

イナトミシオカ *Culex inatomii* の生態に関する実験的研究：
飼育水の塩分濃度および気温が幼虫発育に与える影響と
低温条件下の個体群の繁殖

片野理恵¹⁾ 津田良夫²⁾ 斉藤康秀¹⁾ 小林睦生²⁾

¹⁾ 麻布大学獣医学部獣医学科寄生虫学研究室 (〒229-8501 神奈川県相模原市淵野辺 1-17-71)

²⁾ 国立感染症研究所昆虫医科学部 (〒162-8640 東京都新宿区戸山 1-23-1)

(受領: 2010年2月10日; 登載決定: 2010年4月19日)

Experimental studies on the ecology of *Culex inatomii* (Diptera: Culicidae):
Effects of salinity and temperature on larval development and
reproduction of populations during the cool season.

Rie KATANNO¹⁾, Yoshio TSUDA²⁾, Yasuhide SAITOH¹⁾ and Mutsuo KOBAYASHI²⁾

¹⁾ Department of Parasitology, Faculty of Veterinary Medicine, Azabu University,
Fuchinobe 1-17-71, Sagamihara, Kanagawa, 229-8501 Japan.

²⁾ Department of Medical Entomology, National Institute of Infectious Diseases,
Toyama 1-23-1, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-8640 Japan.

(Received: 10 February 2010; Accepted: 19 April 2010)

Abstract: Laboratory experiments were carried out on the effects of salinity and temperature on larval development of *Culex inatomii*, and the oviposition and blood-feeding activity of emerging females during the cool season. Hatchability, survival rate of larvae, and developmental period from hatch to adult emergence were examined in water containing 0 to 1.6% NaCl. The highest hatching rate (0.91) and pupation rate (0.91) was observed when eggs and larvae were reared in water with 0.6% NaCl. Developmental period from hatch to adult emergence for females was about 12 days within a salinity range of 0 to 1.0%, and larval development was delayed at higher salinities from 1.2 to 1.6%. Development and survival of hatched larvae were examined under 6 different air temperatures between 18°C and 29°C, and the results indicated an optimum air temperature for larval survival of approximately 25°C. The relationship between air temperature and developmental rate of *Cx. inatomii* larvae was analyzed by the linear regression method, and threshold air temperature for larval development was 8.75°C and 9.51°C for females and males. Cohorts of young larvae were reared in the laboratory without temperature control to examine development to adult and reproduction of emerging adults during the cool season. The results of exposure experiments in October-November and early March showed a low adult emergence rate of 0.01 to 0.14 and no egg production. The females oviposited when they were reared under changing temperatures in mid-March and April during the larval stage. Fifty-five to 88% of emerging females laid eggs autogenously, and 41% of the females took more than two blood meals during their life.

Key words: *Culex inatomii*, salinity, temperature, larval development, reproduction

緒 言

動物の感染症には節足動物によって媒介されるものが多数報告されており、我が国でも日本脳炎 (Erlanger et al., 2009) や鳥マラリア (Valkiūnas, 2005) のように蚊によって媒介される家畜や野生動物の感染症が知られている。1999 年以來北米大陸で大流行を続けているウエストナイルウイルス (WNV) は多種類の蚊によって媒介され (Turell et al., 2001, 2005), 人だけでなく馬, イヌ, ネコなどの飼育動物や野鳥類が感染し大きな被害が出ている (Komar et al., 2001; Kulasekera et al., 2001; Ludwig et al., 2002; LaDeau et al., 2007). WNV は極東ロシアでも野鳥から検出されているため (Ternovoi et al., 2006), 北米大陸だけでなくロシアからも我が国に持ち込まれる可能性が出てきた。特に野鳥類には渡り鳥によってロシアから我国に飛来する種類が多く知られており (山階鳥類研究所, 2002), WNV に感染した渡り鳥によるウイルスの持ち込みが危惧されている (Tsuda et al., 2009).

イナトミシオカ *Culex inatomii* Kamimura and Wada は 1968 年に岡山県倉敷市福田の干拓地で初めて採集され記載された (Kamimura and Wada, 1974). しかし, 1996 年に同地で実施された調査 (上村, 松瀬, 1997) では採集されずこの地域の個体群は絶滅したと思われる。その後 1999 年に関西国際空港で再発見され (水田ら, 1999), さらに大阪南港野鳥園 (水田ら, 未発表), 千葉県谷津干潟と東京港野鳥公園 (Tsuda et al., 2009), 新潟県佐潟湿地 (津田ら, 未発表) などの渡り鳥の飛来地で局所的に生息が確認されている。海外では, 韓国で本種の生息が確認されている (Ree, 1998). 本種と近縁でユーラシア大陸に分布する *Cx. modestus* Ficalbi からは WNV が検出されており (Balenghien et al., 2006; Fyodorova et al., 2006), 渡り鳥が WNV のような病原体に感染していた場合, 渡り鳥飛来地に生息する本種が吸血によってその病原体を受け取り, 他種の動物に媒介する可能性があると思われている (Ponçon et al., 2007a, b; Pradel et al., 2009).

イナトミシオカの生態については詳細な研究が行われておらず, 幼虫が塩性湿原や海水の影響を受ける草地にできた溜まり水に発生すること, 成虫が無吸血産卵性を示しヒトや豚を吸血することがわかっているのみである (Kamimura and Wada, 1974; 吉田ら, 1999; 加藤ら, 2006). 2006 年に著者らが東京港野鳥公園で実施した予備観察では, 本種の幼虫発生水域の塩分濃度はゼロであった。これまで本種の発生が確認された生息場所は海岸に隣接したヨシ原内の水域が主で, 内陸の水域での生

息は確認されていない。これらの知見は本種の発生水域がなんらかの要因によって海岸部に限られており, 水域の塩分濃度や植生が密接に関係していることを予想させる。また, 上述したように近年実施された渡り鳥飛来地における疾病媒介蚊調査によって, イナトミシオカの生息地はこれまで知られていた関西地域のみでなく, 関東以北の地域にまで広がっていることが確認されつつあり, 本種はかなり広い地理的分布域を持つと予想される。本研究では, これらの知見に基づきイナトミシオカの分布や生存・繁殖と密接に関係すると思われる要因として, 幼虫生息場所の塩分濃度と温度条件をとりあげ, これら要因が本種幼虫の生存と発育に与える影響ならびに温度条件が成虫の産卵・吸血活動に与える影響を実験的に調べた。

材料と方法

実験に用いたイナトミシオカは, 2006 年 6 月に東京港野鳥公園で採集され 10 月より麻布大学獣医学部寄生虫学教室の飼育室 (室温 25°C, 照明条件 L : D = 14 : 10) で継代飼育されたコロニーより適宜選り出した。幼虫は 0.5% の NaCl を含む飼育水で飼育した。幼虫の餌としては市販されている金魚用の餌 (ミニペット, (株)キョーリン) の粉末を与えた。餌量は若令幼虫では 0.1 mg/個体, 老令幼虫では 0.4 mg/個体を目安として与えた。成虫には濃度 3% の砂糖水を与え 20×20×30 cm のナイロンメッシュ製ケージで飼育した。イナトミシオカは無吸血産卵性なので, コロニーは原則として吸血させずに維持した。

飼育水の NaCl 濃度と孵化率の関係

0~1.6% まで 0.2% 間隔で NaCl 濃度の異なる 9 種類の飼育水を作成した。継代飼育コロニーより産卵後 24 時間以内の卵塊を採取し, それぞれの飼育水 100 ml を入れた 9 容器に移した。容器あたり 10 卵塊を処理し, 1~2 日後に幼虫の孵化が確認された後に, 各卵塊の卵数と孵化した卵数を実体顕微鏡下で調べた。卵塊ごとに孵化率を計算し正弦変換を行った後に, 飼育水の NaCl 濃度の違いが孵化率に影響しているかどうかを分散分析によって検討した。NaCl 濃度区間の孵化率の多重比較は, Tukey's HSD 法によって行った。

飼育水の NaCl 濃度が幼虫の発育および生存率に与える影響

継代飼育コロニーから卵塊を採取し飼育水で孵化させた。孵化後 24 時間以内の 1 令幼虫を 0~1.6% まで 9 つの NaCl 濃度の飼育水に移して飼育した。初期個体群としてそれぞれ 50 個体の孵化幼虫を選び, 200 ml の飼育水が入った腰高シャーレで飼育し, すべての個体が

羽化あるいは死亡するまで幼虫の生存数と発育状況を毎日記録した。飼育水の NaCl 濃度は、蒸発によって減少した水量を毎日補充することによって、一定に保った。各 NaCl 濃度区で実験を 3 回繰り返し、繰り返しごとに成虫羽化までの生存率と発育に要した平均日数を計算した。NaCl 濃度区間の平均値の多重比較は、Tukey's HSD 法によって行った。

飼育温度が幼虫の生存率に与える影響

6 つの異なる飼育温度 (18°C, 20°C, 23°C, 25°C, 27°C, 29°C) を設定して幼虫の発育期間を調べた。それぞれの設定飼育温度下で孵化後 24 時間以内の幼虫 50 個体を初期個体群として 200 ml の飼育水で飼育した。飼育水の NaCl 濃度は 0.5% とした。繰り返しを 2 回行い、それぞれについて幼虫期の生存率、羽化率、成長速度 (平均発育日数の逆数) を求めた。なお、18°C および 27°C 区は 2 回の繰り返しで結果の食い違いが大きかったため、18°C 区はさらに 4 回、27°C 区はさらに 2 回実験を追加して 18°C 区は合計 6 回、27°C 区は合計 4 回の実験を行った。実験区ごと、雌雄別に羽化するまでの平均日数を求め、平均発育日数 (t) とした。有効積算温度則に基づいて成長速度 (平均発育日数の逆数, $1/t$) と飼育温度 (T) について次式を仮定した回帰分析を行って、幼虫発育の限界温度 (発育零点) を推定した:

$$1/t = 1/k(T - C).$$

温度が調節されていない実験室内における幼虫の発育・生存および成虫の繁殖過程に関する実験

麻布大学のプレハブ実験施設内で温度調節が行われていない部屋を選び、野外における気温の季節的变化を反映させた温度条件下で、幼虫発育と成虫の繁殖状況を調べた。実験はイナトミシオカ個体群が繁殖世代から越冬世代に移行すると予想される 10 月、11 月、および越冬世代から繁殖世代に移行すると考えられる 3 月、4 月

に実施し、この期間に発育し羽化した成虫の繁殖過程を調べた。実験室内の気温を自動記録センサー (HOBO, Onset Computer Corporation) によって 1 時間ごとに記録した。また屋外の光を窓から取り込み自然な日長変化を反映させるよう配慮した。低温条件下では実験初期の若令幼虫の死亡率が高いと予想されたので、孵化後 24 時間以内の 1 令幼虫 200 個体を集めて集団で 3 令幼虫まで飼育したものを初期個体群とした。その後、生残して 3 令まで発育した幼虫を 50 個体のグループに分けた。繰り返しのため 2 群を作り、それぞれについて幼虫の死亡率・成虫羽化数を原則として毎日調査した。実験は、2007 年 10 月 1 日、10 月 30 日、2008 年 3 月 1 日、3 月 17 日、4 月 3 日に孵化した幼虫を用いて合計 5 回行った。

羽化した成虫は 20×20×30 cm の成虫ケージに移し濃度 3% の砂糖水を与えて飼育を続けた。産卵用に 200 ml の水を入れたプラスチック容器 1 個をケージ内に設置し産卵の有無と産卵数を毎日記録した。無吸血産卵が認められた成虫ケージには、毎週 1 回金網で固定したマウス 1 匹を 4 時間 (12:00 から 16:00) 入れて吸血させた。吸血した個体はまとめて新たなケージに移し、産卵容器と砂糖水を与えて飼育を続けるとともに、その後も毎週 1 回吸血させた。吸血機会を与えるたびに、吸血した個体を新たなケージに移すことで、産卵数・産卵回数を正確に記録できるようにした。実験区ごとに羽化成虫数、無吸血産卵率、吸血回数を集計し、実験期間中の温度条件との対応を調べた。

結 果

Table 1 に 9 つの塩分濃度区で観察された卵塊の孵化率、蛹化率 (蛹数/初期個体数) および幼虫の平均発育日数を雌雄別に示した。孵化率、蛹化率とも 0.6% 濃度

Table 1. Effects of rearing water salinity on hatching rate, pupation rate and developmental period from hatch to adult emergence of *Cx. inatomii* reared at 25°C.

Concentration of NaCl (%)	Hatching rate	Pupation rate	Developmental period, ♀		Developmental period, ♂	
	Mean*±SD	Mean*±SD	Mean*±SD	N	Mean*±SD	N
0	0.63bc ±0.17	0.63ab±0.02	12.17a ±2.33	36	10.26c ±2.04	39
0.2	0.76ac ±0.22	0.67ab±0.09	13.28a ±1.52	39	11.99ab±2.88	49
0.4	0.71abc±0.16	0.59b ±0.03	12.35a ±3.74	31	11.9ab ±1.05	40
0.6	0.91a ±0.04	0.91a ±0.03	12.17a ±1.68	66	10.18c ±2.47	57
0.8	0.73ac ±0.16	0.53b ±0.03	12.77a ±1.94	27	12.14ab±1.50	44
1.0	0.57bc ±0.22	0.49bc±0.08	12.26a ±2.32	34	10.26bc±2.42	19
1.2	0.73ac ±0.15	0.19cd±0.27	13.82ab±2.31	11	11.8abc±2.09	10
1.4	0.39b ±0.28	0.05d ±0.09	17.67b ±1.40	3	15.0a ±2.31	3
1.6	0.51bc ±0.35	0	—	—	—	—

*Means followed by the same letter are not significantly different (Tukey's HSD-test, $p > 0.05$).

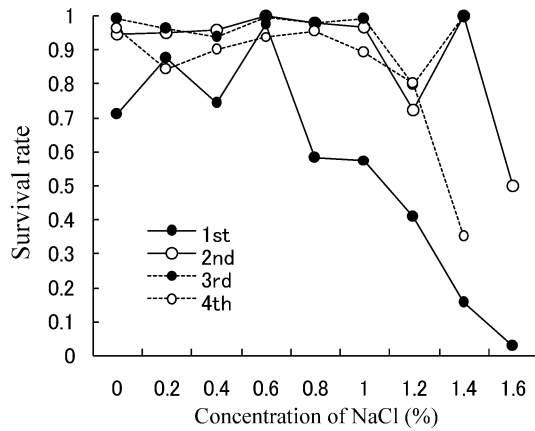


Fig. 1. Effects of rearing water salinity on larval survival during each developmental stage of *Cx. inatomii* reared at 25°C.

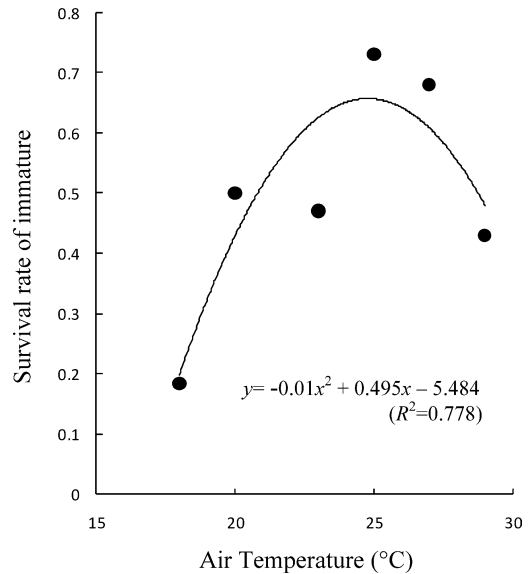


Fig. 2. Relationship between air temperature and survival rate from hatch to emergence of *Cx. inatomii* reared in water containing 0.5% NaCl.

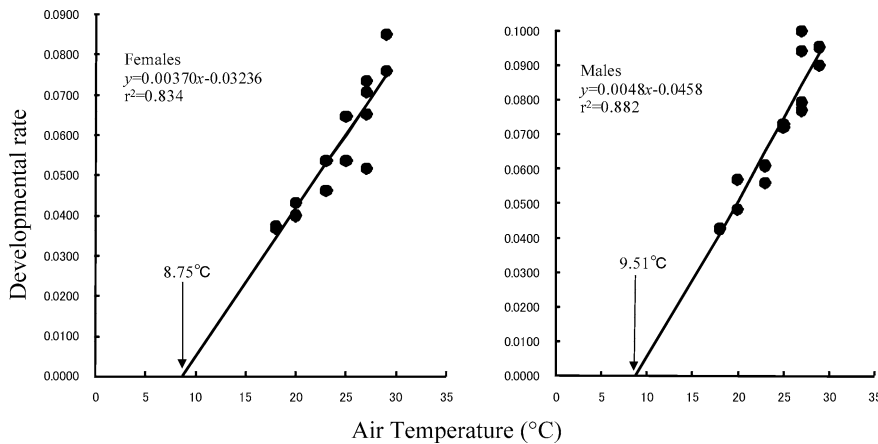


Fig. 3. Relationship between air temperature and developmental rate from hatch to emergence of *Cx. inatomii* reared in water containing 0.5% NaCl.

区)の値が最も高く、NaCl濃度が高くなるにつれて低下し、1.6%濃度区では0.6%濃度区よりも有意に低くなった。幼虫発育は雌雄ともNaCl濃度が高いほど遅くなる傾向がみられた。NaCl濃度1.6%区の発育日数は、雌の場合濃度1%以下の区よりも有意に長く、雄の場合0%、0.6%、1%区よりも有意に長かった ($p < 0.05$, Tukey's HSD-test)。NaCl濃度1%以下の低濃度区での発育遅延は顕著ではなく、特に雌個体の発育日数の差には有意差がなかった。Fig. 1に幼虫の令期ごとの生存率と塩分濃度の関係を示した。塩分濃度の影響は1令

幼虫で顕著で、0.8%以上の濃度区では濃度が高いほど生存率が低くなり1.6%区の1令幼虫生存率はわずか1%であった。2令以降は1%以上の濃度区で特に死亡率が高くなる傾向が見られた。

幼虫の飼育温度と生存率の関係を、温度区ごとに平均生存率を計算してFig. 2に示した。平均生存率は飼育温度25°C付近で最も高く(73%)、それより低い温度区あるいは高い温度区では生存率の低下が観察された。得られたデータに対する2次曲線のあてはめを行ったところ次式が得られた： $y = -0.01x^2 + 0.495x - 5.484$ (決定

Table 2. Development and reproduction of 7 cohorts of *Cx. inatomii* larvae reared in a laboratory without temperature control.

	Cohort							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	1 October*		30 October*		1 March*	17 March*		3 April*
Mean temperature (°C) during the 1 st week of the experiment	22.2±1.65		19.2±1.65		16.9±2.79		16.9±2.54	
Survival rate of immatures**	0.26	0.44	0.12	0.14	0.01	0.68	0.30	0.78
No. of emerging females	7	15	5	4	0	23	11	16
No. of emerging males	6	7	1	3	1	11	4	23
% females ovipositing autogenously	71	20	0	0	—	57	55	88
No. of females taking								
1 blood-meal	0	0	0	0	—	10	4	12
2 blood-meals	0	0	0	0	—	7	2	4
3 blood-meals	0	0	0	0	—	4	1	0
Mean no. of blood-meals per female	0	0	0	0	—	0.9	0.6	1

*Date for initiation of experiments.

**From 3rd instar larva to adult emergence.

係数 $R^2=0.778$). この曲線に基づいて生存率が最高となる気温を推定したところ 24.75°C であった.

飼育温度と発育速度 (平均発育日数の逆数) の関係を雌雄別に Fig. 3 に示した. 有効積算温量則に基づいてあてはめた回帰直線は雌雄とも有意で, 決定係数 (r^2) は雌 0.834, 雄 0.882 であった. 回帰直線の傾きと y 切片の推定値から求めた発育零点は, 雌 8.75°C, 雄 9.51°C であった.

Table 2 に温度が調節されていない実験室内で調査した幼虫個体群の発育と繁殖状況を示した. 10 月から 4 月の低温期に計 5 回の実験を行った. 実験開始後 1 週間の平均気温は 10 月の方が高く 19.2°C と 22.2°C, 3 月と 4 月の平均気温は 16.2~16.9°C であった. 3 月上旬と中旬の個体群は, 1 令幼虫 200 個体で実験を開始したが, 3 令幼虫まで発育した個体はそれぞれ 41 および 51 個体だったので, これらをひとつの個体群 (E と F) として発育と繁殖状況を表に示した. 10 月上旬に飼育を始めた 2 つの個体群 (A と B) では, 3 令幼虫の平均 30% が成虫まで発育し, 無吸血産卵個体も観察された. 10 月下旬と 3 月上旬に飼育を開始した個体群 (C, D, E) は, 3 令幼虫の生存率が 0.01~0.14 と低く成虫まで発育できた個体は 10 個体以下で, 無吸血産卵は認められなかった. 3 月中旬および 4 月に飼育を開始した個体群 (F, G, H) は 3 令から羽化までの生存率が 0.3~0.78 で, 羽化成虫の無吸血産卵率も 55~88% を示した. 無吸血産卵が確認された後に定期的に吸血機会を与えたところ, マウスから吸血した個体は, 3 月中旬と 4 月の個体群 (F, G, H) でのみ観察された. これらの個体群で吸血

が確認された個体の総数は 44 雌でこのうち 18 個体 (41%) は 2 回以上吸血した.

考 察

本研究で使用したイナトミシオカのコロニーは東京港野鳥公園より採集された個体由来している. 幼虫が発生していた水域は泥炭湿地にできた水たまりで, 調査時の塩分濃度はゼロでコガタアカイエカ *Cx. tritaeniorhynchus* Giles とシナハマダラカ *Anopheles sinensis* Wiedemann の幼虫も混棲していた (Tsuda et al., 2009). 過去に本種幼虫が採集されているのは塩性湿原 (Kamimura and Wada, 1974) や塩性溜水 (水田ら, 1999) で, 発生水域の塩分濃度に関しては水田ら (1999) が塩素イオン濃度を測定して 6.9 mg/l~3,331 mg/l という結果を報告している. 本実験で調べた卵の孵化率, 幼虫生存率, 蛹化率および発育速度に対する塩分濃度の影響を総合すると, 0.6% 付近の塩分濃度が幼虫発育に一番適していると考えられる. しかしながら, 塩分濃度が 0.6% よりも低い場合であっても生存率がやや低くなるものの発育は十分可能である. しかも幼虫の生存率が塩分濃度の影響を強く受けるのは 1 令幼虫の時期であり, それ以降の幼虫発育は塩分濃度 0~1% の範囲であればほとんど影響をうけない. 本種幼虫が発生する海岸沿いの湿地は, 風や波の状況によって飛散した海水が突発的に混入することが容易に予想され, 水田ら (1999) が報告しているように水域の位置する場所や調査時期によって塩分濃度は大きく変化すると思われる. このように少量の海水が混じる可能性のある水域でも,

本種幼虫が十分発育できることを本研究の結果は示唆しており、この性質が海岸沿いに出現するヨシ原のような塩性湿地を本種が発生源として利用している理由のひとつであると思われる。また本研究の結果だけから推測すれば、淡水の水域であってもイナトミシオカ幼虫の発育は可能であり、羽化した成虫がそこで繁殖して個体群を維持することも可能であると思われる。しかしながら、これまで内陸部の湿地（淡水）における本種の生息は確認されておらず、生息域は局所的である。このことは水域の塩分濃度以外にも幼虫の発生を左右している要因があることを示唆しており、本種幼虫の発生水域に生育しているヨシなどの湿地性植物や捕食性水生昆虫、魚類などの天敵に関する生態的な研究が今後必要であると思われる。

有効積算量則に基づく回帰分析の結果、本種幼虫・蛹の発育限界温度の推定値は、雌が8.75°C、雄が9.51°Cであった。我が国の広範囲に分布する蚊についてこれまでに報告されている発育限界温度は、コガタアカイエカ（卵期9.6°C、幼虫期11.8°C, Mogi, 1978）、アカイエカ（幼虫期7.7~8.8°C, Mori et al., 1988）、チカイエカ（幼虫期9.1°C, Mori et al., 1988）、ネツタイエカ（幼虫期8.3°C, Mori et al., 1988）、シナハマダラカ（幼虫期10°C, Mogi and Okazawa, 1996）、ヒトスジシマカ（幼虫・蛹期5.6~7.99°C, Tsuda and Takagi, 2001）などであり、いずれも10°Cよりやや低い。本種の発育限界温度はこれら広範囲に分布する種類と同程度であると考えられる。一方 Fig. 2 に示されているように、幼虫発育に対する高温障害は29°Cでは明らかであった。湿地発生性蚊類の主要発生源のひとつである水田の水温は夏季に30°C以上に達することが知られており（Mogi, 1978; Mogi and Okazawa, 1996）、本種の幼虫発育には適さないとと思われる。本種幼虫の生息が確認されているヨシ原のように草丈の高い植物が生育する水域では、直射日光が遮られることによって水温の上昇が抑えられ、幼虫発育に適した水温に保たれている可能性がある。

イナトミシオカの越冬ステージは不明であるが、地中海沿岸に生息する本種と近縁の *Cx. modestus* は成虫で越冬することが知られており、平均気温が20°C以下となる10月には越冬のための休眠に入るといわれている（Ponçon et al., 2007b; Pradel et al., 2009）。本研究で10月末に温度調節が行われていない実験室内で行われた実験では、イナトミシオカ幼虫は一部が成虫まで発育したものの無吸血産卵も吸血も認められなかった。この実験の初期の平均気温は19.2°Cであった。これを本実験に使用したイナトミシオカの生息地（東京港野鳥公

園）に近い東京都（江戸川臨海）の1979~2000年の観測記録から求めた旬ごとの平年値と対応させると、10月上旬の気温条件に相当している。したがって *Cx. modestus* と同様、イナトミシオカも東京湾沿岸部では10月には越冬世代成虫が現れると思われる。3月中旬に温度調節が行われていない実験室内で行われた実験では、羽化した成虫の57%が無吸血で産卵し、その52%が2回以上吸血した。この実験初期の平均気温は16.2°Cで、東京都（江戸川臨海）の旬別平年値と比較すると4月下旬~5月上旬の気温条件に相当している。したがって、イナトミシオカの春先の繁殖は東京湾沿岸部の場合4月下旬~5月上旬から可能であると推察される。3月初めの飼育実験では実験初期の平均気温が16.9°Cと3月中旬の実験よりもやや高い温度条件であったにもかかわらず、幼虫のほとんどが死亡している。3月は日照時間が12時間以上に達する時期なので、気温だけでなく日長も幼虫発育に影響している可能性がある。

イナトミシオカの生息が確認されている東京港野鳥公園における野鳥類の飛来記録（日本野鳥の会, 2006）を見ると、冬鳥であるガン・カモ類は9月ごろから飛来し、翌年4月（種類によっては5月）まで過ごして繁殖地に戻る。本研究の結果から推測されるイナトミシオカの活動期間は4月下旬から10月上旬であり、イナトミシオカが冬鳥から吸血する可能性はあると考えられるが、どの程度吸血機会があるかは明らかではない。本種の吸血活動の最盛期と考えられる夏季に東京港野鳥公園で採集されたアカイエカ *Cx. pipiens pallens* Coquillett の血液源動物は95%が野鳥であり（Kim et al., 2009）、同じ生息地で吸血するイナトミシオカも野鳥から吸血する機会は多いと予想される。イナトミシオカ個体群の繁殖が可能でしかも繁殖に伴って複数回吸血することができる期間（季節）を明らかにし、吸血源となっている動物種を明らかにすることは、本種が吸血によって接触しうる野鳥種を推測するとともに、それらの野鳥に由来する何らかの病原体を媒介しうる季節を推測する上で非常に重要であり、今後さらに詳しい実験的検討が必要であると思われる。

謝 辞

本研究の一部は環境省地球環境研究総合推進費（S-4）および厚生労働科学研究費（H18-振興—一般-009）の補助を受けて行われた。

引用文献

Balenghien, T., Fouque, F., Sabatier, P. and Bicout, D. J.

2006. Horse-, bird-, and human-seeking behavior and seasonal abundance of mosquitoes in a West Nile virus focus of Southern France. *J. Med. Entomol.*, 43: 936-946.
- Erlanger, T. E., Weiss, S., Keiser, J., Utzinger, J. and Wiedemayer, K. 2009. Past, present, and future of Japanese encephalitis. *Emerg. Infect. Dis.* 15: 1-7.
- Fyodorova, M. V., Savage, H. M., Lopatina, J. V., Bulgakova, T. A., Ivanitsky, A. V., Platonova, O. V. and Platonov, A. E. 2006. Evaluation of potential West Nile virus vectors in Volgograd region, Russia, 2003 (Diptera: Culicidae): species composition, bloodmeal host utilization, and virus infection rates of mosquitoes. *J. Med. Entomol.*, 43: 552-563.
- 上村 清, 松瀬俱子. 1997. 倉敷市児島の蚊相と環境変化の影響について. *衛生動物* 48: 170.
- Kamimura, K. and Wada, Y. 1974. A new subspecies of *Culex (Barraudius) modestus* from Japan (Diptera: Culicidae). *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 25: 13-20.
- 加藤幸太郎, 水田英生, 上田泰史, 多森直樹, 岡田貴志, 東原絢子, Hamady Dieng, 江下優樹. 2006. 無吸血産卵性イナトミシオカの継代飼育について. *衛生動物* 57: 172.
- Kim, K. S., Tsuda, Y. and Yamada, A. 2009. Bloodmeal identification and detection of avian malaria parasite from mosquitoes (Diptera: Culicidae) inhabiting coastal areas of Tokyo Bay, Japan. *J. Med. Entomol.*, 45: 1230-1234.
- Komar, N., Panella, N. A. and Boyce, E. 2001. Exposure of domestic mammals to West Nile virus during an outbreak of human encephalitis, New York City, 1999. *Emerg. Infect. Dis.*, 7: 736-738.
- Kulasekera, V. L., Kramer, L., Nasci, R. S., Mostashari, F., Cherry, B., Trock, S. C., Glaser, C. and Miller, J. R. 2001. West Nile virus infection in mosquitoes, birds, horse, and humans, Staten Island, New York, 2000. *Emerg. Infect. Dis.*, 7: 722-725.
- LaDeau, S. L., Kilpatrick, A. M. and Marra, P. P. 2007. West Nile virus emergence and large-scale declines of North American bird populations. *Nature*, 447: 710-714.
- Ludwig, G. V., Calle, P. P., Mangiafico, J. A., Raphael, B. L., Danner, D. K., Hile, J. A., Clippinger, T. L., Smith, J. F., Cook, R. A. and MacNamara, T. 2002. An outbreak of West Nile virus in a New York City captive wildlife population. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 67: 67-75.
- 水田英生, 松本昭子, 五島謙太郎, 小竹久平. 1999. 関西国際空港に生息する蚊科の調査, 特にイナトミシオカについて. *衛生動物* 50: 161-164.
- Mogi, M. 1978. Population studies on mosquitoes in the rice field area of Nagasaki, Japan, especially on *Culex tritaeniorhynchus*. *Trop. Med.*, 20: 173-263.
- Mogi, M. and Okazawa, T. 1996. Development of *Anopheles sinensis* immatures (Diptera: Culicidae) in the fields: effects of temperature and nutrition. *Med. Entomol. Zool.*, 47: 355-362.
- Mori, A., Oda, T., Zaitu, M., Ueda, M. and Kurokawa, K. 1988. Studies on the developing period of larval stage of the *Culex pipiens* complex in Japan. *Trop. Med.*, 30: 155-161.
- 日本野鳥の会. 2006. 平成 17 年度東京港野鳥公園環境調査指導等業務委託実施報告書. 95 pp., 日本野鳥の会, 東京.
- Ponçon, N., Balenghien, T., Toty, C., Ferré, J. B., Thomas, C., Dervieux, A., L'Ambert, G., Schaffner, F., Bardin, O. and Fontenille, D. 2007 a. Effects of local anthropogenic changes on potential malaria vector *Anopheles hyrcanus* and West Nile virus vector *Culex modestus*, Camargue, France. *Emerg. Infect. Dis.*, 13: 1810-1815.
- Ponçon, N., Toty, C., L'Ambert, G., Le Goff, G., Brengues, C., Schaffner, F. and Fontenille, D. 2007b. Population dynamics of pest mosquitoes and potential malaria and West Nile virus vectors in relation to climatic factors and human activities in the Camargue, France. *Med. Vet. Entomol.*, 21: 350-357.
- Pradel, J. A., Martin, T., Rey, D., Foussadier, R. and Bicout, D. J. 2009. Is *Culex modestus* (Diptera: Culicidae), vector of West Nile virus, spreading in the Combes area, France? *J. Med. Entomol.*, 46: 1269-1281.
- Ree, H. I. 1998. Occurrence of *Culex (Barraudius) inatomii* Kamimura and Wada (Diptera: Culicidae) in a large marsh adjacent to the coast of Ulsan, Korea. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 14: 344-345.
- Ternovoi, V. A., Protopopova, E. V., Surmach, S. G., Gazetdinov, M. V., Zolotykh, S. I., Shestopalov, A. M., Pavlenko, E. V., Leonova, G. N. and Loktev, V. B. 2006. The genotyping of the West Nile virus in birds in the far eastern region of Russia in 2002-2004. *Mol. Gen. Mikrobiol. Virusol.*, 2006 (4): 30-35.
- Tsuda, Y., Sasaki, E., Sato, Y., Katano, R., Komagata, O., Isawa, H., Kasai, S. and Murata, K. 2009. Results of mosquito collection at coastal areas of Tokyo Bay receiving migratory birds. *Med. Entomol. Zool.*, 60: 119-124.
- Tsuda, Y. and Takagi, M. 2001. Survival and development of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) larvae under a seasonally changing environment in Nagasaki, Japan. *Environ. Entomol.*, 30: 855-860.
- Turell, M. J., Dohm, D. J., Sardelis, M. R., O'Guinn, M. L., Andreadis, T. G. and Blow, J. A. 2005. An update on the potential of North American mosquitoes (Diptera: Culicidae) to transmit West Nile Virus. *J. Med. Entomol.*, 42: 57-62.
- Turell, M. J., O'Guinn, M. L., Dohm, D. J. and Jones, J. W. 2001. Vector competence of North American mosquitoes (Diptera: Culicidae) for West Nile virus. *J. Med. Entomol.*, 38: 130-134.
- Valkiūnas, G. 2005. Avian malaria parasites and other haemosporidia. 932 pp., CRC Press, New York.
- 山階鳥類研究所. 2002. 鳥類アトラス. 161 pp., 山階鳥類研究所, 我孫子市.
- 吉田政弘, 水田英生, 松本昭子. 1999. イナトミシオカ *Culex modestus inatomii* の累代飼育. *衛生動物*, 50: 35.