

人工不妊昆虫の生態に関する研究

VIII. ミカンコミバエ正常雄と ^{137}Cs ガンマー線 による不妊化雄の交尾競争の実験的分析*

清久正夫・佃 律子
(応用昆虫学研究室)

Received June 28, 1974

Studies on the Ecology of Insects Sterilized Artificially (Gamma Radiation)

VIII. Experimental Analysis of the Sexual Competitiveness between Normal Males of the Oriental Fruit Fly and Males sterilized by the ^{137}Cs Gamma Radiation

Masao KIYOKU and Ritsuko TSUKUDA
(Laboratory of Applied Entomology)

Gamma-ray irradiation of 7 KR from ^{137}Cs on the oriental fruit fly pupae two days before emerging did not significantly reduce the percentage of emergence and longevity of adult flies. However, highly sterile adults (more than 98.9%) were found in those combinations, $\text{S}\hat{\delta} \times \text{N}\hat{\delta}$, $\text{N}\hat{\delta} \times \text{S}\hat{\delta}$ and $\text{S}\hat{\delta} \times \text{S}\hat{\delta}$. The result of observation of sperm activity in spermathecae of females mated with sterilized males showed that the sterility is caused by dominant lethalties.

The sexual competitiveness between $\text{S}\hat{\delta}$ and $\text{N}\hat{\delta}$ has been examined in experiments of $\text{S}\hat{\delta} \times \text{N}\hat{\delta} \times \text{N}\hat{\delta}$. (1) The data suggest that the sterility percentage concerning with egg hatchability is proportional to the rate of sterilized males replaced for normal males when that is expressed with a multiple of the ratio of normal males to normal females. Seven such straight lines thus obtained made us possible to find the theoretical expectation of sterility percentage. (2) Relationship between the percent egg hatch observed (y), or that estimated theoretically (Y), and logarithm of ratio, $\text{S}\hat{\delta}/\text{N}\hat{\delta}$ (x) was showed to be two straight regression equations, $y = 18.413 - 11.952(x - 1.295)$ and $Y = 11.890 - 15.462(x - 1.295)$. Ratio of regression coefficients of the equations was 0.772. (3) Correlations between the sterility percentage and ratio, $\text{S}\hat{\delta}/\text{N}\hat{\delta}$, showed in three convex curves under three degrees of competitiveness (0.265, 0.576 and 1.001). When both the values of $\text{S}\hat{\delta}/\text{N}\hat{\delta}$ in the mating experiments and the sterility percentages are given, it is possible to obtain degrees of competitiveness using the curves.

緒 言

不妊処理法 (Sterile male technique) において導入したガンマー線による不妊化雄が正常な寿命を保ち、正常に活動して盛んに交尾することが、不妊効果をも高めるために必要であるから不妊化雄の放飼実験に先だちその生態を調べるとともに、実験的にそれらを正常雄・雌と共存させ正常雌の産卵や孵化率を調査する研究——コンペティティブネスの実験的基礎研究が重

* 昭和47年度文部省科学研究費によった。昭和49年度日本応用動物昆虫学会第18回大会で発表した。

要である。

ミカンコミバエでは、 ^{137}Cs ガンマー線 8 KR を羽化 2 日前の雄蛹へ照射すると完全不妊が得られたが、成虫の寿命がやや短かった。15~20 倍の 8 KR 不妊化雄を正常雄・雌と共存させると比較的高い不妊が認められた(清久・佃, 1974 a)。しかし不妊化雄の割合が比較的少ない組織的な組合せ実験において組合せの違いによる不妊率の変化を数量的に検討する方が不妊処理法の基礎資料としては重要であろう。また各種組合せより得られる不妊率を相互に比較するには雌の数を一定としたほうが遺伝学的には比較が便利であるとともに、その実験に適したハエ密度を選ぶことが生態学的立場から必要であるから、今回は所定飼育箱当たりハエ密度を 120 個(雌+雄)、不妊化雄を 3 倍以下、正常雌の密度は実験群ごとに一定とした。そのような条件の下で不妊率(または孵化率)と不妊化雄の正常雌に対する比率との関係およびそれらと不妊化雄の正常雄に対する比率との関係を検討することによって不妊化雄と正常雄のコンペティティブネスを数量的に解析する研究を企てた。

材 料 と 方 法

実験に供したミカンコミバエは、奄美大島から 1972 年 11 月に移入した蛹がその先祖で 1973 年 5 月の第 6 世代より 12 月の第 13 世代の間に厳重な管理の下で累代飼育(植物防疫法 16 の 3 の 1, 清久・佃, 1974 b)して得た個体である。その飼育法や条件、ガンマー線照射法、実験法や器具類は前報と同様であるので省略するが、不妊化雄の組合せ実験に関して若干説明する。

前報においては 4, 6 および 8 KR のガンマー線の線量が用いられたが、今回は 6~8 KR の中間 7 KR であった。コンペティティブネスの実験に用いた箱は前報と同様 30 × 30 × 30 cm, 志賀製ハエ飼育箱であるが、不妊化雄:正常雄:正常雌は、第 1 実験群では全体の雄と雌の比が 1:1 (60:60) で総数 120 個一定、うち雌は 60 個一定で、不妊化雄:正常雄:正常雌が 50:10:60 と、その他に不妊化雄が 10 個ずつ少なく正常雄が 10 個ずつ多い組合せ 4 組。第 2 実験群では全体の雄と雌の比が 2:1 (80:40) で総数は 120 個一定うち雌は 40 個一定で、70:10:40 とその他に上記と同様不妊化雄、正常雄がそれぞれ 10 個ずつ増減する組合せ 3 組。第 3 実験群は全体の雄と雌の比が 3:1 (90:30) で総数 120 個一定、うち雌は 30 個一定で、80:10:30 とその他に不妊化雄と正常雄が同様にそれぞれ 10 個ずつ増減した組合せ 2 組および各実験群ごとの対照区 2 組ずつであって、繰返しはそれぞれ 3 回であった。本文中において不妊化雄の割合を必要に応じてその組合せの雌に対する分数または仮分数であらわすか、正常雄に対する整数または小数であらわした。記号は蛹へ 7 KR 照射して羽化した成虫を S ♂, 照射しなかった雌を N ♀とした。不妊判定のためには実験で得た孵化率か、必要に応じては孵化率から次式で算出した不妊率(S)を用いた。

$$S = \frac{H_n - H_{sn}}{H_n} \times 100$$

H_n は正常雄のみ、 H_{sn} は不妊化雄と正常雄を所定比率で正常雌へ組み合わせたときの孵化率である。

結 果

1. 予備実験、羽化 2 日前に ^{137}Cs ガンマー線 7 KR を照射した蛹の羽化率、成虫の不妊性とその生存百分率

羽化率を調査した結果を第1表に示す。

Table 1. Percentages of emergence from pupae treated with the ¹³⁷Cs gamma radiation

No. experiments	Dose (KR)	7	0
	1		92.35
2		88.65	87.57
3		77.46	89.51
4		78.88	93.89
5		85.71	86.27
Mean		84.61 ± 6.35	89.70 ± 2.69 ^{a)}

a) not significantly different at the 5% level by the t-test.

第1表の7 KRの羽化率平均値84.61 ± 6.35%は対照区89.70 ± 2.69%より低い、統計的検定の結果その差は有意でなかった。羽化した成虫10対ずつでS♂ × N♀、N♂ × S♀およびS♂ × S♀を3組ずつ作り交配後約10日目より5日間隔で7回産卵数とその孵化率を調べた。S♂ × N♀は第2表にみられるようにわずかの孵化率がみられその平均孵化率は0.358%で、これを換算した不妊率は98.9%となった。前報では8 KRで不妊が完全、6 KRでは不完全であったがその中間の7 KRではいまだ完全不妊は望めなかった。しかし98%以上という高い不妊率が期待された。

Table 2. Number and percentage of hatching of the eggs laid by the oriental fruit fly (S) from pupae sterilized and crossed with normal fly (N) of the opposite sex

Mating	No. observations No. exp.	1		2		3		4		5		6		7		Mean hatch %
		No. eggs	Hatch %	No. eggs	Hatch %	No. eggs	Hatch %	No. eggs	Hatch %	No. eggs	Hatch %	No. eggs	Hatch %	No. eggs	Hatch %	
S♂ × N♀	3	183.3	0.76	233.3	0.16	300.0	0.83	140.0	0.66	43.3	0	24.6	0	60.0	0	0.358
N♂ × S♀	3	1.0	0	3.0	0	6.6	1.66	6.6	0.33	6.6	0	1.6	0	0	—	0.284
S♂ × S♀	3	0	—	3.6	0	5.6	0	5.6	0	11.3	0	0	—	0	—	0

これらの雄および正常雌成虫を解剖すると精巢の外形は正常と大差ないように見え、リンゲル液中へおし出した精子も、交尾した正常雌の受精嚢内の精子も正常とほとんどかわりなく活動するのが認められた。よって不妊化雄の不妊はおもに優性致死変異に帰因するであろうことが推察される。これに対してN♂ × S♀とS♂ × S♀からはほとんど産卵がなく、まれに産卵したときもその孵化率はすべて0であった(表は省略)。これ

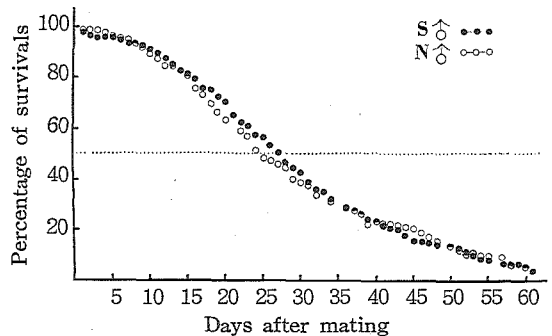


Fig. 1. Comparison between the survival curve of sterilized males (S♂) and that of normal ones (N♂)

らの雌成虫を解剖すると観察した卵巣の大部分は前報の8KR照射の場合と同様にその發育は不良で完全な卵形成がほとんどみられなかった。次に7KR照射の不妊化雄成虫の生存百分率曲線を作り、正常雄のそれとを第1図において比較すると、2つの生存百分率曲線はきわめて接近しているから不妊化雄の寿命が正常雄よりとくに短いとはいえないことがわかる。

2. 7KR-不妊化雄と正常雄の交尾競争に関する実験

この実験は正常雄・雌のうち雄の一部を所定の比率で不妊化雄と置きかえたもので、すでに述べたように3つの実験群よりなる。それぞれの組を、置きかえた不妊化雄の雌に対する比の分数または仮分数であらわすと、第1実験群は0, $\frac{1}{6}$ (10), $\frac{2}{6}$ (20), $\frac{3}{6}$ (30), $\frac{4}{6}$ (40), $\frac{5}{6}$ (50), 1 (60)で全体の雄:雌は1:1 (60:60)。第2実験群は0, 1 (40), $1\frac{1}{4}$ (50), $1\frac{2}{4}$ (60), $1\frac{3}{4}$ (70), 2 (80)で全体の雄:雌は2:1 (80:40)。第3実験群は0, 2 (60), $2\frac{1}{3}$ (70), $2\frac{2}{3}$ (80), 3 (90)で全体の雄:雌は3:1 (90:30)である(括弧内の数字は個体数)。孵化率は予備実験の場合と同様交配後約10日目より5日間隔で7回行ない、同じ実験を3回繰り返す、その結果を第3表にまとめた。

Table 3. Percentage of hatching of the eggs laid by normal females (N♀) which were exposed to sterilized (S♂) and normal males (N♂) in the mating cage

♂:♀	S♂/N♀	No. exp.	The number of observation at intervals of 5 days							
			1	2	3	4	5	6	7	Mean
1:1	0/6	3	43.50	47.60	38.50	31.83	27.83	22.17	19.50	33.01
	1/6	3	32.50	38.33	32.66	27.66	27.66	23.66	16.50	28.42
	2/6	3	27.50	28.83	38.66	27.33	26.33	13.83	10.16	24.66
	3/6	3	22.00	25.33	28.33	32.00	23.50	22.33	24.00	25.35
	4/6	3	20.33	28.33	28.00	17.83	21.00	14.83	13.53	20.55
	5/6	3	4.30	10.17	14.00	9.00	7.33	11.50	9.67	9.84
	1	3	1.00	0.50	0	0.50	0	0	0.50	0.357
2:1	0/4	3	40.50	43.50	51.33	29.50	29.50	21.82	10.50	32.37
	1	3	25.16	33.00	39.16	30.66	24.66	22.83	12.00	26.78
	5/4	3	11.16	22.33	25.66	24.33	25.33	11.00	10.50	18.61
	6/4	3	15.66	27.00	22.83	27.16	17.83	10.33	8.16	18.42
	7/4	3	8.83	13.33	14.66	12.33	16.50	12.50	5.66	11.97
	2	3	1.50	0	0.50	0	0	0	0	0.285
3:1	0/3	3	44.33	38.33	42.00	28.83	23.83	25.33	11.33	31.99
	2	3	23.50	19.76	20.53	20.16	13.50	10.50	11.50	17.10
	7/3	3	18.00	23.33	17.16	22.66	14.00	9.83	12.00	16.71
	8/3	3	14.16	11.00	11.66	10.50	13.33	8.33	5.33	10.61
	3	3	1.50	0	0	0	0	0	0	0.214

第3表によれば、3実験群とも置きかえた不妊化雄の比率が増加すると孵化率が大体低下しているが、この関係を明らかにするため実験区ごとに不妊化雄の比率を横軸に、7回の平均孵化率を縦軸にとってプロットし第2図にみられるような相交わる2本の直線を得た。これによって孵化率は不妊化雄の雌に対する比率の増加に対しては直線的に減少し、一定の比率を越

えるとその減少度が増加することがわかる。なお孵化率の減少度の転移点の不妊化雄の比率とその点の孵化率を調べてみると、第1実験群では $\frac{4}{6}$ で20%、第2では $1\frac{2.3}{4}$ で17%、第3では $2\frac{1.3}{3}$ で15%であった。各実験群において不妊化雄の比率が増加すれば孵化率が低下することは当然であろうが、第2図の3つの実験群の直線を相互に比較してみると第3 (3:1) または第2実験群 (2:1) の不妊化雄の比率は第1実験群 (1:1) より高いにもかかわらずそれらの孵化率はそれほど低くはなかった。不妊化雄の比率が高いとそれらが相互に干渉し合い雌との交尾がかえって少なくなるためかも知れない。

雌の数が異なった3つの実験群の孵化率を一括し比較するのは厳密に言えば適切ではないが、この場合は便宜的に一括処理してみよう。正常雄・雌のうちの雄の一部を不妊化雄に置きかえる際、取り除く正常雄の雌に対する比を百分率であらわし、それらが17, 33, 50, 66, 83, 90, 95%の水準ごとに、正常雄のかわりに置きかえる不妊化雄を上記百分率の倍数値であらわし、それらを横軸に孵化率より算出した不妊率 (S) を縦軸にとり、倍数値と不妊率との関係を第3図に示した。その結果第3図が示すようにどの百分率水準においても両者の関係がそれぞれ1本の直線で示された。第3図の直線群によって正常雄を何パーセント除きそのかわりにその何倍の7KR-不妊化雄に置きかえるとその組合せから何パーセントの不妊率が期待されるかがわかる。例えば正常雄50%のかわりにその5倍の不妊化雄を用いると期待不妊率は59.3%。また正常雄90%のかわりにその3.2倍の不妊化雄を用いたときは期待不妊率が90.3%となるなどである (ただし第3図の点線の部分は条件が変わると変化するかも知れない)。

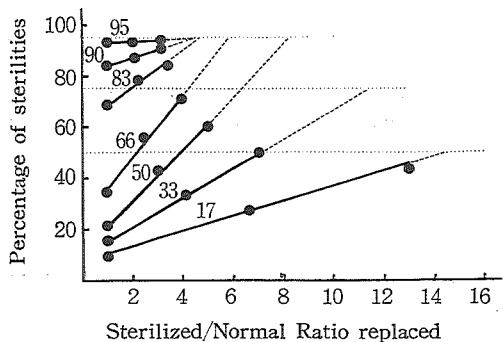


Fig. 3. Relation between the percentage in sterilities and sterilized/normal ratio replaced. Numbers in the figure indicate the percentage of normal males replaced by sterilized males

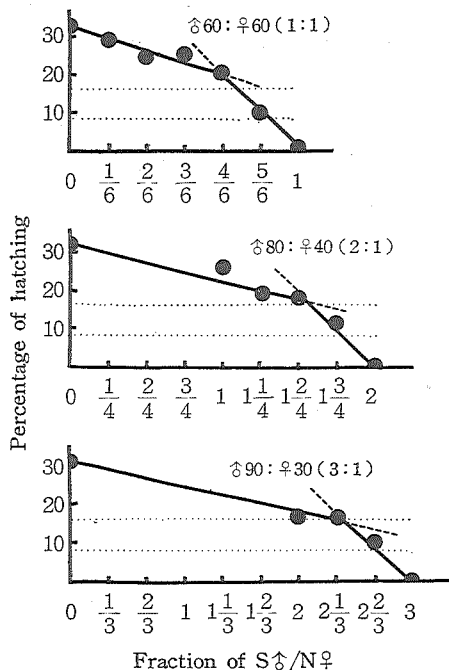


Fig. 2. Relation between the percentage of hatching and fraction of S♂/N♀ in the mating, S♂ × N♂ × N♀

考 察

不妊化雄と正常雄の比と正常雌の卵の孵化率との関係およびコンペティブネスの指標について

近年外国においていろいろの割合の S♂ × N♂ × N♀ における S♂ と N♂ の比 (S/N) の

下で、S♂とN♂のコンペティブネスの程度をあらわす指標(C)を算出し両者の交尾競争を数量的に検討する研究がみられる(FRIED, 1971, HAISH, 1970).

本研究においては先ずS/Nと孵化率との関係から論議する. そのため孵化率は本実験から得た実験値(Y)とそれぞれの組合せから期待される推定値(理論値Y)の2種が用いられた. 推定値は次式で算出した.

$$Y = \left[H_n \times \frac{N}{N_{n+s}} \right] + \left[H_s \times \frac{S}{N_{n+s}} \right]$$

H_n , H_s はそれぞれ正常雄または不妊化雄と交尾した雌から得られた孵化率, N , S , N_{n+s} は正常雄, 不妊化雄および全体の個体数である.

S/Nを横軸に孵化率を縦軸にとってプロットすれば第4上図のような下方へ彎曲する2つの曲線が得られた. 実験値(Y)による曲線は推定値(Y)による曲線よりかなり離れてみえる. いまS/Nの値を対数転換(x)すると第4下図にみられるようにYまたはYとxとの間に直線が予想される. 計算によって回帰直線式と相関係数(r)を求め, それぞれ統計的検定を行えば次の2式とrが得られ高度に有意であった.

$$Y = 18.413 - 11.952(x - 1.295),$$

$$r = -0.943^{**}$$

$$Y = 11.890 - 15.462(x - 1.295),$$

$$r = -0.994^{**}$$

上記回帰式の回帰係数の比(R)を算出すると,

$$R = 0.772$$

となった. よってこの組合せ実験における不妊化雄の不妊効率率は推定値の約7割であるから全体的にはあまり効率がわるくないことがわかる.

次にFRIEDやHAISHのように組合わせごとにコンペティブネスのCを算出して個々に交尾競争を検討してみよう.

FRIEDの方式を書き直してみると,

$$C = \frac{H_n - H_{sn}}{H_{sn} - H_s} \times \frac{N}{S}$$

これに対してHAISHのそれを書き直してみると,

$$C = H_n - H_{sn} / \frac{S}{N} (H_{sn} - H_s)$$

となるから結局はおなじ方式である. これらに準じて計算して得たC, S/Nと不妊率を一覧表として第4表にまとめた.

第4表をみると, 性比やS/Nの違いによってCの値はかなり変動し, S/Nとの間には規

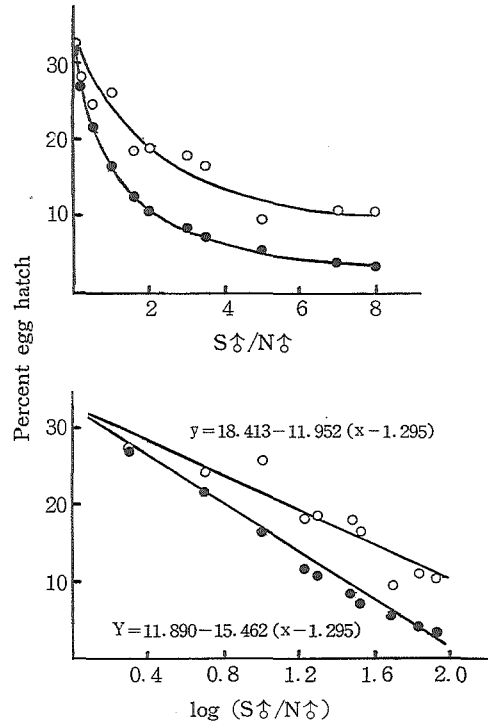


Fig. 4. Relations between the percent egg hatch and ratio of S♂ to N♂ (above) or log [S♂/N♂] (below). Black circle indicates the theoretical percentage, and open circle the experimental one

則的な関係がないようにみえる。そこで性比ごとに平均値を求めると、1:1において0.521、2:1で0.292、3:1で0.320となって、1:1では2:1や3:1よりもむしろ高い値が示された。

Table 4. Ratio of S♂/N♂, sterility and competitiveness of the mating S♂×N♂×S♀

♂:♀	S♂:N♂:N♀	S♂/N♂	Sterility (%)	Competitiveness	Mean
1:1	10:50:60	0.20	13.93	0.815	0.521
	20:40:60	0.50	29.29	0.686	
	30:30:60	1.00	21.68	0.306	
	40:20:60	2.00	36.51	0.308	
	50:10:60	5.00	70.19	0.489	
2:1	40:40:40	1.00	17.26	0.211	0.292
	50:30:40	1.66	42.51	0.452	
	60:20:40	3.00	43.09	0.256	
	70:10:40	7.00	63.02	0.252	
3:1	60:30:30	2.00	46.54	0.441	0.320
	70:20:30	3.50	48.37	0.264	
	80:10:30	8.00	67.22	0.257	

指標CごとのS/Nと不妊率との関係図の作成について

第4表のCを、それぞれが0.211~0.308の値をとるもの7個(平均値0.265)と0.441~0.815のもの5個(平均値0.576)および孵化率推定値(H_e)からコンペティティブネスの推定指標 C_e を式、

$$C_e = \frac{H_n - H_e}{H_e - H_s} \times \frac{N}{S}$$

によって算出し、 C_e の平均値1.001に属する10個とに分け、平均値0.265、0.576、1.001ごとにS/Nを横軸に不妊率を縦軸にとってプロットすれば第5図のように3本のS/N-不妊率曲線が作成された。これらの曲線からコンペティティブネスCの値の違いによって同等のS/Nの下で得られる不妊率の差を知ることができる。また与えられたS/Nにおける不妊率を知ることによってコンペティティブネスの程度を検索することができる。

摘 要

羽化2日前の蛹へ ^{137}Cs ガンマー線7KRを照射すると、それより発育した

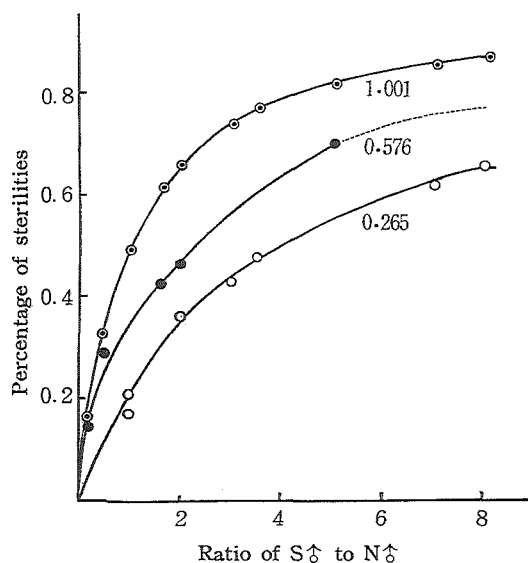


Fig. 5. Relation between the ratio of S♂ to N♂ and percentage of sterilities under three degrees of competitiveness

成虫の羽化率と寿命はそれぞれ正常と大差なく、雄蛹への照射では完全不妊ではなかったが98.9%以上の不妊率が得られた。それらの不妊原因は、不妊化雄と交尾した雌の受精嚢内の精子が活動していたことからおもに優性致死変異に帰因することが推察された。

実験室において不妊化雄(S♂)と正常雄(N♂)を雌(N♀)に対しいろいろの割合で組み合わせそれぞれから得た孵化率を調べた。(1)不妊化雄の雌に対する比(S♂/N♀)が増加すれば孵化率は直線的に低下し一定の比率を越えるとその低下が急激になる。(2)孵化率を換算した不妊率は不妊化雄に置きかえるため正常雄・雌の雄の一部を取り除いたものの雌に対する比(N♂/N♀)の倍数(これは置きかえた不妊化雄の比S♂/N♀に相当する)に対して、取り除いた正常雄の比(N♂/N♀)の百分率水準ごとにそれぞれ一直線の関係を示す。よってそれらの直線群から何パーセントの正常雄のかわりにその何倍の不妊化雄を用いるとその組合せにおいて何パーセントの不妊率が予期されるかがわかる。(3)不妊化雄の正常雄に対する比率の対数値(x)と孵化率実験値(y)との関係は、 $y = 18.413 - 11.952(x - 1.295)$ 、孵化率推定値(Y)との関係は、 $Y = 11.890 - 15.462(x - 1.295)$ の回帰直線式を示し、2つの式回帰係数の比(R)は0.772となったので、組合せにおける不妊化雄の不妊化の効率が評価された。(4)所定の方式によって不妊化雄と正常雄のコンペティブネスの程度をあらわす指標Cを算出し、その値の3つの平均値水準、0.265, 0.576, 1.001における正常雄に対する不妊化雄の比(S♂/N♂)と不妊率との関係を3つの曲線で示した。この曲線は与えられたS♂/N♂における不妊率がわかっておればその組合せにおける不妊化雄と正常雄の交尾競争の程度を予期するのに役立つものである。

文 献

- 1) FRIED, M.: J. Econ. Ent. 64 (4), 869—872 (1971).
- 2) HAISH, A.: I. Atom. Ener. Age. Vienna (1970).
- 3) 清久正夫・佃 律子: 岡山大農学報 (43), 1—9 (1974 a).
- 4) 清久正夫・佃 律子: 応・動・昆中国支会報 (16), 1—5 (1974 b).