

不妊虫放飼法によるゾウムシ類の根絶(5) 不完全不妊虫の利用—理論的アプローチ—

農林水産省農業研究センター ^{すず}鈴 ^き木 ^{よし}芳 ^と人
農林水産省中国農業試験場 ^{みや}宮 ^い井 ^{しゅん}俊 ^{いち}一

はじめに

化学不妊剤や放射線照射によって不妊化した虫を放飼して害虫の根絶を達成するためには、十分な性的競争力をもつ不妊雄の生産技術の確立が必要条件の一つとされる(KNIPLING, 1979)。しかし、性的競争力を損なわずに高い不妊化率を実現する不妊化技術の開発はミバエ類を除けば非常に困難であり、とりわけゾウムシ類では不妊化率を高めれば性的競争力が顕著に低下することが知られている。

鹿児島県喜界島ではコバルト 60 の γ 線を照射した不妊虫を用いて、アリモドキゾウムシ根絶実証事業が 1994 年に開始された。事業開始当初は両性の完全不妊化が可能な最少線量である 80 Gy を羽化直前の蛹に照射した虫が使われていたが、野生虫の密度低減効果は思わしくなかった。そこで不妊化率は 100% でなくても、性的競争力がより優れた不完全不妊虫放飼に切り替える計画が、鹿児島県の事業関係者の間で検討されはじめた。放飼可能な不妊虫数に限りがあり、性的競争力と不妊化率の間にトレードオフの関係がある場合に、どのような虫質の不妊虫を放飼すべきだろうか。本稿では喜界島における事業の一助となるよう、簡単なモデルを用いて不完全不妊虫の放飼条件を検討した結果を解説する。

I 基本モデル

不妊虫放飼を行う地域内で発生する野生雄数を M 、野生雌数を F とし、放飼する不妊雄数を m 、不妊雌数を f とする。不妊虫は雌雄ともに未交尾と仮定する。このとき、不妊虫放飼による密度低減効果の評価基準となる、健全な受精卵を産む雌数を、放飼が行われない場合の野生雌数に換算すれば次式で表せる：

$$(F + fq)(cmp + M) / (cm + M) \quad (1)$$

ここで c は不妊雄の包括的な性的競争力を表し、ア

リモドキゾウムシのように精子の優性致死突然変異を用いるケースで後代遺伝を無視できる場合には、野生雄 1 頭の生涯受精卵数に対する放飼雄 1 頭の生涯受精卵数の比となる。包括的な性的競争力 (c) はいくつかの要素に分解でき、例えば野生雄と比較した不妊雄の単位時間当たり相対交尾頻度、相対寿命、精子の相対競争力の積と表せる。 c の値は不妊雄の行動能力や寿命などの虫質ばかりでなく、時間的・空間的な放飼方法に依存し、野生虫の発生との非同調性が増すにつれて低下する。 p は不妊雄の妊性率で、受精に与る不妊雄の精子のうち不妊化されない精子の割合を示す。 q は不妊雌の妊性率であり、野生雌 1 頭が産む健全卵子数に対する不妊雌 1 頭が産む健全卵子数の比である。

野生雄数に比べて放飼雄数が十分大きい状態 ($m \gg M$) では、(1) 式は $(F + qf)p$ で近似され、放飼雄の性的競争力 (c) に依存しなくなる。したがって、根絶間際には性的競争力にかかわらず完全不妊虫を放飼すべきことがわかる。また、両性の不妊虫を放飼する場合に雌雄の妊性率が等しいならば、不完全不妊虫を活用できる条件は著しく限定される(鈴木・宮井, 1997)。しかし、 γ 線による不妊化ではアリモドキゾウムシを含め雄より雌が不妊化されやすいことが知られており、不妊虫放飼の初期段階では、 c と p のかねあいしだいで不完全不妊虫を用いたほうが高い効果を期待できる m/M 比の領域が存在する。

II アリモドキゾウムシにおける不完全不妊虫の活用

放飼頭数一定の条件下で最大の放飼効果をあげるためには、(1) 式の値が最少になるように照射する発育段階や照射線量、放飼方法などを調節することが理想的であるが、野外における野生虫密度 (M, F) や不妊虫の包括的な性的競争力 (c) を測定することは原理上あるいはコスト面から困難なケースが多い。幸いアリモドキゾウムシでは合成性フェロモンを誘引剤とするトラップが開発されており、放飼虫は蛍光色素によってマークされているので、野生雄に対する放飼雄の密度比 (W/S 比) を非マーク雄数に対するマーク雄数の比 (M/U 比) を指

Eradication of Weevils by Sterile-insect Release Method
(5) Making Use of Partially Sterilized Insects. By Yoshito
SUZUKI and Shun'ichi MIYAI

(キーワード：不完全不妊虫, アリモドキゾウムシ, 性的競争力, 妊性率)

標としてモニターすることができる。このM/U比と室内あるいは野外ケージ内で測定されたパラメータを使って、アリモドキゾウムシについて不完全不妊虫を活用すべき条件を具体的に検討する。

1 計算の前提条件

アリモドキゾウムシ雌成虫の寿命は発育期間に比べて長いので、冬期を除けば世代が大幅に重複する。また、喜界島では不妊虫の放飼が1週間間隔で連続的に行われている。そこで、野生虫と放飼虫の齢構成はほぼ一定であると仮定する。さらに野生虫の羽化性比と放飼する不妊虫の性比はともに1対1で、放飼時点における不妊虫は雌雄ともに未交尾とし、放飼後すみやかに野生虫と十分混じり合うと仮定する。

2 判定基準

性フェロモントラップで得られるM/U比は、放飼虫のマーク脱落や野生虫へのマーク付着が無視できる場合でもW/S比そのものではなく、自然条件下において性フェロモン源に到達できる移動能力(雌発見能力)で重みづけされた放飼雄と野生雄の存在比である。そこで、計算に用いる記号を改めて以下の通り定義する：

M：雌発見能力を加味した野生雄の存在個体数

F：野生未交尾雌の存在個体数

m：雌発見能力を加味した放飼雄の存在個体数

f：放飼未交尾雌の存在個体数

p：不完全不妊雄の妊性率

q：不完全不妊雌の妊性率

c：放飼雄の性的競争力

放飼雄の性的競争力(c)は雌の近傍に達した放飼雄1頭が受精させる卵子数を野生雄1頭のそれで除した値(交尾競争力と精子間競争力の積)である。

羽化直前の蛹期の照射線量別に測定した室内における成虫の寿命と妊性率のデータに基づいて、80 Gy照射した完全不妊虫にかわって放飼する不完全不妊虫の候補として検討されたのは50 Gy照射虫である。そこで完全不妊虫と不完全不妊虫のパラメータを、記号にそれぞれ80, 50の添え字をつけて区別する。

以上より、不完全不妊虫(50 Gy照射)放飼が完全不妊虫(80 Gy照射)放飼に優る条件は次式で与えられる：

$$(F + f_{50q})(c_{50}m_{50}p + M)/(c_{50}m_{50} + M) - FM/(c_{80}m_{80} + M) < 0 \quad (2)$$

(2)式を展開して整理し、 $m_{80}/M = R_{80}$ 、 $m_{50}/M = aR_{80}$ (aは定数)、 $f_{50q}/F = r$ で置き換えると、

$$c_{50}c_{80}ap(1+r)R_{80}^2 + \{(c_{50}ap + c_{80})(1+r) - c_{50}a\} \times R_{80} + r < 0 \quad (3)$$

を得る。(3)式の R_{80} はフェロモントラップで得られるM/U比で、 c_{50} と c_{80} はケージ内実験に基づいてFRIED(1971)の式で計算される競争係数で置き換えることができる。アリモドキゾウムシについては c_{50} の値が雄の密度あるいは放飼雄と野生雄の構成比によって一貫した影響を受けないことが明らかにされている(山口・鈴木, 1999)。pとqも室内実験で容易に測定可能である。

残る二つのパラメータについてはこう考える。存在個体数は単位時間当たり加入数と平均寿命の積となるので、仮に雄の雌発見能力が照射線量の影響を受けないとすれば、 $a = m_{50}/m_{80} = (50 \text{ Gy 照射雄の寿命}) / (80 \text{ Gy 照射雄の寿命})$ となる。同様に、 $F = M / (\text{野生雄の寿命}) \times (\text{単位時間に占める雌の交尾受け入れ期間の割合})$ 、 $f_{50} = am_{80} / (50 \text{ Gy 照射雄の寿命}) \times (\text{単位時間に占める雌の交尾受け入れ期間の割合})$ より、 $(\text{野生雄の寿命}) / (50 \text{ Gy 照射雄の寿命})$ をbとすれば、 $r = f_{50}q / F = abqR_{80}$ となる。野外における野生雄と不妊雄の寿命はケージ内で測定した値で代用する。雄の雌発見能力が照射線量の増加につれて低下するならば、上記の方法で計算されるa, bはともに過小推定値となる。rを $abqR_{80}$ で置き換えると、(3)式はさらに次式に変形できる：

$$c_{50}c_{80}a^2bpqR_{80}^2 + (c_{50}c_{80}ap + c_{50}a^2bpq + c_{80}abq)R_{80} + c_{50}a(p-1) + c_{80} + abq < 0 \quad (4)$$

この2次不等式の R_{80}^2 の係数、 R_{80} の係数、定数項をそれぞれA, B, Cと置けば、不完全不妊虫放飼が完全不妊虫放飼に優る条件は、

$$B^2 - 4AC > 0,$$

$$\text{かつ } 0 < R_{80} < \{-B + (B^2 - 4AC)^{0.5}\} / 2A \quad (5)$$

を満足する R_{80} の領域である。

3 放飼虫切り替え条件

不等式(5)の計算には、室内で測定された値を参考にして次の値を用いた： $c_{50} = 0.6$ 、 $c_{80} = 0.3$ 、 $a = 1.5$ 、 $b = 3.5$ 、 $p = 0.01$ 、 $q = 0.002$ 。その結果、 R_{80} の値、すなわち80 Gy照射虫の放飼下で観察されるM/U比の値が0~148の範囲内であれば、不完全不妊虫(50 Gy照射虫)の放飼に切り替えた方が完全不妊虫(80 Gy照射虫)放飼を続けるよりも効果が高いことが示された。ただし、計算に用いた数値の信頼度は高いとはいえず、とりわけcの値はほぼ同一の条件下で得られた値であっても実験を実施した時期によって変動することが明らかになっている。その原因の一つとして、アリモドキゾウムシの大量増殖が生イモに依存しているために、餌条件によって発育速度が変わりγ線照射が虫質に及ぼす影響に差を生じた可能性が考えられる。

表-1 各パラメータ値を基準値から30%増減した場合の、50 Gy 照射虫放飼から80 Gy 照射虫放飼に切り替えるM/U比の値 パラメータの説明と基準値については本文参照

基準値から の変化量	数値を変更するパラメータ					
	C_{80}	C_{50}	p	q	a	b
30%減	325	158	261	265	135	265
30%増	157	260	180	192	296	192

喜界島では1996年から50 Gy 照射虫放飼に切り替えられた。以後野生虫の減少傾向が顕著になり、1998年には野生虫密度は当初の約1%に、M/U比は100前後に上昇した。不完全不妊虫の放飼下でモニターされるM/U比によって完全不妊虫放飼に切り替える条件を知るためには、(4)式の R_{80} を R_{50}/a に置き換え、不等号の向きを逆にして得られる R_{50} の2次不等式、

$$C_{50}C_{80}bpqR_{50}^2 + (C_{50}C_{80}p + C_{50}abpq + C_{80}bq) \times R_{50} + C_{50}a(p-1) + C_{80} + abq > 0 \quad (6)$$

を満たす R_{50} の領域を調べる。先と同じパラメータの推定値を使った計算結果から、50 Gy 照射虫放飼下でM/U比が222以上になれば、80 Gy 照射虫の放飼に切り替えるべきであることが示された。

表-1は上記の計算に用いたパラメータの推定値を基準値として、一つのパラメータ値だけを30%増加あるいは減少させた場合に80 Gy 照射虫放飼にきりかえるM/U比(R_{50})がどう変化するかを計算した結果である。この表から明らかなように、パラメータの推定値に多少の誤差があっても、M/U比が少なくとも135以上という高い値になるまで不完全不妊虫を放飼すべきであると示唆される。また表-1から、放飼虫の切り替えを行う R_{50} 値に対する感度が相対的に高いパラメータは C_{80} 、 C_{50} 、 a であることがわかる。

おわりに

害虫の根絶を目的とする不妊虫放飼では、完全不妊と

までいなくても妊性率が著しく低い不妊虫を使う必要があると思われるがちである。しかし、W/S比がまだ低い不妊虫放飼の初期段階では、密度抑圧にとって重要な放飼雄の虫質は妊性率よりも性的競争力である。本稿では照射線量別の虫質データがまだ限られていることもあって、50 Gy 照射虫と80 Gy 照射虫の放飼効果の優劣だけを比較したが、W/S比次第では50 Gyより照射線量の少ない不妊虫を用いた方が放飼効果が優る可能性は十分考えられる。予備的に行ったシミュレーションによって、野外でモニターされるM/U比が高まるにつれて段階的に照射線量の高い不妊虫に切り替えるのが最適であるという結果が得られている(鈴木, 未発表)。放飼虫に含まれる雌の割合を減らすことができれば、妊性率は比較的高くても性的競争力に優る虫を活用できる条件は一層拡大し、密度低減効果を高めることが可能となるであろう。その方策として、沖縄県では性フェロモンを使って放飼前に雌を除去する方法が実施されている。両性を放飼する場合でも、放飼前に不妊虫同士で交尾させてから放飼すれば、雌除去と同等の効果が期待できる。

事業ではさまざまな制約から基礎的な検討やデータ蓄積が困難となるケースが多い。しかし、放飼虫の虫質や放飼方法を詳しく検討することで、放飼雄数は同じでも放飼効果を数倍に高めることは決して夢ではない。不妊虫放飼によるゾウムシ類の根絶に成功した例はこれまで皆無である。ミバエ類に比べてはるかに困難なゾウムシ類の根絶事業を成功に導くためにも、研究・行政の両面から基礎研究に対して広範な支援がなされることを切望する。

引用文献

- 1) FRIED, M. (1971) J. Econ. Entomol. 68: 869~872.
- 2) KNIPLING, E. F. (1979) The Basic Principles of Insect Population Suppression and Management. USDA Agriculture Handbook No. 512, Washington D. C. 659 pp.
- 3) 鈴木芳人・宮井俊一 (1997): 九農研 59: 78.
- 4) 山口卓也・鈴木芳人 (1999): 九病虫研報 45: 76~79.

事務所移転など

農林水産省横浜植物防疫所東京支所は、9月18日より下記新庁舎へ移転いたしました。新しい事務所は、〒135-8073 東京都江東区青海2-56 東京港湾合同庁舎、電話(03)3599-1136、FAX(03)3599-1140

愛知県農業総合試験場園芸研究所蒲郡支所のFAX番号が10月6日より変わりました。新しい番号は(0533)68-3728です。電話番号は従来どおりです。

信越化学工業(株)有機事業部ファイナ・アグロ部のフェ

ロモン剤グループ及びミドリツチ業務の事務所が、10月3日より下記に移転となりました。新しい事務所は、〒101-0047 東京都千代田区内神田1-5-13 内神田TKビル4階、電話(03)3219-5910、FAX(03)3293-3507 出荷関係については従来どおりです。

東京植物検疫協会は、9月18日より下記新事務所へ移転いたしました。新しい事務所は、〒135-8073 東京都江東区青海2-45 ダイム24ビル2階、電話(03)5531-8533、FAX(03)5531-8536 (総務課)