

我が国におけるクサカゲロウの大量飼育の可能性と問題点

玉川大学昆虫学研究室 ^{にい}新 ^{じま}島 ^{けい}恵 ^こ子

はじめに

施設栽培が発達した近年では、施設栽培に適した害虫防除が必要となってきた。特に残留毒性の問題や、花粉媒介昆虫の導入など施設特有の観点から、生物的防除の重要性がクローズアップされ、施設栽培が進んだ北欧ではかなりの実用化が進んでいる。この歴史と現状に関しては本誌にも紹介されているので参照されたい (VAN LENTEREN, 1993)。それによると施設栽培に共通する害虫として挙げられるハダニとオンシツコナジラミに関しては研究が進み、それぞれ捕食ダニであるチリカブリダニ、寄生蜂のエンカルシアによる防除が実用化され、かなりの効果を上げている。しかし、残されたもう一つの大害虫であるアブラムシに関しては、ごく最近になってこれまで野外放飼に利用されていたヒメクサカゲロウや、寄生蜂などが導入され始めたにすぎない。

天敵昆虫の利用の歴史をみると、その成功はベダリアテントウを用いた場合以外は寄生性によるものが圧倒的に多く、これは寄生性天敵の優れた害虫探索能力と環境条件や薬剤散布の影響を受けにくいことからきている。しかし限られた面積で爆発的な大発生をする施設害虫に対しては短時間で害虫密度を低下させる必要が生じ、1頭で多数の害虫を捕食する捕食性天敵が重要となってくる。アブラムシの捕食性天敵として代表的なものにクサカゲロウとテントウムシが挙げられる。テントウムシはベダリアテントウの成功以来、害虫防除への期待は大きく多くの研究者によって増殖が試みられ、一部代用餌による増殖と応用が行われているが施設栽培で利用するまでには至っていない。

I クサカゲロウの有用性

クサカゲロウ科 (Chrysopidae) はアミメクサカゲロウ目 (Neuroptera) では最も大きな科であり、世界で90属、約1800種の記載がある (NEW, 1984)。その食性から成虫幼虫ともに肉食 carnivorous のものと、幼虫は肉食であるが、成虫は花粉やアブラムシなど同翅亜目が分泌する甘露を食べる pollen feeder や honeydew feeder に分けられる (PRINCIPI and CANARD, 1984)。幼虫期

の食性は非常に多岐にわたっており、その記録を拾ってみるとアブラムシ (ほとんどすべての科) はもちろん、カイガラムシ、ヨコバイやキジラミの幼虫、ハダニ、コナカイガラムシ、チョウ目の卵や幼虫、アザミウマ、ハムシ幼虫、など皮膚の柔らかい節足動物を広く捕食することがわかる。彼等は発達した大顎をその餌である昆虫の柔らかい表皮に突き刺しその体液を吸汁するのである。しかもこの突き刺した口器からの分泌物が、餌の消化のほか、時には餌である昆虫に麻酔的な働きをされるとされ、自分より大きいオオアブラムシなども餌となる。この驚くべき広い食性と大食性からクサカゲロウは古くから野外での害虫防除に利用されてきており、その対象作物、害虫の範囲も広く (表-1)、天敵としての有用性が高いことが明らかである。またハウス内のアブラムシ密度が低くなった場合に他の害虫に対する防除効果も期待できる。

世界に広く分布し、広食性の強いヒメクサカゲロウ *Chrysoperla carnea* は大量増殖され、欧米では市販されている。世界で利用されている種としてはこの種が圧倒的に多いが一部にその近縁種である *Chrysoperla rufilabris* や *Chrysopa perla*, *C. formosa*, *C. septempunctata* などの報告もある。

II 我が国での適種を選択

我が国に広く分布するヤマトクサカゲロウ

表-1 野外圃場におけるクサカゲロウの放飼例

対象作物	対象害虫	文献
キャベツ	アブラムシ	ADASHKEVICH & KUZINA 1974
コショウ	アブラムシ	BEGLYAROV & SMETNIK 1977
トマト	アブラムシ	RADZIVILOVSKAYA & DAMINOVA 1980
ナス	コロラドハムシ	ADASHKEVICH & KUZINA 1971
ジャガイモ	コロラドハムシ	ADASHKEVICH & KUZINA 1971
	アブラムシ	SHUVAKHINA 1974, 1977, 1978
リンゴ	ハダニ	SHANDS et al. 1972
		MISZCZAK & NIEMCZYK 1978
		YAN 1981
ナシ	コナカイガラ	DOUET & HAGEN 1949, 1950
ワタ	タバコガ	RIDGWAY & JONES 1969
		KINZER 1976
	アブラムシ	ANONYMOUS 1982

Possibilities and Problems of Mass Production of Chrysopids in Japan. By Keiko NIJIMA

(*Chrysoperla niponensis*) は前記のヒメクサカゲロウとシノニムであるとされた (TSUKAGUCHI, 1985)。したがって我が国で害虫防除に利用する上で、外国で増殖法の確立しているこのヒメクサカゲロウを利用するのも一つである。しかし、ヒメクサカゲロウの成虫は肉食性ではなく、体も小さく、クサカゲロウの中では捕食量が多いとはいえない。そこでここでは我が国で普通種、大型種で、成虫も肉食であるヨツボシクサカゲロウ (*Chrysopa septempunctata*) とヒメクサカゲロウの生態を比較することによってその利用の可能性を考えてみた (表-2)。

食性に関してはヒメはヨツボシより広食性という利点はあるが、その摂食量は明らかにヨツボシのほうが多い。塚口 (1987) は2種のクサカゲロウの幼虫期の摂食量をアオヒメヒゲナガアブラムシを餌として比較し、ヒメは360~452匹、ヨツボシは428~689匹であったと報告している。さらにヨツボシは1か月以上の成虫期間をアブラムシを餌として過ごすので、摂食量の差は大きい。成育期間はヒメのほうがやや短い大きな差はない。産卵数は餌条件や寿命により異なり成虫の食性が違うため一概に比較はできないが、両種とも1日20~30卵、多いときには50卵近く産卵し、死亡するまで1か月以上産み続ける多産性を示す。また両種とも成虫は夜行性で、このことは昼間高温のため天窓や側面を開放しなければならない我が国のハウスにおいてはハウス外への分散を防ぐ。この点は昼間活動するテントウムシより有利な点ともいえる。また野外の分布からヒメは背丈の

低い草本植物を好むとされ、イチゴやスイカなどの作物に適するとされている。一方、ヨツボシは木本に多いとされているが、ヨモギなどの雑草にもしばしばみられ、特に好みがないと考えられる。両種ともある程度の温度と長日条件の下では休眠をせずに世代を繰り返し、経年飼育が可能である。一方、短日条件下では両種とも休眠にはいるが、その状態は大きく異なり、ヒメは成虫で生殖休眠するのに対し、ヨツボシは繭の中で前蛹休眠する。これは特に冬季の短日条件下での放飼には留意を要する点であり、また大量増殖システムの中ではストックカルチャーとして維持する場合のステージとして重要である。アメリカではヒメの場合成虫を低温保存しており、これらは温度を上げると、数日から1週間産卵に至る。一方、ヨツボシは我が国の種では12.5時間以下の日長で休眠に入ることがわかっているが、これを人工的に覚醒することには成功しておらず、必要なときに休眠から覚ますテクニックは今後の課題であろう。

このように両種にはそれぞれの習性があり、ハウス内での利用面という観点から一長一短があり、これらの生態をよく検討した上で適した種を選択する必要がある。今回は我が国の代表種2種のみを比較を行ったが、このほかにもタイワンクサカゲロウ、クモンクサカゲロウ、クサカゲロウ、カオマダラクサカゲロウなど、容易に手に入り、利用の可能性を秘めている種は多くあり、それらの生態を解明することも今後の課題である。特に我が国のハウスの環境は昼夜の温度較差、昼間の異常なほどの高温多湿、それによる殺菌剤の多散布など天敵にとって苛酷な条件が多い。したがってこれらの環境に適応性のある、あるいは作期、作物に適した種を選ぶことがこれらによる害虫防除の成功の大きなポイントである。

表-2 クサカゲロウ2種の生態の比較

ステージ	ヒメ クサカゲロウ	ヨツボシ クサカゲロウ
食性範囲 成虫 幼虫	花粉・honeydew 肉食・非常に広い	肉食・広い 肉食・広い
大食性 成虫 幼虫	無 旺盛	旺盛 非常に旺盛
多産性	大	大
成育期間 (1齢~吐糸)	9~13日	9~14日
活動性 成虫	夜行性	夜行性
活動場所 (成虫)	低(草本)	高(?)
越冬態 (休眠)	成虫	前蛹
年間世代数 (長日条件下)	多	多

III クサカゲロウの人工飼料の歴史と現状

1 代用餌による大量飼育

大量増殖で最も重要となるのは飼料である。湯嶋 (1970) は昆虫の飼育法をその飼料から二つのタイプに分けている。その一つは天然の餌あるいは代用寄主などの天然物そのものを利用する方法で、他の一つは天然物を含むいくつかの素材を加工した人工飼料による飼育である。現在行われている捕食性天敵類の大量飼育のほとんどが前者に入る。肉食性であることから生きた昆虫を餌としている場合が多く、飼育が比較的簡単な貯穀害虫を餌として大量増殖システムが実用化されており、そのいくつかは古橋 (1981) によって紹介されている。クサカゲロウの場合、その歴史は古く FINNEY (1948) によるジャガイモガの卵と幼虫による *C. californica* の飼育が

最初である。しかし比較的簡単とはいえ、その増殖システムの中では餌の飼育に多くの労力が費やされており、したがって飼育に労力のかからない有効な代用寄主を見出すことが研究の課題となってきた。一方このシステムは生きている飼料を使うことによって餌となる昆虫の生命力を利用して天敵のほうの飼育の労力の軽減を図っている。すなわちこの飼料は生きている限りある程度の水分を維持し、また腐敗しないから餌が死亡するか、不足しない限りは餌を交換する必要はないのである。もう一つこの飼育法を助けているのがクサカゲロウの幼虫の消化システムであろう。クサカゲロウの消化管は中腸と後腸の間がほとんど閉鎖されており(図-1)、固形の消化物は通過しない。彼らは吸汁口から体外消化した液状のみを摂食し、幼虫期の排せつは主に水分調節のために行われている。固形の糞は羽化直後に初めて排せつされる。したがって幼虫飼育期に糞やその腐敗による飼育環境の悪化がほとんどない。このことがチョウ目の卵を餌に用いたセルユニットによるクサカゲロウの大量飼育が成功した秘訣であろう。小さなセルに十分なチョウ目の卵とクサカゲロウを1匹ずつ入れることによって、餌替えの労力を省き、さらに捕食虫の飼育につきものである共食いの問題も完全に解決したのである。もしこのシステムをテントウムシに応用したら、おそらくセルにはかびがまん延してしまうであろう。この方法を用いて欧米の企業ではクサカゲロウの大量飼育を行っている(口絵参照)。

2 液体飼料と粉末飼料

このようにクサカゲロウの人工飼料は生きた昆虫を利用した代替餌から出発した。これは前述のように口器が吸汁口であることから人工飼料による飼育が難しいと考

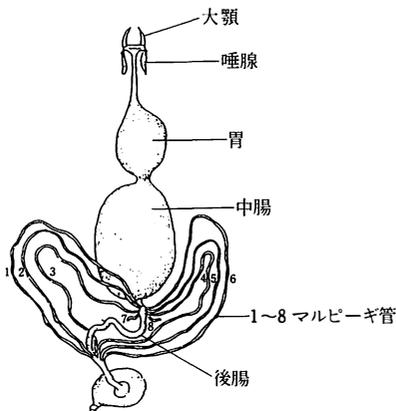


図-1 クサカゲロウの消化システム
(GAUMONT, 1976)

えられたからであろう。HAGEN and HASSAN (1965)はこの点を考慮してイーストとカゼインの加水分解物、果糖、塩化コリン、アスコルビン酸を水で溶かした液状の飼料をパラフィンでコーティングするという技術を開発し、この飼料で羽化率は低い成虫を得ている。この成育日数は50日という異常に長いものであり、爾重もアブラムシ飼育のものに比べると軽いものであったが、液状飼料を薄いパラフィンで包む発想や昆虫タンパク以外の合成飼料で成虫まで飼育したという功績は大きい。その後飼料の成分の検討が加えられ、さらにより成育結果が得られている(VANDERZANT, 1969, HASSAN and HAGEN, 1978)。またコーティング方法もゼラチンカプセルやワックスコーティングなど改良が重ねられ、中国ではこのシステムで *Chrysopa cincica* の大量増殖に成功したと報告されている(CAI et al., 1983)。このように、クサカゲロウは生きた昆虫でなくても飼育が可能であることが明らかになったが、その飼料が液状でなければならないということから、この液状飼料の加工に技術、経費の面で問題が残った。

そこで入手に労力がかからない餌としてセイヨウミツバチの雄蜂児の利用が考えられた。雄蜂児はアブラムシ捕食天敵であるテントウムシの累代飼育に有効であることがわかっていたが(岡田, 1970, 岡田・新島(1971)はこの雄蜂児でヨツボシクサカゲロウの累代飼育に成功した。この餌はこれまでのチョウ目の卵や幼虫と同じ昆虫タンパクであるが、その増殖に手間がかからないことに大きなメリットがあり、養蜂産業の副産物として大量生産も可能である。しかしこの餌の最大の欠点として腐敗しやすいという点があり、これを解決するため凍結乾燥粉末がつくられた。クサカゲロウの口器は吸汁口であり、粉末餌で飼育できることは意外であったが(OKADA et al., 1974)、幼虫がこの餌を食べられるのはこの餌が吸湿しやすいのと、幼虫が酵素を分泌し(GAUMONT, 1976)体外消化するからである(口絵参照)。そしてこの餌はヨツボシクサカゲロウ以外の数種のクサカゲロウにも有効であることがわかった(表-3)。しかし、粉末餌であるがために水分の供給という問題が残されており、現在は餌と水を別々に給仕しており、労力的な解決にはなっていない。

3 栄養要求性の研究と低コスト飼料

このようにクサカゲロウの人工飼料の研究は実用化に向かって進んできており、栄養学的な研究は多くはない。しかし、それぞれの種の栄養要求性が明らかになればその栄養を満たしたより安価な素材を用いることによって低コストの飼料をつくることができる。そこで上

記の雄蜂児粉末を利用して栄養学的な研究が進められた。まず飼料の分析が行われた。図-2 にアブラムシと雄蜂児粉末及び比較としてカイコの蛹の主要成分比を示した。これからもわかるように雄蜂児粉末の成分はアブラムシに非常に類似しており、さらにアミノ酸や無機塩の組成も似ていることがわかり、この飼料がアブラムシ捕食性天敵に広く有効である可能性が示唆される (NIIJIMA et al., 1986)。それらの分析結果をもとに飼料の成分を化学物質に置き換える作業が続けられ、化学物質だけからなる合成飼料が作られた。最初その飼料は VANDERZANT らの用いた広食性で飼育が容易とされているヒメクサカゲ

ロウにためされ、累代飼育が可能であることが明らかになった (HASEGAWA et al., 1989)。その後ヨツボシクサカゲロウも成育可能なことがわかり、その成分を削除、添加することにより、その栄養要求性が明らかになりつつある (NIIJIMA, 1990, 1993a, b)。その中で重要なのは糖とアミノ酸の比率であり、脂溶性成分の要求が低いことがわかった。完全化学飼料は大量増殖のための条件である低コストという条件を満たしてはいないが、この完成によって栄養要求性が明らかになり、人工飼料の開発につながるのである。堀江ら (1980) は低コストのカイコの人工飼料を開発するために家畜の飼料開発に用いられている線形計画法を導入した。これは発育に必要な栄養素を満足させ、しかも安価な素材を組み合わせる最も安価な飼料を設計するもので、栄養要求性が明らかになってこそ活用できる方法である。この方法の導入によってクサカゲロウの安価な人工飼料の開発も近い将来実現するであろう。

IV 我が国での大量飼育の可能性と問題点

欧米ではクサカゲロウを含む捕食性天敵の企業レベルでの大量増殖が行われているが、現在のところ我が国では企業レベルで行われているところはないようである。天敵類に限らず我が国の昆虫類の人工飼料の研究や飼育技術はカイコやミバエなどかなり進んでおり、欧米に比

表-3 ミツバチ雄蜂児粉末によるクサカゲロウの飼育結果

学名	和名	幼虫発育	成虫の寿命	産卵	世代
<i>Chrysopa formosa</i>	クモンクサカゲロウ	++	++	+	4
<i>C. intima</i>	クサカゲロウ	++	++	+	1
<i>C. perla</i>	——	++	?	?	3
<i>C. septempunctata</i>	ヨツボシクサカゲロウ	++	++	++	6
<i>Chrysoperla carnea</i>	ヒメクサカゲロウ	++	++	++	6
<i>Chl. furcifera</i>	アカスジクサカゲロウ	+	++	+	1
<i>Mallada formosanus</i>	タイワンクサカゲロウ	+	+	+	1

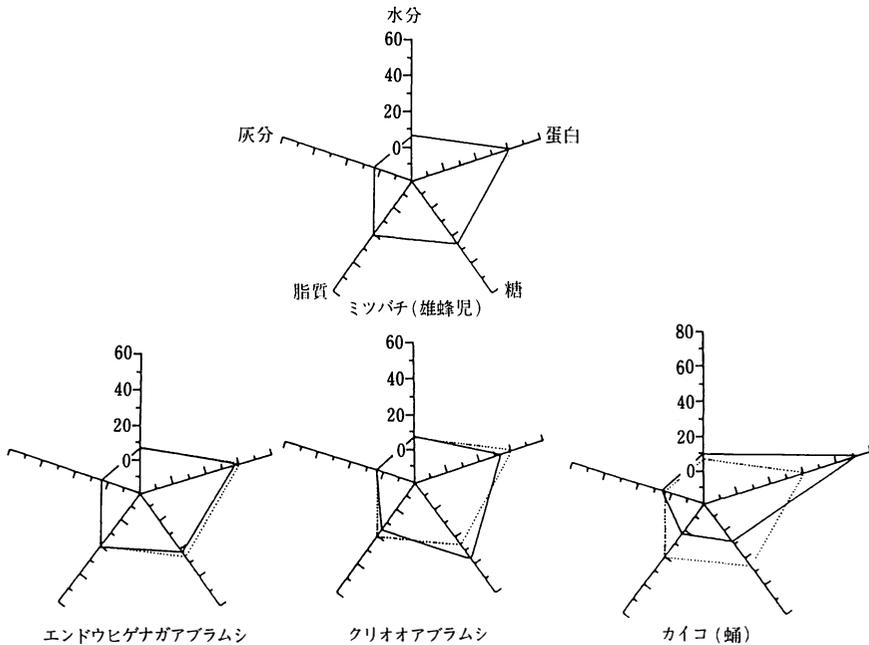


図-2 数種昆虫の凍結乾燥粉末の主要成分 (%) の比較 (破線は雄蜂児の値を示す)

べ決して劣っているとは思われない。ミツバチ雄蜂児粉末のようにかなり広い種をカバーする飼料も見いだされており、このような素材で、しかも食品加工技術を応用して人工被膜の“人工卵”をつくり、個体飼育式の増殖システムを設計すればクサカゲロウの大量増殖は十分可能と考えられる。もちろん大量増殖のシステム化においては飼料のほかに解決すべき点は多々あるであろうが、現在の昆虫学の知識をもって当たればそれぞれの場面で解決法が見いだされるに違いない。ビニールハウスを含む我が国の施設栽培面積から考えて、必要な生産規模はかなりのものであり、企業的にも十分成立するはずである。

それではなぜ我が国で、大量増殖システムが進まないのでしょうか。最も問題となるのは生産が可能になった場合、本当に農家が使うか、あるいは使いこなすかということであると私は考える。第一には天敵利用の必要性を農家がどれくらい感じているかである。これは消費者の意識にもつながる。第二に天敵に対する不安感である。本当に天敵が効果を上げてくれるだろうか？ 農薬と異なり、生き物であるからその扱いを間違えると本来の効果がでない危険性がある。これらを解決するためには多くの実用試験と、それに基づく十分な指導、マニュアルが必要となってくる。

最後に天敵生産者側としては天敵類の需要が季節的あるいは年次的に変動があるということであろう。したがって需要に合った生産体制が必要になってくるであろう。不必要なときには休眠などを利用してストックすることにより、むだな生産、労力を避けることも重要である。また、複数の天敵を扱うことにより、年間を通じて継続的な製品の生産を計り、労力の配分も考える必要があろう。

おわりに

天敵の人工飼料を研究している我が研究室ではここ数

年飼料を分けてほしい、あるいは天敵を実際に使いたいのだがどこで手に入るだろうか？ という問い合わせをしばしば受ける。これは天敵の必要性を感じながらも実際に実施できないでいる農家も多いことを示している。特に花粉媒介昆虫であるミツバチの導入やマルハナバチが最近輸入されるようになり、その必要性が高まっている。農作業の省力化は進む一方であるから、これら花粉媒介昆虫の導入はどんどん広がるであろうし、またハウスのような閉鎖系での危険を伴う農薬散布から考えれば、天敵放飼は楽な作業であり、またうまく使えば長期間の効力も期待できる。もちろんマルハナバチのように天敵を輸入することも可能ではあるが、生き物の運搬の難しさと今後の需要の伸びを考えれば、我が国で我が国に合った天敵を増産することを希望したい。

主な参考文献

- 1) FINNEY, G. L. (1948): J. Econ. Entomol. 43: 719~721.
- 2) 古橋嘉一(1981): 植物防疫 35: 41~44.
- 3) GAUMONT, J. (1976): Anns. Sci. Nat., Zool. Biol. Anim., Paris 18: 145~249.
- 4) HAGEN, K. and R. L. HASSAN (1965): J. Econ. Entomol. 58: 999~1000.
- 5) HASSAN, S. A. and K. S. HAGEN (1978): Z. Ang. Entomol. 86: 315~320.
- 6) HASEGAWA, M. et al. (1989): Appl. Entomol. Zool. 24: 96~102.
- 7) NIJIMA, K. (1989): Bull. Fac. Agric., Tamagawa Univ. 29: 22~30.
- 8) ——— (1993a): Appl. Entomol. Zool. 28: 81~88.
- 9) ——— (1993b): ibid. 28: 89~95.
- 10) ——— et al. (1986): In Ecology of Aphidophaga, Academia, Prague: 37~50.
- 11) ——— and M. MATSUKA (1990): FFTC Book Series 40: 190~198.
- 12) 岡田一次・新島恵子(1971): 遺伝 25: 41~44.
- 13) OKADA, I. et al. (1974): Bull. Fac. Agric. Tamagawa Univ. 14: 26~32.
- 14) TSUKAGUCHI, S. (1985): Kontyu 53: 503~506.
- 15) 塚口茂彦(1987): インセクトリウム 14: 174~180.
- 16) 湯嶋健(1970): 農業および園芸 45: 1633~1636.
- 17) VANDERZANT, E. S. (1969): J. Econ. Entomol. 62: 256~257.
- 18) VAN LENTEREN, J. C. (1993): 植物防疫 47: 261~265.