

# 捕食性天敵を大量放飼するための解析モデルとそのミナミキイロアザミウマの天敵 *Wollastoniella rotunda* を用いた生物的防除への適用

浦野 知<sup>1)</sup>・島 克弥<sup>1)</sup>・本江 孝一<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup>九州大学農学部・<sup>2)</sup>富山県立中央農業高等学校)

**An analytical predator-prey model to optimize inundative release of predators and the use of *Wollastoniella rotunda* (YASUNAGA and MIYAMOTO) for biological control of *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae).** Satoru URANO<sup>1)</sup>, Katsuya SHIMA<sup>1)</sup> and Kouichi HONGO<sup>2)</sup> (<sup>1)</sup>Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581. <sup>2)</sup>Toyama Prefectural Central Agricultural High School, Higashifukusawa, Toyama 930-1281)

**Key words:** biological control, inundative release, predatory bug, *Thrips palmi*, *Wollastoniella rotunda*

総合的害虫管理の一手段として天敵を放飼する際、その目標は一般に害虫個体群の低密度安定化を目指すべきものとされてきた(中筋, 1997)。しかし、一年生作物の害虫に対して捕食性天敵を放飼する場合には、必ずしも永続的な安定化効果を期待する必要はない。

一年生作物における生物的防除の過程としては、あらかじめ経済的被害許容水準(以下、EILとよぶ)を定めた後、まず個々の現場において害虫密度のモニタリングを行う。その結果、害虫密度が将来EILを越えると予想されるならば、防除の意志決定を行うが、その際目的となるのは、現在増加中の害虫個体群がEILを越える以前に、これを減少に転ずることである。一年生作物の上で期待されるこのような生物的防除の過程を、個体群動態として捉え直すならば、まず害虫・天敵の両者が増加し、ついで害虫個体群が減少を始め、最後に天敵が減少するような害虫一山・天敵一山型の個体数変動パターンであるといえる。この過程の途上、害虫減少開始時において、害虫個体数は最大となり且つ作物への加害も最大となる。したがって防除戦略上の意思決定に必要なのは、モニタリング時に立って、いつどのくらいの頭数の天敵を導入すれば、減少開始時の害虫個体数をEIL以下にできるかという予測である。

以上のような観点から本研究では、特に捕食性天敵を大量放飼する場合について、まず天敵個体群の総捕食量を齢別捕食量をもとに指数化し、これを用いて害虫個体群が減少する条件(害虫/天敵比)を求めた。また事例研究として、侵入害虫ミナミキイロアザミウマ(*Thrips palmi*)の天敵として、害虫原産地(タイ)での探索

(HIROSE et al., 1993)の結果採集された捕食性ハナカメムシの一種 *Wollastoniella rotunda* を施設栽培ナス上で大量放飼した場合を想定し、先の関数を用いてその働きを評価した。

本論に先立ち、本研究を進める上でご指導頂いた九州大学農学部の広瀬義躬教授、高木正見助教授ならびに生物的防除研究施設の皆さんに御礼申し上げる。

## 放飼比率の理論

### 1. クリティカルポイントにおける害虫/天敵比

一年生作物害虫の生物的防除にしばしば特徴的にみられる害虫・天敵各一山型の個体群動態パターンにおいて、害虫個体数のピークを特にクリティカルポイントと定義する(Fig. 1)。また、このクリティカルポイントにおける害虫減少の条件を求めるために、害虫・天敵両個体

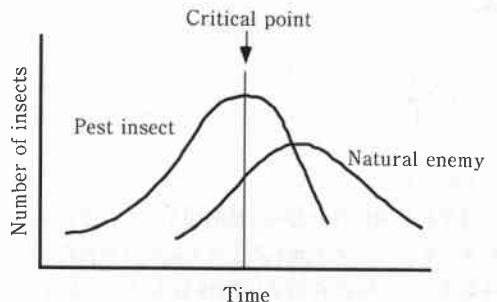


Fig.1. Hypothetical population dynamics of a predator-prey system on annual plants. The time when an insect pest population attains its maximum number is defined as the critical point.

群について次のように仮定する。

- 1) 害虫・天敵両個体群はクリティカルポイントに至るまで安定齢構成比を保って増加する。
- 2) 害虫・天敵両個体群の増加率は、クリティカルポイントに至るまで密度効果を受けない。
- 3) 害虫個体群の増加率は天敵に捕食されることによつてのみ低下する。
- 4) 天敵は卵期以外の全ステージで害虫を捕食する。
- 5) 天敵個体群は害虫の全ステージを害虫の安定齢構成に比例して捕食する。
- 6) 天敵個体群はクリティカルポイントに至るまで成長・繁殖に要求される最大の捕食量を維持する。

モニタリングの結果害虫個体数が EIL に近ければ、天敵の大量放飼を行って、放飼後速やかに害虫個体群が減少する事を期待する。そこで、クリティカルポイント＝天敵を放飼する時点において、害虫密度が直ちに減少に転ずるのに要する放飼比率を以下に求める。

ある温度のもとで、産下された天敵 1 卵に期待される生涯捕食量 ( $P_0$ ) は、各日齢 ( $x$ , 産下時  $x=0$ ) の生存率を  $l_x$ 、捕食量を  $p_x$  として、

$$P_0 = \int_0^{\infty} l_x p_x \quad (1)$$

で求められる。ここで、 $l_x$  の分布が安定齢構成に従うと仮定すると、天敵個体群の各齢コホートが 1 日あたりに捕食する量は  $l_x p_x$  に比例する。しかし、 $P_0$  の計算には生存確率 ( $l_x$ ) が使われているので、 $P_0$  を天敵個体群の総捕食量を推定する際の基準値として用いるのは不便である。そこで、天敵個体群の大きさをそこに含まれる成虫数で表現することとし、安定齢構成比をとる天敵個体群の日あたり捕食量の基準値 ( $P_S$ ) を「成虫を 1 頭だけ含む個体群の 1 日あたりの総捕食量」と定義する。 $P_S$  は、

$$P_S = \int_a^{\infty} l_x \quad (2)$$

で求められる。ただし、ここで  $a$  は成虫羽化齢である。

被食者と捕食者の内的自然増加率をそれぞれ  $r_1$ 、 $r_2$  とおき、またクリティカルポイントにおける被食者の全個体数を  $N_1$ 、捕食者の成虫個体数を  $N_2$  とおく。クリティカルポイントにあたる日の翌日、捕食をうける前の被食者の個体数は  $N_1 e^{r_1}$ 、捕食者個体群全体の捕食量は  $P_S N_2 e^{r_2}$  であるので、害虫個体群が減少する条件は、

$$N_1 (e^{r_1} - 1) < P_S N_2 e^{r_2} \quad (3)$$

したがって、クリティカルポイントにおける天敵 (成虫) 1 頭に対する害虫数 (全ステージ) の比率は、

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{P_S e^{r_2}}{e^{r_1} - 1} \quad (4)$$

となる。

## 2. 要防除日数と放飼比率

モニタリングの結果、害虫個体数が EIL に達するまでの期間が比較的長いと予測されるならば、より少ない数の天敵を放飼して、EIL に達する以前に害虫個体群が減少する事を期待する (接種的放飼法)。そこで、ある温度条件における天敵の放飼比率と、放飼からクリティカルポイントに至るまでの日数 (要防除日数) との関係を示す。次のようにして求めた。

クリティカルポイントを基準日とし、その  $d$  日前の害虫数を  $F(d)$  とすると、次の漸化式が成り立つ。

$$F(d+1) = F(d) e^{-r_1} + P_S N_2 e^{-(d+1)r_2} \quad (5)$$

初期条件  $F(0) = N_1$  としてこれを解くと、

$\alpha \neq \beta$  のとき、

$$F(d) = \frac{(\beta^d - \alpha^d) F(1)}{\beta - \alpha} - \alpha \beta \frac{(\beta^{d-1} - \alpha^{d-1}) N_1}{\beta - \alpha}$$

$\alpha = \beta$  のとき、

$$F(d) = \alpha^d N_1 + \alpha^{d-1} d \{F(1)\}$$

ただし、 $\alpha = e^{-r_1}$ 、 $\beta = e^{-r_2}$ 、 $F(1) = N_1 e^{-r_1} + P_S N_2 e^{-r_2}$  (6)

一方、クリティカルポイントより  $d$  日前の天敵数は、 $N_2 e^{-dr_2}$  で求められる。したがって、 $d$  日後にクリティカルポイントに達するような放飼比率 (害虫数/天敵数)  $R_r(d)$  は、

$$R_r(d) = \frac{F(d)}{N_2 e^{-dr_2}} \quad (7)$$

となる。

### 放飼比率の理論の適用例

施設栽培ナスにおいて発生したミナミキイロアザミウマに対し、*Wollastoniella rotunda* を大量放飼した場合を想定する。ミナミキイロアザミウマについては河合

(1986), *W. rotunda* については島 (1997) による温度別生存率, 成長期間, 産卵率のデータを用いた。

ミナミキイロアザミウマおよび *W. rotunda* の日当たり内的自然増加率 ( $r$ ) を以下のようにして温度別に算出した。ミナミキイロアザミウマについては河合 (1986) にあるキュウリを寄主植物とした際の15°C, 20°C, 25°C, 30°Cにおける  $r$  (ノ日) と, ナスを寄主植物とした場合の25°Cにおける  $r$  (ノ日) を用い, 25°Cにおけるキュウリ上とナス上の  $r$  の比が, 他の温度においても変化しないと仮定して, ナス上での各温度での  $r$  (ノ日) を算出した。*W. rotunda* については, 島 (1997) にある15°C, 17.5°C, 20°C, 25°C, 30°Cにおけるナス上での  $L_x m_x$  スケジュールのデータをもとに, オイラー式を用い, 反復代入法によって各温度の  $r$  を求めた。これらと比較すると,  $r$  は全体的に *W. rotunda* の方が高く, 且つ低温になるほどその差が大きいくことが判った (Fig. 2)。

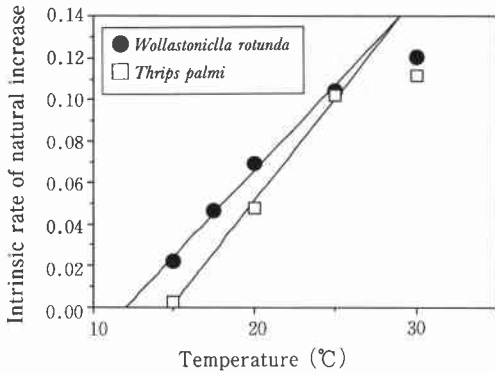


Fig. 2. Relationship between temperature and intrinsic rate of natural increase ( $r_m$ ) in *W. rotunda* and *T. palmi* on egg plants. Values were calculated using life history data of SHIMA (1997) and KAWAI (1986). Plots at 30°C were excluded from the regression lines because high temperature might cause deleterious effects on  $r_m$ .

式(2)および式(4)に, *W. rotunda* とミナミキイロアザミウマの生活史パラメータと内的自然増加率を代入し, 17.5°Cから30°Cの範囲でのクリティカルポイントにおける害虫/天敵比を求めたところ, この比がもっとも大きく天敵の利用効率が最大になる温度は20°C前後であった (Fig. 3)。また, 福岡県の冬期のナスの温室を想定すると, 12月-1月の温室内の平均温度は17.5°C前後であるので (浦野ら, 未発表), その環境下で *W. rotunda* の大量放飼によってミナミキイロアザミウマを直ちに防除する場合の放飼比率は, 害虫250に対して天敵1以上であると推定される。

式(6)と式(7)に *W. rotunda* とミナミキイロアザミウマ

の内的自然増加率と前者の  $P_s$  を代入し, 天敵放飼比率と要防除日数の関係を求めた。クリティカルポイントにおける害虫/天敵比を温度別に比べると, 要防除日数を多くとるとき, 天敵の放飼比率は少なくすむ (Fig. 4)。たとえば17.5°C前後の環境下で, 14日後に害虫個体数の減少を期待する場合には害虫300に対し天敵1以上が, また30日後の減少を期待する場合には害虫600に対し天敵1以上が必要となる。温度別にみると, ここでもより少ない天敵数で防除効果のみこめる温度は20°C前後であると推定された。

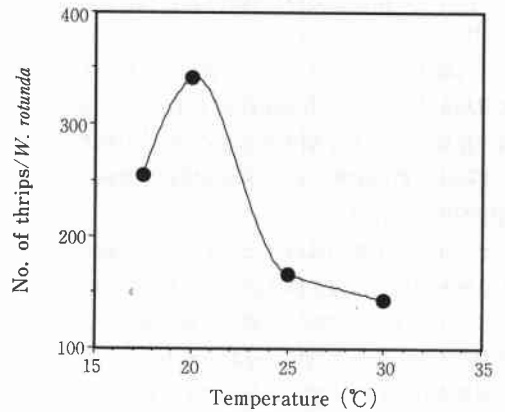


Fig. 3. Dependence of thrips/*W. rotunda* ratio at the critical point on temperature. Calculations were based on  $r_m$  values for both species (KAWAI, 1986; SHIMA, 1997) and a  $L_x p_x$  *W. rotunda* schedule (SHIMA, 1997).

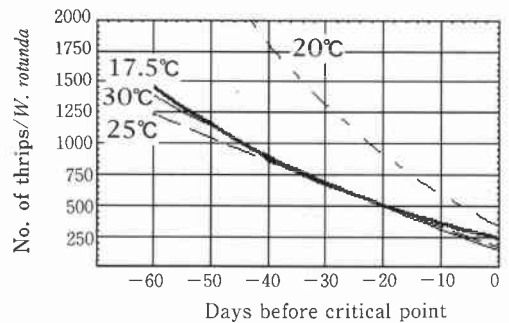


Fig. 4. Functional relationship between the duration needed to attain successful control (from release to critical point) and thrips/*W. rotunda* ratio when *W. rotunda* are released. Release estimates were calculated using the equation  $R_c(t) = F(t) / N_{2e}^{-tr^2}$  (see text for explanation).

## 考 察

ここに示した害虫-天敵系の解析モデルは, 防除戦略を練る上で目安となる値を算出するものである。生物的

防除を行う個々の現場においては、対象作物に対する害虫の EIL と、Fig. 2 に示したような「害虫と天敵の内的自然増加率」、Fig. 3 に示したような「クリティカルポイントにおける害虫/天敵比」、および Fig. 4 に示したような「天敵の放飼比率と要防除日数の関係」のグラフを手元において、次のようにして防除戦略上の意志決定を行う。

ステップ1) モニタリングによって害虫密度を推定し、害虫の内的自然増加率 ( $r_2$ ) から、防除手段を講じないとき害虫個体群が対象作物の栽培期間中に EIL に達するか否かを予測する。

ステップ2) 防除が必要と判断された場合、害虫個体数が EIL に近ければ、「クリティカルポイントにおける害虫/天敵比」のグラフを用いて放飼比率を決め、天敵の大量放飼を行う。害虫個体数が EIL に達するまでの期間が比較的長いと予測されるならば、「天敵の放飼比率と要防除日数の関係」のグラフを用いて放飼比率を決め、接種的放飼を行う。

ステップ3) 天敵の放飼後モニタリングを継続して行い、大量放飼の場合は害虫個体群の減少を、接種的放飼の場合は害虫個体群の増加率の減少を確認する。なんらかの理由で天敵の十分な効果が確認されなかった場合、その原因を取り除いた上で、ステップ1) にもどって防除を

行う。

ステップ4) 特に大量放飼によって比較的早く兩種個体群が終息した後、生残個体あるいは新たに侵入してきた個体によって再び害虫個体群が増加傾向を示すならば、ステップ1) にもどって防除を行う。

接種的放飼法においては、害虫密度が低い場合の天敵の捕食効率の低下を考慮していないため、放飼比率と要防除日数の関係が予測からはずれやすいかもしれない。特に要防除日数が長いときには、より詳細な記述に基づくシミュレーションを用いる必要がある。また大量放飼法においては、天敵の成虫のみを放飼するケースが多いと考えられる。モデルでは安定年齢構成を仮定しているため、「クリティカルポイントにおける害虫/天敵比」のグラフより算出される天敵放飼数に  $P_0 / \int_a^{\infty} l_x p_x$  を乗じて、成虫放飼のときの放飼数の補正值とする。

#### 引用文献

- 1) HIROSE, Y., H. KAITA, M. TAKAGI, S. OKAJIMA, B. NAPOMPETH, and S. BURANAPANICHPAN (1993) Biol. Control 3: 1-5.
- 2) 河合 章 (1986) 野菜試報告 C (久留米) 第 9 号 別冊.
- 3) 中筋 房夫 (1997) 総合的害虫管理学 養賢堂: pp. 47-48.
- 4) 島 克弥 (1997) 九州大学大学院農学研究科修士論文.

(1998年5月1日 受領)