水田におけるアキアカネ幼虫のシナハマダラカ幼虫 に対する天敵としての役割に関する研究

2. 実験室内における捕食能力

浦 辺 研 一* 池 本 孝 哉** 会 田 忠 次 郎*,***

* 埼玉県衛生研究所 (〒 338 埼玉県浦和市上大久保 639-1)

** 帝京大学医学部寄生虫学教室 (〒 173 東京都板橋区加賀 2-11-1)

(受領: 1985 年 10 月 11 日)

Studies on *Sympetrum frequens* (Odonata: Libellulidae)
nymph as a natural enemy of the mosquito larvae,
Anopheles sinensis, in rice fields

2. Evaluation of predatory capacity and efficiency in the laboratory

Kenichi URABE,* Takaya IKEMOTO** and Chujiro AIDA*,***

* Saitama Institute of Public Health, 639-1, Kamiokubo, Urawa 338, Japan

** Department of Parasitology, School of Medicine, Teikyo University, 2-11-1,
Kaga, Itabashi-ku, Tokyo 173, Japan

Key words: *Anopheles sinensis* larvae, *Sympetrum frequens* nymphs, prey-predator relation-
ship, predatory capacity, predatory efficiency.

はじめに

埼玉県南部の水田地帯においては、5月下旬から7月上旬にかけて多数のアキアカネ *Sympetrum frequens* 幼虫の生息がみとめられる。ある種のトンボ幼虫が、蚊幼虫をよく捕食することはすでに知られており(渡辺ら, 1968; 森・和田, 1974), 本地域においてもアキアカネ幼虫が蚊幼虫、とくに優占種であるシナハマダラカ *Anopheles sinensis* 幼虫の重要な天敵となっている可能性が考えられた。そこで、われわれは捕食の判定に免疫電気浸透法(浦辺ら, 1982)を用いた野外調査をすすめているが、今回は実験室内において、アキアカネ幼虫のシナハマダラカ幼虫に対する捕食能力の評価と捕食行動の観察を行ったので報告する。

*** 現住所: 埼玉県川越保健所 (〒 350 川越市宮元町 33-1)

材料と方法

材料は前報(浦辺ら, 1982)と同じく、アキアカネ幼虫は埼玉県大宮市郊外の水田より採集し、シナハマダラカ幼虫は実験室で継代飼育中のものを用いた。採集したアキアカネ幼虫は、アカイエカ *Culex pipiens pallens* 幼虫を与えて飼育し、適宜実験に供した。

実験は、1978年と1979年の6月から8月にかけて、温度25~28°C、自然日長下の室内で以下のとおり行った。

なお、アキアカネ幼虫の齢期については、木下・小尾(1931)を参考に決定したが、Table 1に今回供試した各齢幼虫の頭幅・体長・体重の平均値を示した。

実験 1

餌数と捕食数の関係を調べる実験では、深さ5 cm まで水を入れた高さ6 cm、直径10 cmの腰高シャーレを

Table 1 *Sympetrum frequens* nymphs examined.

Instar	Head width* (mm)	Body length* (mm)	Body weight* (mg)
8	3.2 ± 0.18	9.0 ± 0.87	49 ± 11.0
9	4.2 ± 0.08	12.3 ± 0.70	107 ± 12.5
10	5.3 ± 0.13	15.9 ± 1.17	203 ± 25.2

* Mean ± S.D.

用いた。この中に、4齢または2齢のシナハマダラカ幼虫を1, 2, 4, 8, 16, 32, 64および128匹ずつ入れ、それぞれに8齢, 9齢または10齢のアキアカネ幼虫を1匹放して1日あたりの捕食数を調べた。供試前24時間絶食させた別個体のアキアカネ幼虫を供して、餌数が1~32匹の区では5~10回、64匹および128匹の区では3~5回繰り返した。

実験2

捕食者アキアカネ8齢幼虫が9, 10齢を経て羽化するまでの捕食数を実験1と同じ容器の中で観察した。脱皮直後の8齢幼虫にシナハマダラカ4齢幼虫を不足のないように毎日40匹前後与えた。

実験3

単位面積あたりの餌密度と捕食数の関係を見るために、底面積の異なる円形容器を用いた。これらの中にシナハマダラカ4齢幼虫を20匹ずつ入れ、それぞれにアキアカネ10齢幼虫を1匹放し24時間後の捕食数を調べた。容器の大きさは直径10, 20, 40, 80 cmの4段階設定し、深さ5 cmまで水を入れた。観察は、24時間経過後に捕食された数の蚊幼虫を新たに追加して、3日間連続して行った。

実験4

餌の齢期の違いと捕食数の関係を見るため実験1と同じ腰高シャーレを用いた。この中に、4齢と2齢のシナハマダラカ幼虫を48匹ずつ混ぜて入れ、アキアカネ10齢幼虫を1匹放し24時間後の捕食数を観察した。実験は、供試前24時間絶食させた別個体のアキアカネを供して5回繰り返した。

実験5

シナハマダラカ幼虫の活動性の齢期による違いを見るために、幅10 cmのドーナツ状の水路（外周約90 cm, 内周約30 cm）を用いた。この中に4齢と2齢のシナハマダラカ幼虫を別々に10匹ずつ放し、それぞれにおいて外周淵から内周淵へ、またはその逆へ移動した匹数を数えた。観察は各齢とも水路へ放してから10分後より4時間連続して行った。

実験6

捕食活動時刻をみるために、シナハマダラカ4齢幼虫

60匹を入れた四つのバット（25×38×6 cm, 水深5 cm）にそれぞれアキアカネ10齢幼虫を1匹放し、1979年6月23日午前7時から同24日午前9時まで、1時間おきに捕食数を数えた。夜間の観察には懐中電灯を使用した。蚊幼虫がバットの周辺に集中するのを防ぐため、水を満たした高さ5.5 cm, 直径2.5 cmの管瓶24個をバットの中に規則的に並べた。アキアカネ幼虫は、供試前24時間から観察中と同一条件下においた。

実験7

アキアカネ幼虫の移動距離をみるため、実験6と同様の設定をして、1979年8月15日と同22日に30分おきにバット全体を真上から写真撮影し、各時点におけるアキアカネ幼虫の位置を記録することにより移動距離を計測した。撮影時に毎回ストロボをバットの下から発光させたが、トンボ幼虫、蚊幼虫ともストロボ光による動揺のないことをあらかじめ確認した。

結 果

実験1：餌数と捕食数

Fig. 1に示すように、餌が4齢幼虫の場合には、はじめ捕食数は餌数の増加に応じて高まり、しだいに一定の値に近づく飽和型を示した。観察された飽和値は、捕食者アキアカネの齢期によって異なり、8齢ではおよそ15匹、9齢では20匹、10齢では30匹と齢期がすすむほど高い値になった。餌をすべて2齢幼虫とすると、餌数の増加にともない、捕食数は直線的に高まり、今回設定した餌数を越えてもさらに捕食数は高まるものと思われた (Fig. 2)。

飽和型を示す餌数と捕食数の関係が円盤方程式 (disc equation) で近似されることは、Holling (1959) によって示され、Royama (1971) は餌数が捕食によって減少するときのその一般式を提案した。

すなわち、

$$Z = X_0 (1 - e^{-a(Yt - hZ)})$$

ここで、 X_0 : はじめに与えた餌の数、 Z : 捕食数、 Y : 捕食者の数、 t : 時間、 h : 1匹の餌を捕え食うときに要する時間、 a : 定数。

今回の実験で得られたアキアカネ幼虫の数値につい

Fig. 1 Relationships between initial density of prey (*An. sinensis* 4th instar larvae) and number of prey fed by a predator (*S. frequens* nymph), in container having 10 cm diameter. Vertical lines show the 95 % confidence limits. Curves are fitted by the generalized disc equations (Royama, 1971).

て、この式をあてはめてみると、餌が4齢幼虫の場合はFig. 1に示されるようによく一致した。図中の理論曲線の式は以下のとおりである。

$$8 \text{ 齢幼虫} : Z = X_0 (1 - 0.0143 e^{0.241Z})$$

$$9 \text{ 齢幼虫} : Z = X_0 (1 - 0.0758 e^{0.104Z})$$

$$10 \text{ 齢幼虫} : Z = X_0 (1 - 0.0682 e^{0.0756Z})$$

なお、 $X_0 \rightarrow \infty$, $Y = 1$ 匹, $t = 1$ 日において、8 齢では $Z_\infty = 17.6$, $a = 4.249$, $h = 0.0567$, 9 齢では $Z_\infty = 24.8$, $a = 2.580$, $h = 0.0403$, 10 齢では $Z_\infty = 35.5$, $a = 2.685$, $h = 0.0282$ となる。

餌が2齢蚊幼虫において得た数値については、Royamaモデルへのあてはめが不可能であった。

実験 2: 捕食者の発育段階と捕食数

アキアカネ幼虫は、8 齢期には 55~71 匹、9 齢期には 105~154 匹、そして 10 齢期には 312~356 匹の 4 齢蚊幼虫を捕食し (Fig. 3), 以上の齢期間 (27~30 日間) におけるアキアカネ幼虫 1 匹あたりの総捕食数は平均 524 匹であった。

また、アキアカネ幼虫は羽化直前の 3~4 日間はほとんど捕食しなかったが、通常の脱皮時にはその前後においても捕食した。これより、通常捕食する期間の 1 日あたり捕食数を算出すると、それぞれおよそ、8 齢が 12 匹、9 齢が 19 匹、10 齢は 28 匹となった。

実験 3: 単位面積あたり餌密度と捕食数

捕食者に対し一定の数の餌を与えたにしても、その実験に使用した容器の大きさが異なれば、捕食反応の結果は当然違ってくると思われた。結果は、容器の直径が 10, 20, 40 cm の間ではいずれも放した 20 匹のうち捕食されたのは約 14 匹で容器の大きさによる差はほとんどみられず、80 cm になると約 4 匹に減少した (Fig. 4)。最小の容器 (直径 10 cm) との面積比で換算すると、16 倍の面積の容器 (直径 40 cm) までのそれぞれの中に同じ数の餌幼虫がいれば、単位面積あたり餌幼虫密度が変わるにもかかわらず、被捕食率は変わらない結果となった。

実験 4: 餌の齢期の違いと捕食数

餌である蚊幼虫の齢期による、捕食者アキアカネ幼虫の反応の違いをみた。4 齢と 2 齢の蚊幼虫が 48 匹ずつ混ぜて与えられた場合、5 回の実験の繰返しで、いずれも 4 齢幼虫の方がより多く捕食された。平均値でみると、2 齢幼虫は 32.5 % が捕食され、4 齢幼虫は 68.3 % と約 2 倍の差があった (Table 2)。

実験 5: シナハマダラカ幼虫の活動性の齢期による違い

トンボ幼虫の捕食行動は餌動物の活動性に影響されると考えられる。シナハマダラカ幼虫の活動性に齢期による違いがあり、これが実験 4 の結果に反映されたのではないかと推測し、これを確かめるためにこの実験を行っ

Fig. 2 Relationships between initial density of prey (*An. sinensis* 2nd instar larvae) and number of prey fed by a predator (*S. frequens* nymph), in container having 10 cm diameter.

Vertical lines show the 95 % confidence limits.

た。水路の外周淵と内周淵の間を渡った蚊幼虫の1時間あたり延べ匹数は、2齢幼虫では6.8、4齢幼虫では14.3で、4齢幼虫は2齢幼虫の2倍以上の活動性を示した (Table 3)。

実験6：捕食活動時刻

アキアカネ幼虫の捕食活動は、日没前後や夜半など夜間活発となる傾向があり、Fig. 5 に示すように4例の平均値でみると、日没前後から日の出までの間に観察中における全捕食数の約70%を捕食した。

実験7：アキアカネ幼虫の移動距離

実験3の結果からみても、アキアカネ幼虫は餌動物の探索や追跡を行うと考えられた。そこで、蚊幼虫を入れたバットに放飼したアキアカネ幼虫の位置を30分おきに記録したところ、24時間で1例は434 cm、他の1例は485 cm と、450 cm 前後の累積移動距離をみとめた。

昼夜の間で移動に関する明瞭な差異をみることはできなかった。

考 察

1. 捕食数の限界値

前報に示したように、アキアカネ9齢幼虫はシナハマダラカ4齢幼虫1匹を30数時間でほとんど消化吸収すると考えられるから、24時間絶食後に実験に供したアキアカネ幼虫はかなり空腹状態にあったことが想像され、実験1の結果から Royama のモデルで推定された極限值 (Z_{∞}) は、アキアカネ幼虫が通常1日で捕食する限界を少し越えた値と考えられる。実際、実験2で示した連日十分な量の4齢蚊幼虫を与えた場合の1日あたり捕食数とくらべてみると後者は前者の7~8割となった。いずれにせよ、アキアカネの8齢から10齢幼虫1

Fig. 3 Daily changes of prey (*An. sinensis* 4th instar larvae) consumption by developing predator (*S. frequens* nymph).

Fig. 4 Number of preys (*An. sinensis* 4th instar larvae) fed by a predator (*S. frequens* 10th instar nymph) in different sizes of container.

Initial number of preys were 20 in each container. Vertical lines show the 95% confidence limits.

匹は、最高1日あたり12~28匹のシナハマダラカ4齢幼虫を捕食するといえよう。

以上の、アキアカネ老齢幼虫の4齢蚊幼虫に対する1日あたりの捕食量は、Yamagishi (1966) が報告したグッピーのアカイエカ4齢幼虫に対する捕食数と、また佐藤ら (1972) が報告したカダヤシによるそれと比較しても遜色のない結果である。なお、実験2に供したアキアカネ幼虫はすべて7月上旬に羽化したが、各齢期の平均日数は8齢が5.3日、9齢が6.8日、10齢が16日とな

り、木下・小尾 (1931) が同時期に蚊・ユスリカの幼虫、かげろう類の幼虫およびユリミミズ等を与えて飼育した結果よりもやや短かった。このアキアカネ幼虫の経過日数からみて、シナハマダラカ幼虫の餌としての質はアキアカネの発育にとって不足ないものと思われる。

一方、2齢蚊幼虫に対する捕食数は、8~10齢のアキアカネ幼虫が1日あたり100匹以上を捕食しうることがわかった。餌に対する摂食度という観点からすれば、この場合捕食した数よりも量が問題となる。実際 Table 3 で示したように、2齢蚊幼虫の生体重は4齢蚊幼虫の100分の1程度しかなく、4齢12匹を摂食したアキアカネ8齢幼虫は、量的に単純に換算すると2齢幼虫なら1,200匹摂食することになる。したがって、2齢幼虫128匹以下で行った実験 (Fig. 2) では餌不足であり飽和に達する曲線が得られなかったものと解釈できよう。

2. 餌の発見効率

餌数と捕食数との関係を見た Fig. 1 と Fig. 2 における結果を、今度は供試した各餌数に対して捕食した餌数の割合 (捕食率) として表したのが Fig. 6 である。各齢のアキアカネ幼虫とも、4齢蚊幼虫に対する捕食率は、観察結果からも予想されるとおり密度が増加すると低下しているが、2齢幼虫に対しては逆に、はじめ密度の増加に伴って上昇し、その後は高率のままほぼ一

Table 2 Consumption rates of 2nd and 4th instar larvae of prey by their predator of 10th instar nymphs per day in a container having 10 cm diameter.

	Prey instar	
	2nd (48 individuals)	4th (48 individuals)
Exp. 1	31.3% (18.7-46.3%)	64.6% (49.5-77.8%)
Exp. 2	10.4 (3.5-22.7)	68.8 (53.7-81.4)
Exp. 3	52.1 (37.2-66.8)	77.1 (62.7-87.9)
Exp. 4	50.0 (35.2-64.8)	60.4 (45.3-74.3)
Exp. 5	18.8 (8.9-32.6)	70.8 (55.9-83.1)
Mean	32.5 (26.6-38.8)	68.3 (62.0-74.2)

Figures in the parentheses show the 95 % confidence limits.

Table 3 *Anopheles sinensis* larvae examined.

Instar	Head width* (mm)	Body length* (mm)	Body weight** (mg)	Moving index***
2	0.22 ± 0.026	1.5 ± 0.21	0.23	6.8
4	0.73 ± 0.048	6.0 ± 0.19	25.64	14.3

* Mean±S.D., ** Per 10 individuals, *** No. of individuals moving the opposite side of the container with 10 cm distance per hr.

Fig. 5 Changes in hourly consumption of prey (*An. sinensis* 4th instar larvae) by each predator (*S. frequens* 10th instar nymph). Vertical lines show the standard error.

定の値を示している。すなわち、2 齢幼虫に対しては直径 10 cm の腰高シャーレ内で 8 匹以下の密度では捕食率が急激に低下したのに対し、4 齢幼虫に対しては 1 匹の密度でほぼ 100 % の捕食率となった。また蚊幼虫の 2 齢と 4 齢を混ぜて与えたところ、4 齢幼虫のほうが多数捕食され、4 齢幼虫に対する捕食率は単独で与えられるよりも高まった (Table 2, Fig. 1)。

餌密度を容器の大きさを変えることによって変化させた場合の捕食率を Fig. 7 に示す。直径 10 cm の容器の面積あたりの密度で比較すると、4 齢蚊幼虫約 1 匹の密度であれば 24 時間で約 70 % の捕食率となった。それより低密度になると、2 齢幼虫ですでにみられたように (Fig. 6)、餌として発見される率がさがること示して

いる。

中村 (1972) は、徘徊性のクモ類は餌の動きに反応して捕獲するという観点から、ハリゲドクグモ *Pardosa laura* の捕食効率には餌動物の活動性も重要な要因になっていることを報告した。トンボ幼虫についても、餌として発見するには適当な大きさの動く物体であることが必要といわれている (久田・田中 1982)。アキアカネ幼虫においても、動く餌に対してのみ瞬時に下唇を繰り出して捕食が行われ、また、ある餌個体の動きに反応して捕食動作を起こしたと思われるときでも、餌が静止してしまうとアキアカネ幼虫の動きもそのまま停止することがしばしば観察された。

今回アキアカネ幼虫によってみられた蚊幼虫の齢の違

Fig. 6 Relationships between initial density of prey (*An. sinensis* larvae) and consumption rate of prey by a predator (*S. frequens* nymph) in container having 10 cm diameter.

The values were calculated from the result shown in Fig.1 or Fig. 2.

Fig. 7 Relationships between prey density per unit area of the smallest container having 10 cm diameter and consumption rate of prey (*An. sinensis* 4th instar larvae) by a predator (*S. frequens* 10th instar nymph).

The values were calculated from the result shown in Fig. 4.

いに対する反応の違いも、餌の齢期による活動性と体の大きさの違いに対する、発見率の差によるものと考えることができる。すなわち、蚊幼虫は齢期が進むにしたがって体長体幅の増加とともに動きが活発になり (Table

3), 4 齢幼虫では 1 匹でもアキアカネ幼虫の捕食の対象として十分な条件を備えていると思われるが、低密度の若齢幼虫ではアキアカネ幼虫の捕食動作を十分に誘いえない。

アキアカネ幼虫の捕食活動がおもに夜間であったこと (Fig. 5) は、森・和田 (1974) がタイリクアカネ *Sympetrum striolatum imitoides* およびウスバキトンボ *Pantala flavescens* の幼虫で得た結果と一致する。しかし、徘徊行動自体はとくに夜間に片寄ることなく昼間にもみられ、1 日あたり 450 cm 程度は歩行したが、餌を探索する積極的な意義をもつものか、単純な条件設定のもとでの異常行動かは不明である。実験 7 で得られた値は 30 分おきの位置関係から計測したもののなので、アキアカネ幼虫の実際の歩行距離はこれを上まわったと考えられる。

ま と め

1. アキアカネ幼虫は 8 ~ 10 齢期の約 30 日間に、平均 524 匹のシナハマダラカ 4 齢幼虫を摂食した。
2. 8, 9 および 10 齢のアキアカネ幼虫はシナハマダラカ幼虫を餌として十分に与えられたとき、4 齢幼虫なら 1 日あたりそれぞれ約 12, 19, 28 匹、そして 2 齢幼虫なら 100 匹以上捕食することが可能であった。
3. 餌の密度が比較的低いとき、その発育段階によって捕食する効率が異なった。4 齢幼虫には半径 5 cm の円面積に 1 匹程度の密度で高い捕食効率を示したのに対

し、2 齢幼虫には 8 匹以上の密度が必要であった。これは動く物体を餌として認知するアキアカネ幼虫の特徴に起因し、大きく、活動性の高い 4 齢幼虫のほうが 2 齢幼虫よりも発見される確率が高くなるものと考えられた。

4. アキアカネ 10 齢幼虫は昼夜の別なく、1 日あたり 4 m 以上歩行した。しかし捕食行動は普通日没頃から日の出までの夜間に行われた。

本研究の遂行にさいし、終始多大な配慮を賜った埼玉県衛生研究所、藤本義典前環境衛生部長に深く感謝の意を表する。

引用文献

- 久田光彦, 田中祥貴 (1982): ヤゴの捕食行動のメカニズム. 現代の行動生物学 2・摂食行動のメカニズム (森田弘道, 久保田競編), pp. 111-128, 産業図書, 東京.
- Holling, C. S. (1959): Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can. Entomol.*, **91**: 385-398.
- 木下周太, 小尾充雄 (1931): アキアカネ *Sympetrum frequens* の生活史並びに幼虫の成長に就いて. 動物学誌, **43**: 362-368.
- 森 章夫, 和田義人 (1974): 3 種のトンボ幼虫が蚊幼虫を捕食する時刻について. 熱帯医学, **16**: 41-44.
- 中村和雄 (1972): ハリゲドクグモの捕食に及ぼす餌動物の活動性と密度の影響. 応動昆, **16**: 113-114.
- Royama, T. (1971): A comparative study of models for predation and parasitism. *Res. Popul. Ecol. (Suppl.)*, **1**: 1-91.
- 佐藤英毅, 大久保新也, 佐々 学, 和田芳武, 元木貢, 田中 寛, 山岸 宏, 沖野外輝夫, 栗原 毅 (1972): 徳島市に蚊の天敵として移殖したカダヤシに関する観察. 衛生動物, **23**: 113-127.
- 浦辺研一, 関島安隆, 池本孝哉, 会田忠次郎 (1982): 水田におけるアキアカネ幼虫のシナハマダラカ幼虫に対する天敵としての役割に関する研究. 1. 捕食率推定における免疫電気浸透法 (Electrosynthesis) 利用についての検討. 衛生動物, **33**: 55-60.
- 渡辺 護, 和田芳武, 板野一男, 村主節雄 (1968):

コガタアカイエカ幼虫の天敵について. 衛生動物, **19**: 35-38.

Yamagishi, H. (1966): Ecological studies on the guppy, *Lebistes reticulatus* Peters. II. Experiments on predation of mosquito larvae by guppies. *J. Fac. Sci. Shinshu Univ.*, **1**: 79-92.

Summary

The predatory capacities and efficiencies of *Sympetrum frequens* dragonfly nymphs on *Anopheles sinensis* mosquito larvae were evaluated in the laboratory as part of a series of studies on their prey-predator relationship in rice fields.

The 8th, 9th and 10th instar nymphs of *S. frequens* consumed 12, 19 and 28 individuals of the 4th instar larvae or more than 100 individuals of the 2nd instar larvae of *An. sinensis* per day, respectively, when the prey larvae were plentiful. During the 30-day period between the 8th and 10th nymphal instars (except for 3 or 4 days just before emergence), the nymph of *S. frequens* consumed an average of 524 individuals of 4th instar larvae of *An. sinensis*.

The manner of functional response of the 8-10th instar nymph of *S. frequens* differed according to the instar stage of the *An. sinensis* larvae. The consumption rate per day for the 4th instar larvae of *An. sinensis* was the highest at nearly 1.0 when one individual of the prey was given in a container with a diameter of 10 cm. The rate decreased with increased prey density in the container. When the 2nd instar larvae of *An. sinensis* were given, high consumption rates of about 0.85 were shown at densities of eight and or higher in the container. At densities of four or lower, however, the rate decreased rapidly.

The 10th instar nymph of *S. frequens* wandered at all hours of the day, and the distance moved was about 5 m per day. However, the nymph of *S. frequens* consumed a greater number of *An. sinensis* larvae at night time by comparison with that in the daytime.