

レンゲ同質4倍体における稔性の親子相関および ヘテロシス効果

林 喜 三 郎
(農学部 作物・育種学研究室)

Parent-Offspring Correlation and Heterosis Effect in the Fertility of Autotetraploid Renge (*Astragalus sinicus* L.)

Kisaburo HAYASHI

Laboratory of Crop Science and Plant breeding, Faculty of Agriculture

Abstract: In the previous reports¹⁻²⁾, it might be concluded that the physiological disturbance, low fertilization ability of pollen is the most important cause of the low fertility of the autotetraploid Renge. Therefore it may be thought that the fertilization ability can be affected by genetic nature. In this report, difference between inbred lines, parent-offspring correlation and hybridization are discussed in the fertility (pod setting percent and the number of seeds in a pod).

The wide variation of fertility were observed in the 40 inbred lines which had been segregated in the offspring of one induced autotetraploid individual from the native variety, Gifudaibansei (Fig. 1, Table 3). The correlation between parental individual and their offspring lines were $r = 0.442^{**}$ (1962-63) and $r = 0.451^{**}$ (1963-64) in pod setting percent and $r = 0.334^*$, $r = 0.416^{**}$ in the number of seeds in a pod, respectively (Fig. 2 & 3). The fertility of several F_1 hybrid lines between the autotetraploid inbred lines which had been induced from different original varieties, were higher than that of the parental inbred lines (Table 4). However the fertility of the next generation from autotetraploid individual which had been induced from F_1 individual between the the diploid inbred lines by means of colchicine treatment, were lower than that of the induced autotetraploid lines from parental original inbred lines (Fig. 4).

From the facts described above, we may conclude as follows. The fertility of autotetraploid Renge can be decided by genetic nature, however we should not neglect the effect of the environmental condition on the fertility, because its heritability is relatively low. The higher fertility of hybrid lines is due to heterosis effect, not to preferential pairing and higher fertility F_1 autotetraploid line can be induced depending on cross combination.

緒 言

筆者^{1), 2)}はレンゲ同質4倍体(以下4倍体と略す)の低稔性には、成熟分裂の乱れに基因する配偶子の異数化とともに、花粉機能の著しい低下が関与することを明らかにする一方、このような花粉機能の低下が、不良環境条件下では強く現われることも明らかにして来た。これらの事実は4倍体の低稔性要因として、成熟分裂の乱れに基因する細胞遺伝学要因よりも、むしろ母体の生理的機能の低下が重要な要因と考えられ、このような生理的機能は遺伝的素質に左右されるものと考えられる。事実、従来各種4倍体について、選抜によって稔性が向上しても、成熟分裂は必ずしも正常化していないことが明らかにされ³⁻⁷⁾、また、系統間雑種の稔性が両親系統より優ることも明らかにされている⁸⁻¹⁴⁾。

そこで、本レンゲ4倍体においても、稔性の系統間差異、親子相関あるいは系統間雑種の稔性向上効果などを調査することにより、稔性と遺伝的素質との関連性について検討した。本報告はそれ

ら検討結果の概要を述べたものである。

実験材料および方法

1. 稔性の系統間差異および親子相関

北陸農試より分譲された岐阜大晩生種に、1951年コルヒチン処理して育成した1個体の4倍体を、初期世代はとくに選抜を加えずに、自殖によって増殖に努めた後、1958年に無作為に選んだ40個体について、以後系統栽培し自殖を続けながら毎代最高に近い稔性を有する個体から採種を続けた。このように4倍体育成後長時間に亘る自殖と選抜によって、遺伝的にほぼ固定したと思われる40系統を用い、1962～64年に亘って稔性を調査した。

なお、比較の2倍体系統には、同じ原品種より分離固定した30系統を用いた。ただし、レンゲの品種は遺伝的に雑ばくであるため、供試の2倍体と4倍体系統の遺伝的素質は必ずしも同じと云えず、厳密な比較は困難であるが、一般的傾向を知ることは可能と思われる。

供試個体は予め養成した苗の中から、生育の良い個体を1系統10個体ずつ選び、高知大学構内の圃場に30×60cmの間隔で定植した。稔性の調査は、開花時に余分の花を摘除して1花房5花とし、1個体当り10～40花房(50～200花)を供試し、袋掛け自殖した後、結莢数及び種子数を調査し、結莢率及び莢当種子数を算出した。

2. 稔性のヘテロシス効果

(1) 4倍体自殖系統間雑種の稔性

供試の系統は Table 1 に示す8系統であり、4品種より3年次に亘って育成したものである。これらのうち No. 14 以外はコルヒチン処理後7年以上自殖を続けた系統で、遺伝的にほぼ固定していると思われる。これらの8系統間に8組合せ (Table 4 参照) の交雑を行ない、得られた F_1 種子を1963年秋に両親系統とともに播種し、前項同様の方法で栽培し、稔性を調査した。ただし、供試個体は1系統4～8個体ずつである。

Table 1. Parental autotetraploid inbred lines

Line No.	Year ^{*)}	Original varieties
P No. 1	1956	Hokuriku No. 1
6	"	"
14	1961	Funosen No. 7
17	1954	Gifudaibansei
45	"	"
46	"	"
47	"	"
54	"	"

*) : In this year, Parental autotetraploid inbred lines were induced from the original varieties by means of colchicine

(2) 2倍体自殖系統間雑種 F_1 のコルヒチン処理次代の4倍体の稔性

前項の4倍体系統間交雑では、4倍体の稔性が低いため、多数の F_1 種子を得ることが容易でない。そこで Table 2 に示した2倍体の白花固定系統 (W No. 2) を一方の親とし、残りの8赤

花固定系統を他方の親として、1962年春正逆交雑を行ない(一部は一方のみ)、それぞれ多数のF₁種子を得た。同年秋これらのF₁および両親系統の幼植物に、コルヒチン処理して4倍体を育成した。これら4倍体の次代について、一系統10個体ずつを供試して前1項と同じ方法で栽培し、翌春稔性を調査した。

Table 2. Parental diploid inbred lines

Line No.	Year ^{*)}	Original varieties
S No. 1	1951	Gifudaibansei
3	"	"
5	"	Funosen No. 7
6	"	"
7	"	"
9	"	"
10	"	Gifudaibansei
11	"	"
W No. 2	1956	Shirobana (White flower)

*) : Beginning year of inbreeding

実験結果および考察

1. 稔性の系統間差異と親子相関

結実率および莢当種子数の系統平均値の変異を年次別に示すと、それぞれ Fig.1 のとおりであり、それらの分散分析結果は Table 3 のとおりである。

Fig.1 によると、4倍体については、1963年の結実率が他の年よりやや高い方にかたよる以外、変異の傾向はほぼ類似している。2倍体については、結実率64.2%および莢当種子数6.8を平均値

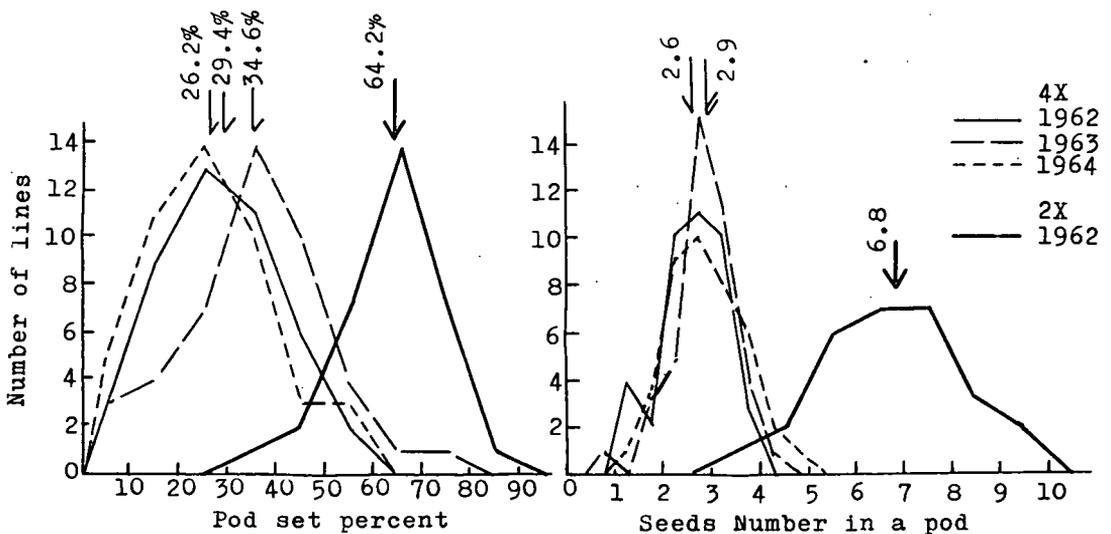


Fig. 1. Variation of fertility in the diploid and autotetraploid inbred

Table 3. Analysis on the average fertility of the autotetraploid inbred lines

Factors	SS	DF	MS	F
Pod setting percent				
Line	5336.39	39	136.84	4.07**
Year	626.67	2	313.34	9.32**
Error	2622.69	78	33.62	
Number of seed in apod				
Line	30.99	39	0.79	2.63**
Year	2.15	2	1.07	3.56**
Error	23.50	78	0.30	

とする分布をし、4倍体の分布より非常に高い方にかたより、4倍体の低稔性がはっきり示されている。

一方、系統間差異は2、4倍体とも著しく、たとえば、1962年の4倍体では結莢率が10.9~58.4%、莢当種子数が1.3~3.7の間に分布し、2倍体ではそれぞれ37.1~83.0%、3.5~9.2の変異がみられる。したがって、4倍体の結莢率の高い系統では2倍体の平均値を超えるものも存在するが、莢当種子数では一部が重なるのみである。また、これらの系統間差異は Table 3 に示されるように極めて有意である。

このような系統間差異がどの程度遺伝的に決定されるかを検討するために、親個体と子系統平均値との間の親子相関を求めた結果、結莢率については Fig. 2、莢当種子数については Fig. 3 に示すとおりである。

これらの Fig. によると、結莢率の親子相関は1962年—63年は0.442**、1963—64年は0.451**、莢当種子数のそれはそれぞれ0.334*、0.416**であって、何れも統計的に有意である。

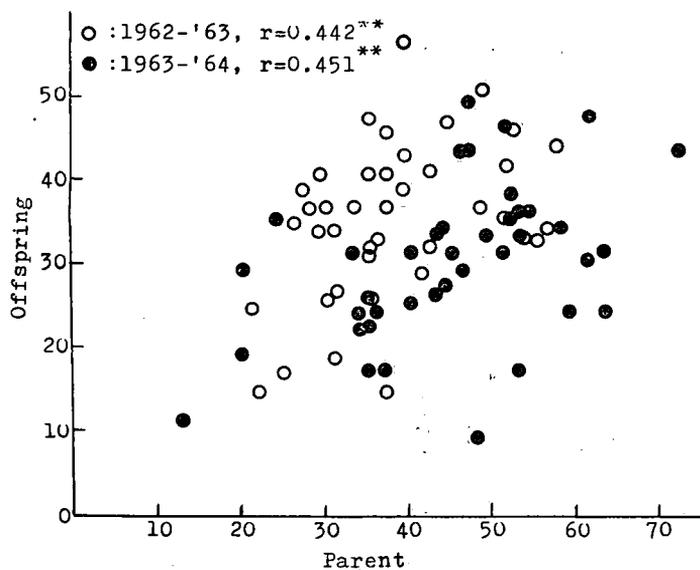


Fig. 2. Parent-offspring correlation on pod setting percent in the autotetraploid inbred lines

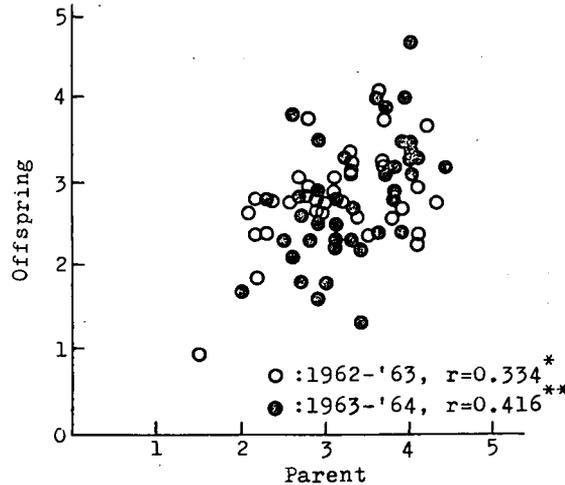


Fig. 3. Parent-offspring correlation of seed number in a pod in the autotetraploid inbred lines

以上の事実は、単一個体から分離育成された 4 倍体系統間にも稔性に著しい差異のあること、その差異が遺伝的素質によって決定されることなどを示すものである。このような遺伝的差異はレンゲの品種が雑ばくなために、4 倍体となってから系統保存中に遺伝子の分離によって、多数の遺伝子型が生じたためと考えられる。また、Fig. 2 および 3 の相関係数を遺伝力とみなすと、その値は有意であるが比較的低く、稔性が遺伝的要因以外に既報¹⁾で指摘したように、環境条件に支配される所が大であることを物語っている。

2. 稔性のヘテロシス効果

(1) 4 倍体自殖系統間雑種の稔性

Table 1 に示した 3 栽培品種および 1 野生系統より育成した 4 倍体固定系統を用いて、交雑して得た 8 組合せの F_1 について稔性を調査し、両親のそれらとともに示すと Table 4 のとおりである。なお、Table 4 では、稔性係数(結莢率 \times 莢当種子数/10)も算出して示しておいた。

同 Table によると、結莢率では F_1 56, 96, 102 および 106 の 4 系統が、莢当種子数では上記以外に F_1 49, 57 および 103 の計 7 系統が、稔性係数では F_1 49, 56, 96, 102, 103 および 106 の計 6 系統が、それぞれ中間親よりも高く、しかもその大部分は高い方の親をも凌駕している。これらの事実は、先にあげた多くの研究者³⁻¹⁴⁾の結果とも一致し、適当な組合せを選べば、雑種による稔性向上効果が期待できる。

(2) 2 倍体自稔系統間雑種 F_1 のコルヒチン処理 4 倍体の次代の稔性

交雑 F_1 にコルヒチン処理して得た 4 倍体の次代について、稔性を調査した結果を、両親系統のそれらとともに図示すると Fig. 4 のとおりである。

Fig. 4 によると、中間親を超えた雑種系統は、どの形質においても極めて稀であり、また正逆交雑間の差異も有意でない。このような結果は前項の Table 4 の場合とは逆に、雑種による稔性の向上効果が期待できないことを意味している。

Kao ら¹⁴⁾は大麦について、4 倍体系統間雑種の稔性を 10 世代に亘り調査した所、後期世代まで両親系統より高稔性を維持し、このような系統では低稔性の系統より異数体が少ないことを見出し

Table 4. Fertility of F₁s between autotraploid inbred lines

F ₁ No.	Combination	F*)	M*)	MP*)	F ¹	Rate*)
Pod setting percent						
F ₁ - 49	P- 6 × P- 1	29.0%	41.3%	35.2%	32.8%	93
F ₁ - 56	P- 6 × P-54	29.0	33.3	31.2	39.9	128
F ₁ - 57	P-14 × P- 1	39.5	41.3	40.4	28.8	71
F ₁ - 72	P-17 × P-46	40.4	34.8	37.6	29.2	77
F ₁ - 96	P-46 × P-45	34.8	44.6	39.7	48.5	122
F ₁ -102	P-47 × P-14	34.3	39.5	36.9	41.5	112
F ₁ -103	P-47 × P-45	34.3	44.6	39.5	34.3	86
F ₁ -106	P-54 × P-14	33.3	39.5	36.4	40.4	110
Number of seeds in apod						
F ₁ - 49	P- 6 × P- 1	1.2	0.7	1.0	1.6	168
F ₁ - 56	P- 6 × P-54	1.2	1.2	1.2	1.9	158
F ₁ - 57	P-14 × P- 1	1.5	0.7	1.1	1.4	127
F ₁ - 72	P-17 × P-46	1.7	1.3	1.5	1.4	93
F ₁ - 96	P-46 × P-45	1.3	1.5	1.4	1.4	100
F ₁ -102	P-47 × P-14	1.8	1.5	1.7	2.0	121
F ₁ -103	P-47 × P-45	1.8	1.5	1.7	1.9	115
F ₁ -106	P-54 × P-14	1.2	1.5	1.4	2.1	155
Coefficient of fertility						
F ₁ - 49	P- 6 × P- 1	34.8	28.9	31.9	52.5	164
F ₁ - 56	P- 6 × P-54	34.8	40.0	37.4	75.8	202
F ₁ - 57	P-14 × P- 1	59.3	28.9	44.1	40.3	91
F ₁ - 72	P-17 × P-46	68.7	45.2	57.0	40.9	71
F ₁ - 96	P-46 × P-45	45.2	66.9	56.1	67.9	121
F ₁ -102	P-47 × P-14	61.7	59.3	60.5	83.0	137
F ₁ -103	P-47 × P-45	61.7	66.9	64.3	65.2	101
F ₁ -106	P-54 × P-14	40.0	59.3	49.6	84.8	171

*) F, M. & MP : Pistilate parent, pollen parent & mid parent, Rate: (F₁/MP)×100

たが、高稔性あるいは低稔性への選抜効果は認められなかったとしている。同氏らはこれらの事実より、雑種の高稔性には選択接合が充分に関与するものであり、単なるヘテロシス効果によるものでないとしている。しかし、逆に雑種子孫の稔性が自殖の反覆とともに低下するとする報告もあり¹⁵⁻¹⁷⁾、とくに Taylor ら¹⁵⁾ は 4 倍体赤クローバーにおいて、1 回の自殖子孫では稀に親と同程度あるいは優る系統もあるが、一般に劣るものが多く、稔性に対する選抜の必要性を強調している。

このように雑種およびその子孫の稔性の高低並びにそれらの原因に対する見解は、従来必ずしも一致していない。したがって、Table 4 と Fig. 4 の実験結果の不一致について、明解な推論を行なうことは困難であるが、筆者¹⁾ の実験結果によると、レンゲの 4 倍体では、高稔性系統と低稔性系統の間で、成熟分裂時の染色体行動に顕著な差異を見出せないことより、染色体の選択接合が稔性に強く関与していることは考えられないので、Table 4 の結果はヘテロシス効果によるものとするのが妥当であろう。しかし、その効果は余り著しくないために、Fig. 4 の結果のように F₂ 相当世代では、自殖によるヘテロ性の減少効果が現われ、雑種系統の稔性が両親系統のそれらを凌駕し得なかったものと考えられる。勿論、組合せ次第では高稔性 F₁ を得ることも可能と考えられる。

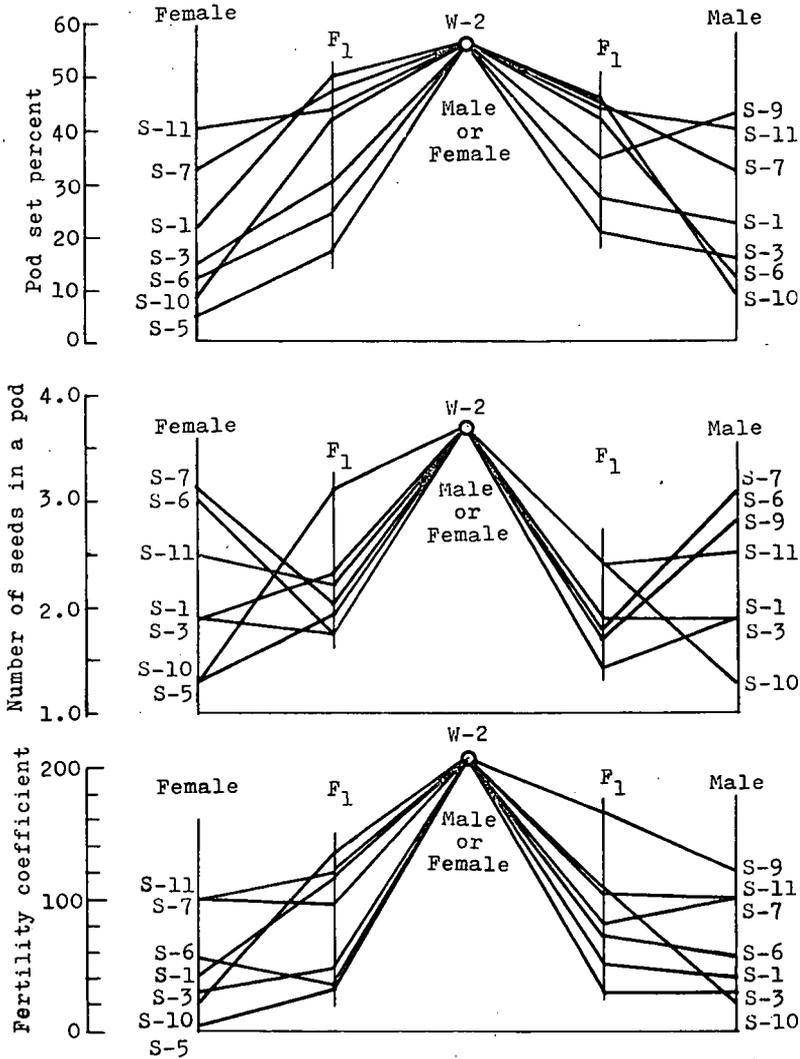


Fig. 4. Fertility of the offspring lines induced from colchicine treated autotetraploid F₁s between the diploid inbred lines

摘 要

レンゲ 4 倍体の低稔性原因としては、花粉の生理的機能の低下が重要であることを明らかにして来たが^{1,2)}、このような生理的機能は遺伝的素質に左右され易いと考えられるので、稔性（結莢率、莢当種子数、稔性係数）の系統間差異、親子相関ならびに雑種 4 倍体系統の稔性などについて検討した結果はつぎのとおりである。

岐阜大晩生種の 1 個体に由来する 4 倍体の 40 自殖系統における稔性の系統間差異は、極めて著しく、統計的にも有意である (Fig. 1, および Table 3)。結莢率についての親個体と子系統平均値の間の親子相関係数は、 $r=0.442^{**}$ (1962—63) および $r=0.451^{**}$ (1963—64)、莢当種子数のそれは、 $r=0.334^*$ (1962—63)、 $r=0.416^{**}$ (1963—1964) であり、それぞれ統計的に有意である (Fig. 2 および 3)。したがって稔性は系統の遺伝的素質によるものと結論できるが、上記相関係

数を遺伝力とみなすと比較的lowく、環境条件の影響も受け易いことを示している。

異なった品種より育成した4倍体自殖系統間雑種 F_1 の稔性は、大部分の組合せで両親系統のそれを凌駕する (Table 4)。しかし、2倍体自殖系統間 F_1 をコルヒチン処理して得た4倍体の次代の稔性は、両親系統より育成した4倍体次代の稔性を超えるものは得られない (Fig. 4)。雑種の高稔性は染色体の選択接合によるものでなく、単なるヘテロシス効果によるものと考えられるので、組合せ次第では高稔性一代雑種を得ることも可能と思われる。

文 献

- 1) 林喜三郎, レンゲ人為同質4倍体における不稔機構の解明に関する研究, 高知大学農学部紀要, 第28号 (1974)
- 2) 林喜三郎, レンゲ同質4倍体における花粉の呼吸, 高知大学研報, 28, 農学, 59-64 (1979)
- 3) 盛永俊太郎, 栗山英雄, 稲の同質4倍体の稔性向上に対する年次経過と雑種の効果 (要旨), 遺種, 21, 81-83 (1941)
- 4) Cau, L. D., Chromosome pairings in some autotetraploid cereals, Rep. Kihara Inst. Biol. Res., 5, 54-57 (1952)
- 5) Morrison, J. W., Chromosome behaviour and fertility of Tetra Peikus rye, Can. J. Agric. Sci., 36, 157-165 (1956)
- 6) Morrison, J. W. & Rajhathy, T., Chromosome behaviour in auto-tetraploid cereals and grasses, Chromosoma, 11, 297-309 (1960)
- 7) Aastveit, K., Variation and selection for seed set tetraploid rye, Hereditas, 60, 294-316 (1968)
- 8) Randolph, L. F., An evolution of induced polyploidy as a method of breeding crop plants, Amer. Nat., 75, 473-65 (1941)
- 9) 永松土己, 亜種間雑種4倍体イネの F_2 , F_3 における二, 三の特性について, 育種, 3, 71-75 (1954)
- 10) 真島勇雄, 内山田博士, 高稔4倍体イネの育成に関する研究, 農技研報告 D, 5, 104-36 (1955)
- 11) Smith, W. B., Fertility studies in autotetraploid barley varieties and their hybrids, Proc. Gen. Soc. Canada 1958, 3, 49-50 (1958)
- 12) Lundqvist, A., Heterosis and inbreeding depression in autotetraploid rye, Hereditas, 56, 317-66 (1966)
- 13) Barcikowska, B. und Laczynska-Hulewicz, T., Bestäubungsverhältnisse und das Pollen der Heterosiszüchtung bei tetraploidem Rotklee, Theor. Appl. Gen., 38, 103-08 (1968)
- 14) Kao, K. N., Reinbergs, E. and Harvey, B. L., Selection for seed setting in hybrid populations of autotetraploid barley, *Hordeum vulgare* L. emend Lam., Crop Sci., 10, 491-93 (1970)
- 15) Taylor, N. L., Johnston, K., Anderson, M. K. and Williams, J. C., Inbreeding and heterosis in red clover, Crop Sci., 10, 522-24 (1970)
- 16) Dewey, D. R., Inbreeding depression in diploid and induced autotetraploid crested wheat-grass, Crop Sci., 9, 502-05 (1969)
- 17) Dennis, B. A., Seed-set and related problems in autotetraploid *Trifolium pratense* L., Thesis for the degree of D. Ph. Univ. Reading 1975

(昭和56年9月8日受理)

(昭和57年1月13日発行)