

コナガ幼虫寄生蜂セイヨウコナガチビアメバチの飼育増産コスト

高篠 賢二^{*1)}・榊原 充隆^{*1)}・野田 隆志^{*2)}

抄 録：アブラナ科作物の重要害虫コナガの導入寄生蜂セイヨウコナガチビアメバチの現時点での効率的な人工増殖法を記述し、その方法に基づいた本種の雌成虫増殖コストを算出した。雌成虫を週産3,000頭規模で年間に16週間飼育し、それ以外の時期は系統維持規模にとどめた場合の1頭あたりの飼育費用は6.01円であり、週産30,000頭規模の場合は3.14円であった。また、放飼する個体を容器から収集するのに1頭あたり2.05円の人件費を必要とした。本種を利用したキャベツのコナガ防除費用は、放飼密度を株あたり雌成虫0.1頭、キャベツの栽培密度を10aあたり5,500株とした場合、週産3,000頭規模では10aあたり4,430.8円、30,000頭規模では2,855.6円であった。現在実用化されている捕食性天敵やフェロモン剤の費用と比べても、本種の生物防除資材化は経済的に不可能ではないと思われる。

キーワード：セイヨウコナガチビアメバチ、コナガ、飼育方法、増産コスト

Rearing Costs of *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera : Ichneumonidae), a Larval Parasitoid of the Diamondback Moth : Kenji TAKASHINO^{*1)}, Mitsutaka SAKAKIBARA^{*1)} and Takashi NODA^{*2)}

Abstract : We estimated the rearing costs of *Diadegma semiclausum*, a biological control agent for the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella*, in fields of crucifer crops in northern Japan on the basis of a current rearing method used in our laboratory. The cost was estimated to be ¥6.01/female when 3,000 female wasps were produced weekly for 16 weeks from spring to summer and maintained for several generations during the other seasons. It was estimated by the same method to be ¥3.14/female when 30,000 wasps were produced weekly. In both cases, ¥2.05/female was added to reflect collecting and sexing labors. On the condition that *D. semiclausum* is released at 0.1 females/plant, and that cabbages are planted 55,000 plants/ha, the cost of DBM control is estimated at ¥44,308/ha and ¥28,556/ha to produce 3,000 female wasps/week and 30,000 wasps/week, respectively. The results show that *D. semiclausum* as a biological control agent has the potential to be competitive with other control tactics.

Key words : *Diadegma semiclausum*, DBM, *Plutella xylostella*, rearing method, rearing cost

緒 言

セイヨウコナガチビアメバチ *Diadegma semiclausum* はヨーロッパ原産のヒメバチ科の単寄生蜂である。本種は、アブラナ科作物の重要害虫であるコナガの2齢～4齢初期幼虫のみに寄生し、活動適温は15～25℃と比較的低く、他種の鱗翅目昆虫への寄生は確認されていない。これらの特徴から、本種はコナガの有力な天敵として、1936年にイギリスからニュージーランドに導入され、その後東南アジア

や太平洋地域の多くの国々に導入された (Waterhouse, 1992)。本種を導入した高地や低緯度の冷涼地帯では、本種がコナガ密度を抑制し、アブラナ科作物の総合的病害虫管理 (IPM) に重要な役割を果たしている。日本には台湾から1989年にはじめて導入され、東京都で1992年に放飼され (伊賀 1997)、その後、岩手、福島、長野の各県にも放飼されている。盛岡市とその周辺では、コナガの発生初期に2～3回に分けて、夏どりキャベツに株あたり合計0.8～3.4頭の既交尾雌成虫を放飼した結果、コナガ幼虫・蛹

* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan)

* 2) 農業生物資源研究所 (National Institute of Agrobiological Sciences, Tsukuba, Ibaraki, 305-8634, Japan)

注) この研究は地域先導技術総合研究「生物利用等による寒冷地環境保全型アブラナ科野菜栽培技術の確立」プロジェクトにおいて行われた。

2003年10月24日受付, 2004年1月9日受理

密度を経済的被害許容水準以下に抑制することに成功している (Noda et al., 2000)。

ニュージーランドやアジアの低緯度高地で常時アブラナ科作物が栽培されている地域は気温の年較差が小さく、セイヨウコナガチビアメバチは寄主であるコナガともども圃場とその周辺に周年的に生息できる。すなわち、本種を一度定着させれば、放飼を繰り返す必要がない。しかし、我が国の冷涼地域の多くは夏季と冬季の気温差が大きく、冬季に作物を栽培することができなくなる。盛岡市のように積雪期間が60日を超える地域では、コナガは越冬できないが (本多 1987)、成虫は長距離移動によって温暖な地域から毎年飛来してくる。一方、セイヨウコナガチビアメバチは盛岡において越冬可能である (Noda et al. 2000) が、作期後本種の繭が付着する作物残渣が鋤込まれることと冬季に寄主がいなくなることから、北東北地域ではあまり多くの個体は越冬できないと思われる。このため、我が国の冷涼地域において本種によってコナガを防除する場合、コナガの増殖初期に毎年放飼を行う、季節的接種の放飼が基本になる。そのためには、本種が安価で大量に供給されることが不可欠になる。しかし、我が国では本種は試験研究目的のための小規模な飼育しか行われておらず、実用化にはより大規模な生産体制の確立と、そのためのフィージブルスタディが必要である。

そこで、本報告ではセイヨウコナガチビアメバチの大量増殖体系の確立のため、現在、我が国で本種を最大規模で飼育増産している我々の研究室における最新の飼育方法を記述し、さらに生産地帯を対象とする増殖放飼のための生産コストを試算した。

本文にはいるに先立ち、セイヨウコナガチビアメバチの飼育・増殖を手伝っていただいた嘉那井由美氏に感謝申し上げる。

飼 育 方 法

1. コナガとセイヨウコナガチビアメバチ

コナガは1983年に三重県津市で採集し、かいわれダイコンを用いて室内で約20年間継代飼育した「PxT1」系統を用いた。セイヨウコナガチビアメバチ (以下アメバチ) は1990年および1993年に台湾から我が国に導入し、1994年から当研究室で継代飼育した「DsTT1」系統を用いた。

コナガとアメバチの飼育は、16時間明期 8 時間暗

期の日長条件で行う。飼育温度は発育段階によって変える必要がある。

2. コナガの飼育

アメバチの寄主はコナガ以外に認められておらず (野田 1998)、人工培地等による飼育法も確立されていないので、本種を増殖するためにまず、コナガを飼育する。

1) コナガ飼料の作成

コナガ幼虫は、腰原 (1981) を改変した方法で、かいわれダイコンを餌として飼育する。かいわれダイコンは、蓋に直径 2 cm の穴を開けたポリスチレン製丸形容器 (直径 9 cm, 高さ 5.5 cm) で育て、この容器をそのままコナガ幼虫の飼育に用いる。底に直径 9 cm の濾紙を敷いた容器に、水道水 15 ml と 23℃ でチウラム・ベノミル水和剤の 100～200 倍液に一晩浸漬して殺菌したかいわれダイコン種子約 20 ml を入れ、23℃ で 3 日間生育させる (図 1 上段)。湿度



図 1 コナガ幼虫飼育用丸型容器で栽培したかいわれダイコン (上段) と、容器の蓋の間に挟んだクッキングペーパーに営繭・蛹化したコナガ (下段)



図2 コナガ成虫羽化箱

を保持するために容器の蓋の穴に脱脂綿で栓をする。生育後、直ちに使用しないかいわれダイコンは15℃で保管しておく。

2) 卵の接種と幼虫の飼育

上記手順で育てたかいわれダイコンに、後述する方法で採取したコナガ卵を1容器あたり200～400個になるように卵が産みつけられたペーパータオルを切り分けて、ペーパータオルごと接種する。容器の蓋と本体の間に約13.5×12cmに切った市販のクッキングペーパーを挟む。餌を交換しなくても幼虫は発育でき、約3週間後に蛹化する。PxT1系統の幼虫はワンダリング期に容器の上部に移動し、クッキングペーパーとその周辺に繭を作って蛹化する(図1下段)ので、蛹をペーパーごと回収する。飼育は20℃で行なう。蛹は容器のまま5℃で約1カ月保管した後も正常に羽化するので、余分に得られた蛹は5℃で保管する。

3) 成虫の飼育と採卵

回収した蛹はペーパーごとアクリル製の箱(30×25×30cm)(図2)に順次入れ、箱内で羽化させる。1箱で一時期に1,000～2,000頭程度の成虫を羽化させることが可能である。箱にはスリーブを設け、羽化した成虫はフットスイッチ付きのポンプにつなげた吸虫管を用いて、雌雄鑑別せずに200～400頭収集し、蜂蜜の5%溶液をしみこませた脱脂綿とともにマヨネーズビン(直径7.5cm、高さ13cm)に入れ、11×11.5cmに裁断したペーパータオルで蓋をして輪ゴムで止める(図3)。PxT1系統の成虫はペーパータオルの蓋の裏側やビンの内壁に産卵するので、2～3日間後にペーパータオルに産卵され



図3 コナガ採卵用マヨネーズビン



図4 セイヨウコナガチビアメバチ成虫飼育用中型容器

た卵を回収する。このとき回収できる卵の数はおよそ2,000～3,000個程度である。必要に応じて、餌を補充しながら採卵を繰り返すこともできるが、2回目以降は産卵数が減少する。蛹と成虫の飼育・採卵も20℃で行う。PxT1系統の蛹期間は20℃で5～6日である。

3. セイヨウコナガチビアメバチの飼育

1) 成虫の飼育

アメバチ成虫の飼育には、蓋(ポリエチレン製)に16×10cmの穴を開け、ステンレス製の0.8mm目合いの金網を張ったポリプロピレン製中型容器(外寸28×20×9cm、容量3.6 l)を用い(図4)、底にクッ

キングペーパー (27.5 × 24 cm) を敷く。餌として蜂蜜原液約 3.5 g を直径 6.5 cm のアイスクリームカップの蓋に入れ、その上から蜂の溺死防止のためテトロン製のメッシュ (東レ株式会社, #T335) を載せて、与える。後述の寄生用大型容器内で羽化したアメバチ成虫を、性比が 1 ~ 2 程度となるように吸虫管を使って飼育用容器あたり雌成虫 400 程度を目安に移す。雌の消耗につながる雄による過度の交尾を避けるためには性比を 2 にする (Amend and Basedow 1997) のが望ましい。このとき、寄生用大型容器を 20 号 (46 × 60 cm) のビニール袋に入れ、袋の口の反対側に光源をおき、こちらにアメバチを集め、袋から逃げないようにする。成虫は 15℃ で飼育し、餌は 10 ~ 14 日間隔で交換する。

2) 寄生用のコナガの飼育

アメバチ増殖用の寄主にするコナガ幼虫は、継代用の幼虫と同様の方法で、継代用の 6 ~ 8 倍の卵 (2,000 卵程度) を接種し、20℃ で飼育する。接種後約 10 日で、大多数の個体が雌蜂の産卵に適した 2 齢後期 ~ 3 齢になる。直ちに寄生させない場合は、このとき 5℃ に移せば 1 週間程度は保存できる。

3) 寄生

アメバチの寄生には、蓋 (ポリエチレン製) に 18 × 12 cm の穴を開け、成虫飼育用の中型容器と同様にステンレス製の金網を張ったポリプロピレン製大型容器 (外寸 30 × 23.5 × 10 cm, 容量 5.7 l) を用いる。27.5 × 24 cm のクッキングペーパーを敷いた容器に、餌のかいわれダイコンをほぐしながら、寄生用に飼育した丸型容器 1 個分のコナガ幼虫を均一に入れ (図 5)、その後、既交尾のアメバチ雌成虫を 40 ~ 60 頭程度放して産卵させる。容器の蓋の網の部分に、蜂蜜の 5 % 溶液をしみ込ませた脱脂綿を載せて、アメバチの餌とする。また、餌の乾燥を防ぐため、脱脂綿の上にシャーレをかぶせ、乾燥した場合は脱脂綿に水道水を足す。20℃ で 3 日間産卵させ、その後アメバチを吸虫管で回収し、成虫の飼育容器に戻す。

4) 既寄生幼虫の飼育

寄生時に用いた大型容器をそのまま使用してコナガ幼虫を飼育する。コナガ幼虫とかいわれダイコンの残渣を中央に集め、その上に餌として新しいかいわれダイコンの芽だし丸型容器 1 個分を軽くほぐして載せる。このとき、容器は重ねておき、容器内が適切な湿度になるように蓋の網部分のふさがり方を



図 5 寄生用大型容器に均一に広げたコナガ幼虫とかいわれダイコン



図 6 寄生させたコナガ幼虫の飼育

調整する (図 6)。飼育初期は乾燥しすぎると死亡率が高くなるので、容器壁面に若干の結露が見られるくらいを目安とする。逆に、湿度が高すぎて結露が多くなると幼虫が溺死するので注意する。飼育中に餌が不足する場合は、かいわれダイコンを追加する。コナガ幼虫が営繭し、前蛹になると、アメバチ幼虫が寄生されたコナガ幼虫の体内を食べ尽くして脱出し、コナガの繭のなかに俵状の茶色い繭を作って蛹化する (図 7)。この段階では、容器内が乾燥気味のほうがアメバチの生育がよい。飼育は 20℃ で行なう。DsTT1 系統を 20℃ で飼育した場合、寄生開始から約 25 日でアメバチ成虫が羽化しはじめ

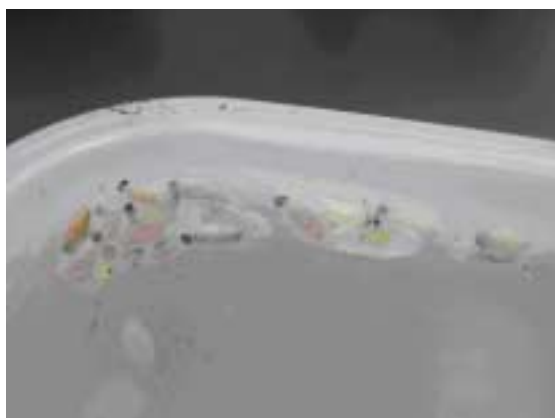


図7 セイヨウコナガチビアメバチの繭

るので、吸虫管を使って前述の成虫飼育用中型容器に移す。

4 飼育容器の殺菌

飼育に用いる各種容器は次亜塩素酸ナトリウムの0.3～0.4%液に1昼夜以上浸漬して殺菌する。

セイヨウコナガチビアメバチの増殖コスト

1．試算のための前提条件

消耗資材費を東北農業研究センターへの2001～2003年の納入価格から、人件費を2003年の同センター臨時職員の時給から算出した。

本文中に示す数値は、アメバチの単価のみ小数点以下2桁、それ以外は小数点以下1桁で示したが、それらの数値を必要とする各計算式には四捨五入していない元の数値をあてはめて値を算出しているため、数式の左項に示されている数値の単純計算と右項の数値は必ずしも一致しない。

2．系統維持費

これまでの飼育経験から判断したアメバチ系統の維持・継代に必要な飼育量を、寄主であるコナガ幼虫については1日おきに丸形容器2個分、アメバチについては1週間に寄生用大型容器2個分として、これに必要なコストを、まず計算する。

1) コナガの系統維持に関するコスト

コナガの飼育に必要な消耗資材は、幼虫の餌であるかいわれダイコンの種子とその殺菌剤、成虫の餌である蜂蜜、飼育時に使用する濾紙やペーパータオル、脱脂綿である。飼育作業には、かいわれダイコンの播種、採卵および卵の接種、飼育容器の洗浄がある。これらを成虫飼育分も含めてコナガ幼虫飼育用の丸形容器1個あたりで計算すると、

表1 コナガ継代飼育の場合の丸形容器1個分のコスト*

		単価	使用量・時間	費用(円)
資材費	かいわれダイコン種子	2887.5 円/1	20.8 ml	60.2
	チウラム・ベノミル水和剤	1050 円/100 g	0.2 g	2.2
	濾紙 (90mm)	357 円/箱	1.0 枚	3.6
	クッキングペーパー	504 円/箱	0.3 枚	1.8
	脱脂綿	399 円/100g	0.1 g	0.6
	蜂蜜	515 円/kg	0.2 g	0.1
	ペーパータオル	92 円/100 枚	0.5 枚	0.5
合計				68.8
人件費	播種	775 円/時	1 分	12.9
	採卵・接種	775 円/時	6 分	77.5
	容器洗浄	775 円/時	2 分	25.8
	合計			116.3
資材費+人件費				185.1

*各費用は四捨五入しているため、合計値は表中の数値の単純計算と必ずしも一致しない。

資材費 (68.8円) + 人件費 (116.3円)

$$= 185.1 \text{円} \cdots \cdots (a)$$

である (表1)。アメバチとコナガの系統維持に、1日おきに丸形容器2個分のコナガを飼育するので、コナガの継代飼育の1週間あたりのコストは、

資材費: $68.8 \times 2 \text{ (個)} \times 3.5 \text{ (回)} = 481.6 \text{円}$

人件費: $116.3 \times 2 \text{ (個)} \times 3.5 \text{ (回)} = 813.8 \text{円}$

合 計: $1,295.4 \text{円} \cdots \cdots (b)$

である。

2) セイヨウコナガチビアメバチの系統維持に関するコスト

(1) 寄生用コナガ幼虫の飼育

寄生用コナガ幼虫の飼育に必要な消耗資材は、系統維持の場合とほぼ同様であるが、寄生後大型容器で飼育し、餌を追加するため、必要となるペーパー類とかいわれダイコンの量は増大する。さらに、寄生時に蜂蜜と脱脂綿が必要になる。作業は、かいわれダイコンの播種、寄生用コナガの採卵と接種、寄生時のコナガ幼虫と蜂成虫の移し替え、飼育容器の洗浄である。これらの費用を寄生用大型容器1個あたりで計算すると、

資材費 (148.5円) + 人件費 (284.2円)

$$= 432.7 \text{円} \cdots \cdots (c)$$

である (表2)。

(2) セイヨウコナガチビアメバチ成虫の飼育

アメバチ成虫の飼育に必要な消耗資材は、容器の底に敷くペーパー、餌の蜂蜜、容器移し替えのときに用いるビニール袋である。溺死防止用のメッシュは使用量が極めて少ないので計算から除外した。作業には、寄生用大型容器から飼育用中型容器への性

表2 寄生用コナガ幼虫の飼育に関する大型容器1個分のコスト*

	単価	使用量・時間	費用 (円)
資材費			
かいわれダイコン種子	2887.5 円/1	41.7 ml	120.3
チウラム・ベノミル水和剤	1050 円/100g	0.4 g	4.4
濾紙 (90mm)	357 円/箱	2.0 枚	7.1
クッキングペーパー	504 円/箱	1.5 枚	10.8
脱脂綿	399 円/100g	1.3 g	5.0
蜂蜜	515 円/kg	0.9 g	0.5
ペーパータオル	92 円/100枚	0.5 枚	0.5
合計			148.5
人件費			
播種	775 円/時	2 分	25.8
採卵・接種	775 円/時	6 分	77.5
コナガと蜂の移し替え	775 円/時	8 分	103.3
容器洗浄	775 円/時	6 分	77.5
合計			284.2
資材費+人件費			432.7

* 表1に同じ

表3 セイヨウコナガチビアメバチ成虫飼育に関する飼育用容器1個あたりのコスト*

	単価	量・時間	費用 (円)
資材費			
クッキングペーパー	504 円/箱	3.0 枚	21.6
蜂蜜	515 円/kg	10.5 g	5.4
ビニール袋	650 円/100枚	2.0 枚	13.0
合計			40.0
人件費			
性比調整・容器移し替え	775 円/時	36 分	465.0
餌交換 (2回)	775 円/時	16 分	206.7
容器洗浄	775 円/時	6 分	77.5
合計			749.2
資材費+人件費			789.2

* 表1に同じ

比を調整しながらの移し替え, 生育期間中の2回の餌交換, 飼育容器の洗浄がある。これらの費用を成虫飼育用中型容器1個あたりで計算すると,

$$\text{資材費 (40.0円) + 人件費 (749.2円)} \\ = 789.2\text{円} \cdots \cdots (d)$$

である (表3)。

(3) アメバチの維持管理費

アメバチを安定して継代していくために, 1週間に寄生用大型容器2個でコナガを寄生させて飼育する。そして, ここから得られる成虫を, 1個の成虫飼育用中型容器で飼育する。したがって, アメバチ系統維持のコストは1週間あたり $(c) \times 2 + (d)$ となり, 費用内訳は,

$$\text{資材費 (337.1円) + 人件費 (1,317.5円)} \\ = 1,654.6\text{円} \cdots \cdots (e)$$

である。

3) 両者の系統維持費

コナガとアメバチそれぞれの維持管理費から, 1

週間あたりの維持管理費は $(b) + (e)$ となり, 費用内訳は,

$$\text{資材費 (818.7円) + 人件費 (2,131.3円)} \\ = 2,950.0\text{円} \cdots \cdots (f)$$

となる。年間費用は $(f) \times 365 / 7$ となり,

$$\text{資材費 (42,690.4円) + 人件費 (111,129.5円)} \\ = 153,819.9\text{円} \cdots \cdots (g)$$

になる。

3. 生産頭数の拡大

アメバチの継代飼育体系から, 目標とする生産量の雌成虫を得るために何世代の増産が必要か, 最適条件下で増殖した場合の世代ごとに得られる雌成虫を試算する。

寄生用大型容器1個から約700頭の成虫が羽化し, DsTT1系統の性比 (雌率) がおよそ0.27であることから, 容器1個から

$$700 (\text{頭}) \times 0.27 = 189 (\text{頭}) \cdots \cdots (h)$$

の雌成虫が得られる。継代飼育では1週間に2容器分飼育するので, 週産で378頭が得られる。寄生用大型容器1個の寄生に60頭の雌成虫を使うと, 継代飼育用の次世代成虫を得るため週あたり120頭が必要になる。しかし, アメバチ1雌あたりの生涯総産卵数は300~400個以上に達し, 1日あたりの産卵数は最大20~30卵程度である (野田1998) ことから, 1雌あたり2回は産卵させることが可能なので, 実際には半数の60頭ですむ。したがって, 週産数378頭から継代飼育への利用分60頭を差し引いた318頭が増産のために利用できる。さらに, DsTT1系統のこれまでの飼育実績から雌成虫の産卵能力は15℃で3週間程度維持されると仮定すると, 増産に利用できる蜂が常時

$$\{(h) \times 2 (\text{回}) - 60 (\text{頭})\} \times 3 (\text{週}) \\ = 954 (\text{頭}) \cdots \cdots (i)$$

飼育されることになる。ゆえに, これらを用いて一度に増産できる寄生用容器の数は $(i) / 60 = 15.9$ となるため, およそ

$$16 (\text{個}) \cdots \cdots (j)$$

であり, 雌成虫の数は

$$(j) \times (h) = 3,024 (\text{頭}) \cdots \cdots (k)$$

である。前述のように1頭の雌成虫に2回産卵させられるので, 1世代で増殖可能なアメバチ雌成虫数は

$$(k) \times 2 = 6,048 (\text{頭}) \cdots \cdots (l)$$

である。また, アメバチは20℃で1世代に約3週間

を要する（野田1998）ので、増産用第1世代が成虫になるまでに、継代飼育分から新たに954頭（ i ）の余剰が生産される。したがって、2世代目の増産に利用できる雌成虫数は、1世代目で増産した数に継代飼育からの余剰を加えた

$$(l) + (i) = 7,002 \text{ 頭} \cdots \cdots (m)$$

で、寄生用容器約117個分（ $(m) / 60 = 116.7$ ）になる。したがって、2世代目で増産可能な雌成虫数の最大値は、

$$117 \times (h) \times 2 \text{ (回)} = 44,226 \text{ (頭)}$$

である。同様に、3世代目では285,588頭、4世代目では1,799,280頭まで雌成虫を増産可能な計算になる。

4．放飼用セイヨウコナガチビアメバチの増産コスト

1) 週産3,000頭の増産コスト

2003年5月～8月にかけて、長野県軽井沢町の約11.4haのキャベツ・レタス混作圃場（キャベツ：レタス＝6：4）と岩手県西根町の48aのキャベツ圃場でアメバチを放飼するために、週産約3,000頭の飼育を実際に行ったので、この生産規模でのコストを試算した。

(1) 年間を通じて週産3,000頭を飼育する場合

寄生用大型容器1個から189頭の雌成虫が得られるので、週産3,000頭とするために、毎週16個の寄生用容器分を生産する。

a) コナガの増産費

寄生に必要なコナガ幼虫を得るためにコナガを増産することになる。寄生用大型容器1個分のコナガ幼虫を得るにはコナガ飼育用丸型容器0.5個分のコナガを飼う必要があるため、週あたりコナガ飼育容器は

$$16 \times 0.5 = 8 \text{ (個)} \cdots \cdots (n)$$

分のコナガを余分に飼育することになる。このためのコストは、

$$(a) \times (n) = 1,480.4 \text{ 円} \cdots \cdots (o)$$

である。

b) セイヨウコナガチビアメバチの増産費

寄生用容器1個分のアメバチの生産費（432.7円）から、16個分のコストは、

$$(c) \times 16 = 6,923.3 \text{ 円} \cdots \cdots (p)$$

となる。放飼用の増産コストは、1週間あたり

$$(o) + (p) = 8,403.7 \text{ 円} \cdots \cdots (q)$$

になる。これに、系統維持にかかる週あたりのコス

ト（ f ）を加えた

$$(q) + (f) = 11,353.7 \text{ 円} \cdots \cdots (r)$$

が週産3,000頭の増殖時における週あたりのコストとなり、このときの雌1頭の単価は

$$(r) / 3,000 = 3.78 \text{ 円} \cdots \cdots (s)$$

となる。これは年間を通じて週産3,000頭で飼育した場合の単価である。

しかし、実際にアメバチを野外に放飼するのは春から夏の期間だけなので、年間を通じて3,000頭を飼育しても、秋から冬の増産分は野外放飼に利用できない。本種を放飼する期間を4月下旬～8月上旬の16週間とすると、増産される個体の69.2%が無駄になる。そこで、放飼されずに捨てられる蜂のコストを放飼雌蜂に上乗せする必要がある。

週産3,000頭の場合、年間（52週）に生産される雌蜂は総計156,000頭だから、これらの蜂の生産にかかる費用は

$$(s) \times 156,000 = 590,392.1 \text{ 円} \cdots \cdots (t)$$

である。これを実際に放飼できる雌蜂の数48,000頭（3,000（頭／週）×16（週））で割ると、放飼雌1頭あたりの単価は

$$(t) / 48,000 = 12.30 \text{ 円}$$

になる。

(2) 1年のうち16週間のみ週産3,000頭を飼育する場合

無駄な蜂の生産を抑えるには、春から夏のアメバチ放飼時期にのみ放飼用の蜂を増殖し、残りの期間は系統維持のみを行えばよい。

そこで、アメバチの放飼を4月下旬～8月上旬とし、その16週間のみ週産3,000頭で蜂を生産しましょう。3,000頭までなら系統維持レベルから1世代で増産することが可能であり（1）、そのための余分なコストは必要としない。したがって、放飼用に16週間増殖されるアメバチのコストに、継代飼育にかかる年間のコスト（ g ）を加えた

$$(q) \times 16 \text{ (週)} + (g) = 288,279.5 \text{ 円} \cdots \cdots (u)$$

が1年間にかかるコストである。これを放飼頭数の48,000頭（3,000（頭）×16（週））で割った

$$(u) / 48,000 \text{ (頭)} = 6.01 \text{ 円}$$

が、このときの雌成虫1頭あたりのコストになる。

2) 週産30,000頭の増殖コスト

(1) 年間を通じて週産30,000頭を飼育する場合

放飼面積の規模を10倍にして、週あたりのアメバチ雌成虫生産規模を10倍の30,000頭とした場合の

コストを試算する。週産30,000頭の場合、寄生用飼育容器159個分を毎週寄生させるため、拡大生産しなければならないコナガは丸形容器80個分で、この費用は $(a) \times 80 = 14,804.4$ 円である。放飼分のアメバチのコストは $(c) \times 159 = 68,800.1$ 円なので、増産分のコストは毎週83,604.5円となり、これに維持管理費 (f) を加えると、週あたりのコストは86,554.5円となる。したがって、年間を通じてアメバチ雌成虫を週産30,000頭で生産した場合の1頭あたりのコストは2.89円である。また、秋から冬に生産される放飼されずに無駄になる蜂のコストを含めた、実際に放飼される雌蜂1頭あたりのコストは9.38円になる。

(2) 1年のうち16週間のみ週産30,000頭を飼育する場合

年間16週のみ週産30,000頭を生産する場合を試算する。この場合、系統維持から週産30,000頭にするには、2世代をかけて増産する必要がある。増産1世代目にかかるコストを計算しなければならない。2世代目にX頭の雌蜂を生産するために、1世代目で増産しておかなければならない雌蜂の数 X_1 は、寄生用大型容器1個から得られる雌蜂の数 (h) と1回の寄生で1容器に必要とする雌蜂の数(60頭)、および常時飼育されている増産のために利用できる雌蜂の数 (i) から

$$X_1 = (X / (h) / 2) \times 60 - (i)$$

となり、 $X = 30,000$ では、 X_1 は3,808頭である。これを生産するために必要な寄生用大型容器の数は、 $3,808 / (h)$ で約20個となり、1世代目の増産でかかる費用は

$$(c) \times 20 + (d) \times 20 / 2 = 16,545.8 \text{ 円} \cdots \cdots (v)$$

で、年間にかかるコストは、放飼用の増産コスト(16週間30,000頭の雌蜂を生産するコスト)に、系統維持の年間コスト (g) と1世代目の増産コスト (v) を加えた

$$83,604.5 \times 16 \text{ (週)} + (g) + (v) \\ = 1,508,038.3 \text{ 円} \cdots \cdots (w)$$

で、年間に16週間のみ週産30,000頭を生産した場合の雌成虫1頭あたりのコストは、

$$(w) / 480,000 = 3.14 \text{ 円}$$

となる。

3) セイヨウコナガチビアメバチの回収に関するコスト

アメバチを圃場で放飼するには、飼育した蜂の蛹

(繭)あるいは成虫を容器から回収し、放飼する現地に輸送しなければならない。蛹(繭)での輸送では、現地到着後にアメバチが羽化するので、放飼個体の羽化後日数経過による消耗がなく、また動かないため輸送にも適しているが、回収作業に時間がかかり、餌の残渣に埋もれた蛹の回収は蛹の見おとしと、破損などがおこりやすく、非効率である。さらに、繭の段階ではアメバチの雌雄鑑別ができず、放飼される雌成虫数を正確に把握できない問題がある。一方、成虫は輸送作業が蛹より繁雑になるが、回収効率がよく、雌成虫数も把握できる。

そこで、回収効率がよい成虫で回収した場合の作業コストを試算する。この場合、寄生用大型容器1個あたりの作業時間は約30分、人件費は387.5円となり、これを寄生用容器1個あたりの雌成虫数で割った雌成虫1頭あたりの単価

$$387.5 / (h) = 2.05 \text{ 円}$$

がアメバチ成虫の回収費用として必要になる。実際には、これに加えて生産量に応じた輸送用容器代と輸送費が加算される。

考 察

アメバチ雌成虫1頭あたりの単価は、週産3,000頭で通年飼育した場合は3.78円(実際に放飼できる雌蜂では12.30円)、年間16週のみ増殖した場合は6.01円であり、週産30,000頭で通年飼育した場合は2.89円(実際に放飼できる雌蜂では9.38円)、年間16週のみ増殖した場合は3.14円と算出された。また、放飼のためには成虫を回収する経費が1頭あたり2.05円加わる。10aあたりのキャベツの株数を5,500株とし、かりにアメバチの放飼雌頭数を株あたり0.1頭とすると、雌蜂1頭あたりの単価を週産3,000頭規模

表4 生産規模に対する放飼可能面積とコスト

生産頭数/週	放飼可能面積 (ha)		10aあたりのコスト* (円)
	A	B	
3,000	1.6	8.7	4,430.8
30,000	16.4	87.3	2,855.6
300,000	163.6	872.7	2,851.3

A: 1haあたりのキャベツ株数を55,000株とし、総放飼密度が株あたり0.1頭となるように3回(週間)に分けて放飼した場合。B: 同じく16回(週間)に分けて放飼した場合。*: 年間16週間のみ目標の生産頭数を生産し、その他の期間は維持のための継代飼育を行った場合で、蜂の回収コストを含む。ただし、週産300,000頭では、2世代の増殖で目標生産数となるように、継代飼育の量を10倍にして計算した。

の年間16週生産で回収費用を込みにした8.06円の場合には、キャベツ圃場で本種を利用する際の10aあたりの費用は4,430.8円になる(表4)。ここで仮定した株あたり0.1頭のアメバチ放飼密度は、岩手県西根町のキャベツ栽培農家圃場で3年間実施した選択性殺虫剤等との併用による防除試験において、コナガ密度を慣行防除並みに抑えることができた放飼密度(未発表)に基づくものである。週産30,000頭規模では2,855.6円、週産300,000頭規模では2,851.3円になり(表4)、生産規模が大きいと10aあたりの単価は低くなる。また、生産規模が大きくなれば、より広域での防除が可能となる。広域での利用は、本種が対象圃場外へ分散することによるロスを小さくするので、より低い放飼密度での防除や、より高い防除効果の実現が期待できる。

ここで示した価格には飼育施設、飼育容器などの減価償却費や光熱水道費等の維持管理費、メッシュや次亜塩素酸ナトリウムなど1個あたりの使用量が極端に少ない消耗品、輸送費などを含めておらず、また毎回寄生蜂が最大量で生産されることを仮定している。さらに、試算の人件費は作業の必要時間をもとに計算されているが、実際には作業者をある雇用形態に合わせて雇用するので、人件費は雇用人数でさまる。例えば、週産3,000頭規模の飼育をしたときに関与した人員は2名であるが、他の仕事と並行して行っており、アメバチの生産だけに携わったわけではない。これらのことから算出したコストは実際に商品化する場合の単価よりかなり安価に見積もられている。しかし、かりにアメバチの販売価格を今回算出したコストの3倍と考えた場合でも、週産3,000頭規模の10aあたりのコストは13,292.5円であり、30,000頭規模で8,566.8円、300,000頭規模で8,553.9円である。利用場面や必要頭数などが全く異なるので単純な比較はできないものの、現在市販されている捕食性天敵のヒメハナカメムシの単価は1頭あたり30～45円程度で10aあたりの1回の防除コストは約20,000円であり、コナガの性フェロモン交信攪乱剤の価格は10aあたり約10,000円であることを考慮すると、本種の生物防除資材化は経済的に可能であると思われる。ただし、本種を一般に耕地面積あたりの利益率が施設型作物より低い土地利用型のアブラナ科野菜作で生物資材として普及させるには、増殖法をさらに改良し、低コスト化を進めていく必要があろう。とくに、飼育規模を大幅に拡大

する場合は単純作業の機械化など、飼育法の抜本的な変更が必要になる。今回示したコナガの飼育体系では、かいわれダイコン飼育で何世代も選抜し、ここで示した飼育方法に適したPxT1系統を用いている。野外採集した個体群などを飼育した場合には、幼虫生存率の低下や、上部蛹化個体の減少、ペーパーへの産卵数の減少などにより、飼育効率は低下すると思われる。このため、コナガ系統を変える場合にはそれに応じた飼育法の見直しが必要である。

試算に用いた性比(0.27)は、2002年8月に調査したアメバチDsTT1系統の実測値($n = 2,490$)であり、2001年から2003年の期間に何度か測定したこの系統の性比は飼育容器ごとに0.17から0.38まで幅があるものの、平均値ではほぼ安定している。東アジア・オセアニア地域で最初に本種を導入したニュージーランドにおける野外採集個体の性比は0.48(Beck 1991)、インドネシアからフィリピンへ導入したときのアメバチの性比は0.44(Amend and Basedow 1997)であり、DsTT1系統の性比は極端に雄に偏っている。雄は次世代の雌を得るために必要であるが、防除効果の面ではコナガ密度を直接抑制することはないので、性比が雄に偏った個体群は生産面で不利なばかりでなく、性比が0.5に近い個体群と比較して次世代の雌数が少ないことにより、防除効果でも劣る可能性が高い。本種の性比が雄に偏る原因として、Noda(2000)は2倍体雄の出現を指摘した。基本的な性決定様式が半数倍数性である膜翅目では、2倍体雄は性決定に関与する1遺伝子座の複対立遺伝子がホモ接合することで出現するとされる(Cook 1993)。すなわち、複対立遺伝子の多様性が低いとより多く出現し、性比を雄に偏らせることになる。このため、この複対立遺伝子の多様性が保たれた個体群を原産地などから新たに導入すれば、飼育系統の性比を改善できると期待される。仮に性比を0.27から0.48に改善すれば、生産効率はそれだけで78%向上する。さらに、アメバチの成虫飼育コストの半分以上を占める雌雄鑑別の労力も軽減されるので回収コストも大幅に削減できる。アメバチの大量増殖を効率的に行うためには、飼育系統の性比を高く維持することが重要な要素の一つである。

また、DsTT1系統は性比以外の遺伝形質も、野生個体群と異なる可能性がある。不妊虫放飼のために沖縄県で大量飼育されたウリミバエでは、飼育系統

と野生系統の間で飛翔力や産卵前期間、産卵期間、生存日数などに差が生じたり (Nakamori and Simizu 1983, 仲盛 1987), 速く生育する個体を選抜したことで性的競争力も低下した (Miyatake and Shimizu 1999)。現在飼育中のDsTT1系統は1989年に導入して以来、室内で継代を続けてきたため、人為的選択やびん首効果によって野生系統と遺伝形質が異なっている可能性が高い。2002年の野外放飼試験において、DsTT1系統が十分なコナガ密度抑制効果を有することは確認済みである (未発表) が、本種が本来はさらに高い防除効果をもつ可能性もある。本種の利用目的であるコナガ密度抑制効果に悪影響を及ぼすような形質の変化については、飼育個体群の品質管理の観点から常に注意していく必要がある。

引用文献

- 1) Amend, J.; Basedow, Th. 1997. Combining release/establishment of *Diadegma semiclausum* (Hellén) (Hym., Ichneumonidae) and *Bacillus thuringiensis* Berl. for control of *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Yponomeutidae) and other lepidopteran pests in the Cordillera Region of Luzon (Philippines). J. Appl. Ent. 121 : 337 – 342.
- 2) Beck, N. G. 1991. Lepidopterous pests on vegetable Brassicas in Pukekohe, New Zealand : Their seasonality, parasitism, and management. Ph. D. Thesis, University of Auckland, p. 36.
- 3) Cook, J. M. 1993. Sex determination in the Hymenoptera : a review of models and evidence. Heredity 71 : 421 – 435.
- 4) 本多健一郎. 1987. 東北地域におけるコナガの越冬と発生消長. 今月の農業 31 (13) : 70 – 72.
- 5) 伊賀幹夫. 1997. コナガの導入天敵 *Diadegma semiclausum* の放飼試験. 日本応用動物昆虫学会誌 41 (4) : 195 – 199.
- 6) 腰原達雄. 1981. 農薬実験法 1 殺虫剤編. ソフトサイエンス社. p.14 – 17.
- 7) 仲盛広明. 1987. ウリミバエの大量増殖系統と野生系統の繁殖特性の変異性. 日本応用動物昆虫学会誌 31 (4) : 309 – 314.
- 8) Miyatake, T.; Shimizu, T. 1999. Genetic correlations between life-history and behavioral traits can cause reproductive isolation. Evolution 53 : 201 – 208.
- 9) Nakamori, H.; Simizu, K. 1983. Comparison of flight ability between wild and mass-reared melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillett (Diptera : Tephritidae), using a flight mill. Appl. Entomol. Zool. 18 (3) : 371 – 381.
- 10) 野田隆志. 1998. 農業技術体系 病害虫防除・資材編 第11巻 「土着天敵 天敵資材」. 農山漁村文化協会. p.163
- 11) Noda, T. 2000. Detection of diploid males and estimation of sex determination system in the parasitic wasp *Diadegma semiclausum* (Hellén) (Hymenoptera : Ichneumonidae) using an allozyme as a genetic marker. Appl. Entomol. Zool. 35 (1) : 41 – 44.
- 12) Noda, T.; Miyai, S.; Takashino, K.; Nakamura, A. 2000. Density suppression of *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Yponomeutidae) by multiple releases of *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera : Ichneumonidae) in cabbage fields in Iwate, northern Japan. Appl. Entomol. Zool. 35 (4) : 557 – 563.
- 13) Waterhouse, D. F. 1992. Biological control of diamondback moth in the pacific. In *Diamondback Moth and Other Crucifer Pests : Proceedings of the Second International Workshop* (N. S. Talekar ed.). Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, p. 213 – 382.