水田におけるシナハマダラカ幼虫の生息状況と水質条件

池 本 孝 哉* 彭 城 郁 子**

* 帝京大学医学部寄生虫学教室 (〒 173 東京都板橋区加賀)

** 埼玉県衛生研究所 (〒 338 埼玉県浦和市上大久保)

(受領: 1978年6月30日)

Physico-chemical characters of the water in rice fields in
relation to their suitability for breeding of the
mosquito larvae, *Anopheles sinensis*

Takaya IKEMOTO,* and Ikuko SAKAKI**

* Department of Parasitology, Teikyo University School of Medicine
Kaga, Itabashi, Tokyo 173, Japan

** Saitama Institute of Public Health, Urawa 338, Japan

はじめに

水田に発生している蚊幼虫の生息状況を観察していると、同じ水田内でも多いところと少ないところがあったり、また同時期に隣どうしの水田間でも幼虫密度が全く異なると思われる場面に出会うことがある。これについて Ikemoto (1978) はシナハマダラカ幼虫を対象にその生息状況を、分布パターンの面から詳しく検討した。そして小さな1枚の水田の中でも、幼虫にとっては均質な環境条件ではなく、その結果水田内でやや集中的な分布パターンで生息していること、隣接する水田間ではさらにこの不均質の程度は大きくなり、集中度合も高くなっていることを指摘した。

本報告では、主としてこのような環境の異質性が水田水の物理化学的な性質とどのような関係をもっているのかを検討してみたい。

調査場所と方法

この調査は埼玉県浦和市郊外の、互いに隣接した6枚の水田において、1974年の夏に行った。幼虫の採集方法、調査水田(B-G)は Ikemoto (1976, 1978) に述べたものと同じである。調査は6月から8月まで続したが、6~7月は幼虫密度が低かったため、主として8月に得られたデータについて解析した。なお調査水田の

近くに牛舎や豚舎などはなく、吸血場所からの距離という点では、B-Gの水田はほぼ等価であると考えられる。ライトトラップによる成虫捕集は調査水田から1.5 km離れたところにある豚舎内で行った。

水質条件としてはサンプル杯中の水について、幼虫(蛹を含む)数とともに水温、水量、pH、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を全調査日を通じて、またDOについては8月14日のみ、それぞれサンプルごとについて測定した。このうちpHと $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度については採取した水を即刻実験室へ持ち帰り、比色法(ネスラー試薬による)とpHメーターによってそれぞれ定量し、その他の項目はすべてフィールドにおいて測定した。

結 果

1. 水質条件と幼虫数の水田内変動

1枚の水田内におけるサンプル杯内の水質条件と幼虫数との関係を Fig. 1 に例示した。それぞれの水質条件においてその単位や変動の大きさも異なるので、それぞれの条件ごとに標準正規変量に換算してある。たとえばB水田において、8月14日に6カ所のサンプルを系統抽出して調査したところ、杯内の幼虫数に対して $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と水温が正の相関を示し、pH、DOが負の相関を示した。グラフに示した調査結果のうち、点線で囲んだところが幼虫数の変動と何らかの相関関係がみられ、かつ統計的に有意性を示した場合である。結果は全般的に

** 現在: 〒 496 愛知県海部郡佐屋町大井宮新田

Fig. 1 Relationship of the number of immature mosquitoes to the value of physical or chemical factors of the water in each quadrat

The r -index shows the correlation coefficient between the number of individuals and the value of each factor. ** significant at 0.01, * at 0.05, ° at 0.10 levels

齊一とはいえず、幼虫数と水温の関係では相反する結果も得られた。しかし $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との相関は他とくらべ、比較的良好に検出されているといえよう。

相関のみられた場合の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度値をみると、B水田・8月14日やG水田・8月19日ではサンプル平均値(と最高値)が0.32(0.65) ppm, 0.21(0.60) ppm と比較的高かったのに対し、C水田・8月4日やD水田・8月14日では同様に0.06(0.14) ppm, 0.05(0.14) ppm とだいぶ低い濃度であった。そのほかの場合もおおむねこの程度の濃度値であり、幼虫は少なくとも0.65 ppm以下0.01以上の濃度範囲では1枚の水田内のより濃度の高い箇所、多くの個体が生息している傾向がみられた。

pH と DO については、幼虫密度に対して逆相関を示す場合がみられた。しかし、むしろこれは $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との関連でとらえるべきで、有機物が多く、分解作用が盛んとなって $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高まり、その結果酸素が消費され、炭酸が増加して pH が酸性に傾いたと解釈することができる。

2. 水質条件と幼虫数の時間的変動

1枚の水田における平均的な水質条件は日ごとに变化

するが、幼虫の発消と何らかの関係があるかどうか検討してみた。Fig. 2に示したように調査日ごとの幼虫数変動に対して関連性をもった変動をする水質条件はみあたらなかった。たとえ水質条件が2~3日でめまぐるしく変化しても、生息幼虫数がそれにみあうだけの変動をすることは、産卵や幼虫の発育期間を考えると事実上不可能であるから、この結果は当然ともいえる。

3. 水質条件と幼虫密度の水田間変動

Fig. 3に示したように、生息幼虫数をサンプルあたり密度であらわすと、各水田間でかなりの差がみられる。たとえば8月中の平均密度はB水田において4.98、E水田において1.02と、およそ5倍もの差があった。このような水田間の生息密度の差異と期間中の平均的な水質条件との関連性をみるため、Fig. 4に示したようなグラフ分析を行った。

幼虫密度に対するそれぞれの水質条件の単純相関値をみると、pH、水温、水量はいずれも相関係数値 r が低く有意性を示さないが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度については r 値が0.941と高く、有意性も示した。なお $\text{NH}_4\text{-N}$ と他の水質条件との間に強い相関関係をもつものはなく、水田内

Fig. 2 Relationships of the mean number of immature mosquitoes and the mean value of physical or chemical factors of the water on each census date in August, 1974

Fig. 3 Seasonal prevalence in the population densities of immature mosquitoes per quadrat in each field, and adults collected by light trap at a pigshed 1.5 km away from the census fields

P_1 (opened area) and P_2 (shaded area) show the population densities in each peak.

の場所的な水質の変動でみられた $\text{NH}_4\text{-N}$ と pH との逆相関関係もここでは検出されなかった。したがって上

Fig. 4 Relationships of the mean number of immature mosquitoes per quadrat and the mean value of the physical or chemical factors of the water in each field obtained on all census dates in August

The r -index shows the correlation coefficient for the variation of the number of individuals to be significant at $\alpha=0.02$ level, NS=not significant.

記の相関関係に $\text{NH}_4\text{-N}$ 以外の水質条件はあまり影響を与えていないと考えられる。つまり、少なくとも測定された $0.05 \sim 0.40 \text{ ppm}$ の範囲内では $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高

い水田ほど、幼虫の生息密度が高い傾向があるとみることができる。

4. 水田別幼虫密度の消長

ここでは、幼虫密度の季節消長にみられる特徴を水田間で比較することによって、水質条件との関連性を検討した。

Fig. 3 に示したように各水田別の消長曲線を見ると、どの水田においても6月から7月中頃まではほとんど生息が認められず、7月終わりから8月初めにかけて第1回目の比較的小さなピーク、つづいて8月中頃に2回目の大きなピークがみられた。

ここで豚舎につけたライトトラップによる成虫捕集成績をも参考とし、消長の谷間のところで区分し、左側の面積で示された総個体数を第1のピークを示す個体群ということで P_1 とする。同様に右側を第2のピークをもった個体群として P_2 とし、さらに P_2 を P_1 で割った値をその比ということで R_P とすると、 $R_P = P_2/P_1$ となる。この式の両辺の対数をとると P_2 の対数値は P_1 と R_P のそれぞれの対数値の和として表わされる。

Fig. 5 Graphical comparison of fluctuations among the fields of the population densities in the 2nd peak (P_2) and the 1st peak (P_1)
 $R_P = P_2/P_1$ (see, Fig. 3)

これを Fig. 5 に示したように各水田ごとにプロットしてみると、 P_2 の変動は P_1 のそれとほぼ平行な関係をもっており、 P_1 が大きいほど P_2 も大きくなっていることを示している。これに対し P_1 と R_P の変動は互いに逆相関を示しており、 P_1 の大きさに比例して P_2 が大きくなるということはないものと考えられた。水質条件との関係で考えると、本種蚊にとって好適な水田の順序は第1のピーク時も第2のときも変わらないが、第2の大きいピークのときの方が好適度の差は縮まってい

るといえよう。

5. 水田別の幼虫生存率

今回の調査では、厳密な意味での生存率は調査していないが、調査期間中得られた生息数を水田ごとに若令幼虫と老令幼虫に分けて考えると、これらの割合は水田別の幼虫期生存率を知るための一つの指標となる。

Fig. 6 は横軸に 若令幼虫数、縦軸に老令幼虫と蛹を合わせた数の平均密度を水田ごとにプロットしてある。(I) は2令までを、(II) は3令までを若令幼虫とした場合である。もし若令幼虫の多少にかかわらずそれから老令にすすむ幼虫の割合が一定なら、各プロットは直線性をもつはずである。

Fig. 6 Relationship of the population density of the old stage larvae (P_o : 3rd, 4th instar larvae and pupae in (I) or 4th instar larvae and pupae in (II)) to that of the young stage larvae (P_y : 1st and 2nd instar larvae in (I) or 1st-3rd instar larvae in (II)). Each spot shows the mean density of P_o-P_y obtained per quadrat in a given census field in August.

結果は若令幼虫の密度が最も高かったB水田において、他の水田におけるよりも生存率が高く、密度が最も低いE水田では逆に生存率が低くなり、全体としてS字型の傾向を示した。

考 察

蚊の幼虫がそれぞれの種類によって特徴のある陸水環境に生息しているのは、まずそこにその種類の成虫が産卵したからにはほかならない。池庄司 (1971) はアカイエカ類の産卵を誘引する化学要因について分析し、水中のタンパク態窒素は誘引物質を生産する微生物の繁殖をうながす栄養有機物質としての役割をもち、DO 濃度と pH 値の低下はその有機物が分解される過程の初期に生じた結果であるとしている。アカイエカ類やヤブカ類に

対しては産卵誘引に関する研究がすすんでおり、注目すべき知見も多い(Ikeshoji, 1966; Hazard *et al.*, 1967; Maw, 1970; Ikeshoji, 1975など)。もちろん本研究では蚊の種類も異なり、たえず灌漑されている水田水と、アカイエカ類が発生する溜水とでは条件も違うので、全く同列に論じるわけにはいかない。しかし今回の野外調査で明らかとなった $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度とシナハマダラカ幼虫密度との関係は、アカイエカ類でみられたのと同様に、間接的であるにせよ産卵誘引と何らかのかかわりをもった結果であるように思われる。水田全体の分布パターンにおいて、若令幼虫ほど分布集中度が高い傾向を示した(Ikemoto, 1978)ことも産卵誘引に関係した水田間の条件の違いの存在を示唆している。

水田内での場所的な $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と幼虫密度との関係は、上に述べた産卵選好のほかに幼虫の移動も考慮に入れる必要がある。Mogi and Wada (1973) は水田地帯におけるコガタアカイエカ幼虫の分布を調べ、その幼虫個体群にとって個々の水田が1つの単位になっていると結論しているように、本種についても水田間の移動はほとんど起こっていないものと考えられ、水田内でのより好適な場所への移動が重要となろう。河床の溜水などに発生する *Anopheles claviger* や *An. messeae* の幼虫は水面をおおってしまうような水草があるところには生息せず、まわりに水草が適度にあり、裸水がパッチ状にあるところに多いと報告されている(Kuhlhorn, 1972)。本調査では水草について直接データを得ていないが、もし水草がよく繁っていれば光合成が盛んとなり DO 濃度が高く pH はアルカリに傾くので、それとは反対の傾向がみられた結果から推測すれば、上の裸水にあたるような箇所には多くの幼虫がいたことになる。そして幼虫が食物量の豊富なところへ移動しているとすると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の存在は幼虫の食物とも関係をもっているように考えられる。

本種と同じく水田で発生するコガタアカイエカについて中村ら(1971)は、幼虫の多い水田水で室内飼育すると生存率が高く、少ない水田水では生存率が低くなるが、後者の場合でも食物を加えてやると生存率は高くなるので、結局水田水中の食物量が水質の適否を決定しているとしている。われわれの野外調査でも幼虫の最も多い水田では幼虫期間の生存率が格段に高い結果が得られた。実際の野外において成虫の産卵をより誘発するような水質条件は、幼虫期の生存にとっても好適なものである可能性が高いものといえよう。

安田(1977)は九州地区河川における理化学的水質指標と生物学的水質判定基準の関連性を総合的に解析し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が 0~0.1 ppm であれば貧腐水性(os),

0.1~0.2 ppm で β 中腐水性(βms), 0.2 ppm 以上で α 中腐水性(αms)であるとした。河川のような流水と水田の水とでは条件も異なると考えられるが、われわれの観察で幼虫密度の高かった水田ではサカマキガイやヒメモノアラガイ、赤色ユスリカ等がいずれも少数生息しており、津田(1964)による生物学的水質判定では α 中腐水性にあたる。また $\text{NH}_4\text{-N}$ が平均約 0.2 ppm を中心に、それより高い濃度の水田で幼虫密度が相対的に高く、濃度が低いと幼虫密度も低くなったことを考え合わせると、津田(1964)や安田(1977)の説明した α 中腐水性に相当する程度の水質条件が、本種幼虫にとって比較的好適なものであるように推測できる。

一方、中村(1978)はコガタアカイエカについて、1令幼虫で条件づけられた水に対し成虫は産卵忌避する傾向があることを実験的に示した。今回の調査でも、相対的に密度の高かった発生消長の第2のピークのときの方が、第1のときよりも水田間密度差が縮まっており、幼虫密度それ自身も生息環境に一定の影響を与えている可能性を示唆している。

ともあれ、成虫の産卵、幼虫の移動、幼虫期の死亡といった過程を経て具現化された幼虫個体群の分布パターンは、ほかにもいろいろな要因が複雑に関与しているには違いないにしても、上に述べたような水質条件と深くかかわりあっていることが明らかとなった。個々の水田内での幼虫分布パターンがやや集中的であり、水田全体での分布パターンが水田内でのそれよりさらに集中的となった(Ikemoto, 1978)のは、1枚の水田内でも場所によって水質の好適度が異なったためであり、水田間の水質の好適度の違いに応じて幼虫の平均生息密度に変異が生じたためであると説明できよう。

ま と め

水田内での場所的な $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(0.01~0.65 ppm の範囲内)と幼虫密度との間に正相関を示す場合がかなりみられた。さらに幼虫発生期間を通じての平均的な水質条件と幼虫密度との関係でも、およそ 0.1~0.4 ppm の範囲内で $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の高い水田ほど発生数が多い傾向がみられた。しかし他の水質条件—水温、水量、pH、DOとの関連性は必ずしも明らかではなかった。これらについて、水田別発生消長の特性や幼虫期生存率の面からも検討を加え、水田での幼虫分布と水質条件との関係を考察した。

本研究を行うにあたり埼玉県衛生研究所藤本義典環境衛生部長、会田忠次郎生物環境科長ならびに同所研究員各位、帝京大学医学部大森南三郎客員教授、常松之典教授、栗原毅助教授ならびに学生諸氏には調査や結果のと

りまとめに際し、また榎本兼吉氏には調査水田の使用に際して、それぞれ多大の御協力を得た。厚く御礼申しあげる。

引用文献

- Hazard, E. I., M. S. Mayer and K. E. Savage (1967) : Attraction and oviposition stimulation of gravid female mosquitoes by bacteria isolated from hay infusions. *Mosquito News*, **27** : 133-136.
- Ikemoto, T. (1976) : A method, using a static quadrat device and a small suction pump, for sampling of the immature stages of mosquitoes in rice fields. *Jap. J. Sanit. Zool.*, **27** : 153-156.
- Ikemoto, T. (1978) : Studies on the spatial distribution pattern of larvae of the mosquito, *Anopheles sinensis*, in rice fields. *Res. Popul. Ecol.*, **19** : 237-249.
- Ikeshoji, T. (1966) : Studies on mosquito attractants and stimulants. *Japan. J. Exp. Med.*, **36** : 49-72.
- 池庄司敏明 (1971) : アカイエカの産卵習性と誘引物質. 衛生動物学の進歩 (第1集) (佐々学編), pp. 67-76, 学術書出版会, 東京.
- Ikeshoji, T. (1975) : Chemical analysis of wood-cresoto for species-specific attraction of mosquito oviposition. *Appl. Ent. Zool.*, **10** : 302-308.
- Kuhlhorn, F. (1972) : Wandlungen des Vegetations- und allgemeinen Milieucharakters von Gewässern im Hinblick auf ihren Brutwert für *Anopheles* (Diptera: Culicidae). *Gesundheitswes. Desinfekt.*, **64** : 177-181.
- Maw, M. G. (1970) : Capric acid as a larvicide and an oviposition stimulant for mosquitoes. *Nature*, **227** : 1154-1155.
- Mogi, M. and Y. Wada (1973) : Spatial distribution of larvae of the mosquito *Culex tritaeniorhynchus summorosus* in a rice field area. *Trop. Med.*, **15** : 69-83.
- 中村央, 吉田政弘, 伊藤恵, 外村勝之 (1971) : コガタアカイエカ *Culex tritaeniorhynchus* 幼虫の水田間の密度差について. 衛生動物, **22** : 176-181.
- 中村央 (1978) : 卵舟や幼虫が条件づけた水のチカイエカとコガタアカイエカの産卵に対する影響. 衛生動物, **29** : 117-123.
- 津田松苗 (1964) : 汚水生物学, 258 pp., 北隆館, 東京.

京.

安田正志 (1977) : 九州地区河川における理化学的水質指標と生物学的水質判定の関連解析. pp. 1-85, 建設省九州技術事務所, 久留米.

Summary

The relationships between physico-chemical characters of water in rice fields and their suitability for breeding of the mosquito larvae, *Anopheles sinensis* were studied during the summer in 1974. The census fields (B-G) were located in the suburb of Urawa city 20 km north of Tokyo. Census fields ranged 0.5-3.0 are containing about 1,600 hills of rice plants per are. The water sample was taken with the use of the quadrat device (25×25 cm) which was pushed firmly into the bottom mud in rice field (Ikemoto, 1976). Temperature, quantity, pH, and concentration of DO and NH₄-N of the water sampled were determined with the instruments or by the chemical analysis. The collected immature mosquitoes were classified into larvae of successive instars and pupae.

It was shown that there is a positive correlation between the number of larvae (pupae inclusive) and the concentration of NH₄-N in the water sampled within the field at the same time. Moreover, the relation of the mean number of immature mosquitoes and the mean concentration of NH₄-N in each field during the summer was shown to be positive in correlation, at least, within the range from 0.1 to 0.4 ppm of concentration. However, the relations between the larval density and the other characters of the water were not clear.

Some discussions were given on the relation between the spatial distribution patterns of immature stages of this mosquito (Ikemoto, 1978) and the heterogeneity of the habitat water conditions presented in this paper. Further studies are needed to prove the propriety of the assumption that the NH₄-N concentrations within a field or among the fields have some positive relations with the oviposition preference of adults, the abundance of immature stages and their survival rates.