配集団モデルにおける完全兄弟 (Full-sib) の

Table 4. Variance components for each character calculated from Table 3.

Variance component	Fruit weight	Flesh firmness	Refractometer index	pH
σ_f^2	1465	0.0199	0.3032	0.0025
σ^2	4470	0.0506	0.9515	0.0841
$t = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma^2}$	0.2468	0.2823	0.2417	0.0289

 σ_f^2 : Variance due to family σ^2 : Variance due to individual

級内相関係数は Falconer (1) によれば

$(1/2 V_A + 1/4 V_D + V_{EC})/V_P$ である。ただし V_A, V_D, V_{EC}, V_P はそれぞれ育種価 (Breeding value), 優性効果 (Dominance deviation), 共通環境効果 (Common environmental deviation), 表現価 (Phenotypic value) である。

$1/4 V_D + V_{EC}$ が V_A に比べて無視できる程度に小さければ $t = 1/2 (V_A/V_P) = 1/2 h^2$ (h^2 : 遺伝力) である。本実験においては任意交雑による完全兄弟ではないが、この場合にも級内相関係数は遺伝関係を示す有力なパラメーターの一つである。

第5表に各形質ごとに家系平均値の平均親に対する回

Table 5. Offspring-mid-parent regression and correlation coefficients (1963).

	Fruit weight	Flesh firmness	Refractometer index	pH
b	0.547	0.701**	0.518*	0.572*
r	0.335	0.631*	0.506	0.668*

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

帰係数ならびに両者の相関係数を示す。果肉硬度と pH は回帰係数, 相関係数ともに有意であったが, 屈折計示度は回帰係数においてのみ有意であった。また果実重量では両係数とも有意でなかった。

平均親に対する家系平均値の回帰係数は任意交配集団モデルでは $V_A/(V_A + V_D + V_E) = V_A/V_P = h^2$ であり, 遺伝力そのものである。しかし, 当実験のように, 親の分散より子の分散が大きくなるというように, 完全に任意交雑集団といえないような場合は, 回帰係数は必ずしも正しい h^2 の推定とはならないであろう。

次に2年間にわたり測定を行なった場合の各測定値を第6表, その分散分析表を第7表に示す。この分析では年次分散成分および個体分散成分が新たに分割可能である。第7表に示すように各形質とも家系内の個体分散

Table 6. Values of family means and mid-parents for each character (1963~64).

Family No.	Year	Fruit weight (g)		flesh firmness (kg)		Refractometer index		pH	
		Family mean	Mid-parent	Family mean	Mid-parent	Family mean	Mid-parent	Family mean	Mid-parent
12	1963	273	216	1.4	1.2	11.1	10.3	4.8	4.7
	1964	300	311	1.3	1.1	12.2	10.7	4.7	4.6
13	'63	226	261	1.8	1.5	11.3	10.4	4.7	4.7
	'64	294	312	2.0	1.5	12.0	11.0	4.9	4.8
21	'63	169	257	1.6	1.2	11.8	10.7	4.8	4.7
	'64	227	328	1.6	1.2	13.3	11.4	4.6	4.6
29	'63	195	198	1.5	1.1	11.2	11.2	4.8	4.8
	'64	251	253	1.4	1.2	12.8	11.6	4.7	4.9
35	'63	150	198	1.5	1.1	10.9	11.2	4.7	4.8
	'64	205	253	1.5	1.2	12.3	11.6	4.6	4.9
46	'63	241	174	1.3	1.1	11.6	11.1	4.9	4.8
	'64	317	258	1.3	1.1	12.3	11.5	4.8	4.7
48	'63	207	186	1.2	1.1	11.7	12.3	4.9	4.7
	'64	272	273	1.3	1.1	12.8	12.2	4.9	4.7
70	'63	201	226	1.3	1.2	12.4	11.7	4.8	4.8
	'64	306	263	1.3	1.1	12.4	12.3	4.7	4.6
79	'63	249	230	1.7	1.4	12.6	11.4	4.7	4.8
	'64	266	247	1.6	1.4	13.0	11.9	4.7	4.7
80	'63	206	224	1.7	1.4	11.7	11.0	5.1	4.8
	'64	277	253	1.4	1.4	12.4	11.1	5.1	4.8
82	'63	249	250	1.4	1.1	11.4	10.6	4.6	4.4
	'64	327	278	1.5	1.2	11.8	10.8	4.5	4.3
83	'63	220	182	1.3	1.3	11.3	10.6	4.6	4.6
	'64	333	263	1.3	1.2	12.8	10.7	4.6	4.6
90	'63	156	214	1.3	1.1	12.8	11.6	4.6	4.5
	'64	219	264	1.3	1.1	13.9	11.5	4.4	4.3
92	'63	147	216	1.3	1.1	11.1	11.5	4.9	4.9
	'64	235	275	1.2	1.2	13.3	12.2	4.7	4.7
101	'63	188	186	1.2	1.1	12.0	12.3	4.7	4.7
	'64	226	273	1.2	1.1	12.9	12.2	4.7	4.7

Table 7. Analysis of variance (1963~64).

Source	SS	DF	MS	F	Exp. of MS
—Fruit weight—					
Family (F)	203288	14	14521	1.703	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 10\sigma_f^2$
Year (Y)	159414	1	159414	94.161***	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 75\sigma_y^2$
F × Y	23701	14	1693	1.118	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2$
Sib/F	500925	60	8349	5.515	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2$
Error	90865	60	1514		σ^2
—Flesh firmness—					
Family (F)	4.38	14	0.3129	3.408*	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 10\sigma_f^2$
Year (Y)	0.00	1	0.0000	0.000	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 75\sigma_y^2$
F × Y	0.35	14	0.0250	0.862	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2$
Sib/F	5.75	60	0.0958	3.303***	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2$
Error	1.74	60	0.0290		σ^2
—Refractometer index—					
Family (F)	37.33	14	2.6664	1.376	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 10\sigma_f^2$
Year (F)	27.74	1	27.7400	48.001***	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 75\sigma_y^2$
F × Y	8.09	14	0.5779	1.310	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2$
Sib/F	108.04	60	1.8007	4.081***	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2$
Error	26.47	60	0.4412		σ^2
—pH—					
Family (F)	2.75	14	0.1964	1.398	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 10\sigma_f^2$
Year (Y)	0.16	1	0.1600	9.357***	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2 + 75\sigma_y^2$
F × Y	0.24	14	0.0171	1.286	$\sigma^2 + 5\sigma_{fy}^2$
Sib/F	8.25	60	0.1375	10.338***	$\sigma^2 + 2\sigma_s^2$
Error	0.86	60	0.0133		σ^2

* Significant at 5% level, *** significant at 0.1% level

Table 8. Variance components for each character calculated from Table 7.

Variance component	Fruit weight	Flesh firmness	Refractometer index	pH
σ_f^2	599	0.0221	0.0729	0.0055
σ_y^2	2103	-0.0003	0.3622	0.0019
σ_{fy}^2	36	-0.0008	0.0273	0.0008
σ_s^2	3418	0.0334	0.6798	0.0621
σ^2	1514	0.0290	0.4412	0.0133
σ_t^2	7670	0.0834	1.5834	0.0836
σ_f^2/σ_t^2	0.078	0.265	0.046	0.066
σ_y^2/σ_t^2	0.274	0.004	0.229	0.023
σ_{fy}^2/σ_t^2	0.005	0.009	0.017	0.009
σ_s^2/σ_t^2	0.446	0.400	0.429	0.743
σ^2/σ_t^2	0.127	0.322	0.278	0.155

$\sigma_f^2, \sigma_y^2, \sigma_{fy}^2, \sigma_s^2$ and σ^2 : Variance due to family, year, interaction between family and year, individual and error, respectively. σ_t^2 : sum of the total.

Table 9. Offspring-mid-parent regression and correlation coefficients (1963~64).

	Fruit weight	Flesh firmness	Refractometer index	pH
b	0.116	1.152**	0.497*	0.644*
r	0.070	0.687**	0.560*	0.644**

* Significant at 5% level
** Significant at 1% level

は全て有意であり、年次と家系の交互作用はいずれも有意でなかった。年次分散は果肉硬度においてはきわめて小さくほとんど0に近いが、他の形質ではいずれも大きく有意であった。家系間の分散成分は上述したように遺伝力を推定する有力な情報であるが、果肉硬度においてのみ有意であった。1年間の測定値に基づく分析では果実重量および屈折計示度も有意であったが、この違いは家系当たり個体数の違いに基づくもので、2年間の測定では家系5個体に減少したこと、年次との間の交互作用などが関係したためであろうと考えられる。全分散に対する各分散成分比は第8表のとおりで、家系間分散比では果肉硬度が特に大であり、年次分散比では果肉硬度が特に小さいのが特徴である。

次に平均親に対する家系平均値の回帰係数および両者間の相関係数を第9表に示す。果実重量は両係数とも有意でなかったが、果肉硬度、屈折計示

度、pH ではいずれも有意であり、1年間の成績(第5表)とほぼ同じ結果であった。

考 察

ニホンナシ育種の具体的手法を確立するためには、主要な量的形質に関する遺伝情報が明らかでなければならない。当研究においては果実形質を構成する諸形質のうち果実重量、果肉硬度、屈折計示度、果汁 pH を量的表示し、完全兄弟よりなる家系の交雑実生集団の分散分析および親子回帰、親子相関を求め、各形質の遺伝的特徴を明らかにしようと試みた。

完全兄弟集団における級内相関係数および平均親と家系平均の相関係数はいずれも遺伝力の大きさを反映するパラメーターであり、これによって形質を区分してみると、遺伝力の低い形質として果実重量があげられる。それに対して果肉硬度、屈折計示度、果汁 pH はいずれも果実重量よりは遺伝力の高い形質である。既存品種を用いた実験においても果実重量は樹間変異や年次変異が大きく、環境変異の大きいことが認められている(2)。

果肉硬度、屈折計示度および果汁 pH のうちでは果肉硬度が他の2形質に比較して特徴が認められる。この形質は年次変異も樹間変異も小さく、級内相関、親子相関とも有意に高い。交雑実生集団を測定した場合に、果肉

硬度では交雑実生集団平均値が、交配母本群総平均値より著しく硬度の高いほうへ偏るのが認められる。この現象は森(3)によっても観察され、肉質を粗密と硬軟の2形質に分けて考えた場合「肉質の密なもの間の交配でも、親と同程度の密な肉質を持つものを得る割合は少なく、しかも二十世紀、八雲級の最も密なものを得る機会はこれより更に少ない」と述べ、また硬軟についても同じような傾向を認めている。

果肉硬度に見られるこの種の現象は以下に述べるような説明が可能である。

いま母集団から選抜差 i (母集団平均値からの距離) によって母本品種を選出し、それらの間の任意交配によって交雑実生集団を作ったとする。交雑実生集団の総平均値と、母本を選んだ元の母集団平均値との差を $ΔG$ とすると $h^2 = ΔG/i$ となり、 h^2 は実現遺伝力 (Realized heritability) である。交配母本総平均値と交雑実生集団平均値との差を d とすると $d = i - ΔG = i(1 - h^2)$ である。

果肉硬度の h^2 は当実験によると 0.6~0.7 くらいであり、 d は約 0.2 kg であるから、これを母集団の h^2 とみなし上式に代入すると $i = 0.5 \sim 0.7$ kg となる。当実験に用いた交雑実生集団が任意交雑によるものと仮定すると、用いた交配母本品種は平均が 1.7~1.9 kg の任意交配集団から選抜差 0.5~0.7 kg によって選択されたものとみなされる。前報において報告したように、明治~大正時代の品種の果肉硬度平均値が 1.6 kg であるから、当実験に用いた品種は遺伝子構成から見ると、その当時の品種をも含めた集団の中から果肉硬度の低いものを選択したものと考えるのが適当であろう。

屈折計示度および果汁 pH では $d=0$ 、 $h^2=0.5 \sim 0.6$ であるから $i=0$ と考えねばならない。すなわちこれらの形質に関しては、既存品種集団から任意抽出して交配母本に用いたのと変らない結果となっている。おそらく屈折計示度や果汁 pH の目標値が現在までの既存品種集団の平均値から遠くないことがその原因と考えられる。したがってこれらの形質においても目標値をさらに極端に移動した場合には、果肉硬度において認められる現象が現われると考えられる。

以上の考察に基づいてニホンナシ交雑育種に対する実際的な提言をすると次のとおりである。

果実重量は遺伝力が低く、しかも現在の選抜目標値も既存品種と大差がないので交配計画であまり重視する必要はないと考えられる。選抜に際しては環境変異が大きいので注意を要する。

果肉硬度は遺伝力が高く、しかも選抜の目標値が既存品種集団の平均から離れていると考えられるので、交配計画では最も重視すべき形質である。環境変異が小

いので選抜は容易であり、1~2年の調査で十分であろう。また選抜した個体は次代の交配母本としても有用である。

屈折計示度も遺伝力が高いので、交配計画で果肉硬度について考慮すべき形質であろう。年次変異はやや大きいので 3~5年の調査が必要であろう。pH に関しては、選抜目標値が既存品種と大差がないので、遺伝力が高いが交配計画にさいして重視する必要はないであろう。とくに酸味の強い品種を母本に用いなければよいと考えられる。選抜は容易で 1~2年の調査で十分であろう。

摘 要

ニホンナシの果実品質を果肉硬度、果汁屈折計示度、果汁 pH で量的表示し、果実重量と合わせて4形質を対象とし、15家系(家系あたり8個体)の完全兄弟交雑実生集団およびそれらの交配親品種群を測定し、統計学的分析を行なった。

完全兄弟集団の分散分析において、全分散成分に対する家系間分散成分比は果実重量、果肉硬度、屈折計示度および果汁 pH においてそれぞれ 0.078, 0.265, 0.046 および 0.066 であった。また同時に親品種群を測定し、各家系の平均とその両親の平均を用いて親子回帰および親子相関を求めた。果肉硬度、屈折計示度および果汁 pH では有意とみなされる値が得られ、回帰係数はそれぞれ 1.152, 0.497, 0.644, 相関係数は 0.687, 0.560, 0.644 であった。

完全兄弟からなる集団における全分散に対する家系分散成分比および親子回帰、親子相関は遺伝力を推定するのに有効なパラメーターであり、とくに後者が適当とされている。

この実験結果からニホンナシにおいては、果肉硬度は遺伝力の高い重要な形質であり、ついで屈折計示度および果汁 pH が重要で、果実重量は遺伝力の低い形質であると結論できるであろう。

謝 辞 本実験に協力された田代俊生氏ならびに研修生諸氏および本稿を草するにあたり集団遺伝学的な多くの助言をいただいた菊地文雄氏に謝意を表す。

引用文献

1. FALCONER, D. S. 1960. Introduction to quantitative genetics. London. Oliver & Boyd Ltd. pp. 150—185.
2. 町田 裕・小崎 格. 1974. ニホンナシ育種における果実品質の数量的研究(第1報). 既存品種集団の統計的考察. 園学雑. 44: 235—240.
3. 森 英男. 1953. 落葉果樹(桃, 日本梨, 柿)の主要形質の遺伝に関する研究 [II] 日本(支那)梨の遺伝. 農技研報. E-2: 34—53.