人の活動域に生息するマダニに対する 衛生害虫用殺虫剤の防除効果

橋本知幸^{*1)} 皆川恵子¹⁾ 数間 亨¹⁾ 武藤敦彦¹⁾ 葛西真治²⁾
駒形 修²⁾ 前川芳秀²⁾ 富田隆史²⁾ 渡辺 護²⁾ 澤邊京子²⁾
白石 都³⁾ 大石英明⁴⁾ 山内健生⁵⁾ 五十嵐真人⁶⁾ 池田文明⁶⁾

¹⁾ 日本環境衛生センター環境生物・住環境部 (〒210-0828 神奈川県川崎市川崎区四谷上町10-6)

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)

³⁾ 兵庫県豊岡健康福祉事務所 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町7-11)

⁴⁾ 豊岡市健康福祉部 (〒668-8666 兵庫県豊岡市中央町2-4)

⁵⁾ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所／兵庫県立人と自然の博物館
(〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目)

⁶⁾ 日本防疫殺虫剤協会 (〒101-0035 東京都千代田区神田紺屋町46)

(受領: 2017年5月7日; 掲載決定: 2017年8月30日)

Suppressive effect and persistence of hygienic acaricides for control of ticks in recreational areas

Tomoyuki HASHIMOTO^{*, 1)}, Keiko MINAGAWA¹⁾, Tohru KAZUMA¹⁾, Atsuhiko MUTO¹⁾, Shinji KASAI²⁾,
Osamu KOMAGATA²⁾, Yoshihide MAEKAWA²⁾, Takashi TOMITA²⁾, Mamoru WATANABE²⁾, Kyoko SAWABE²⁾,
Miyako SHIRAISHI³⁾, Hideaki OHISHI⁴⁾, Takeo YAMAUCHI⁵⁾, Masato IGARASHI⁶⁾ and Fumiaki IKEDA⁶⁾

* Corresponding author: tomoyuki_hashimoto@jesc.or.jp

¹⁾ Environmental Biology and Living Environment Department, Japan Environmental Sanitation Center,
10-6 Yotsuyakamicho, Kawasaki-ku, Kawasaki, Kanagawa 210-0828, Japan

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

³⁾ Toyooka Public Health Welfare Office, Hyogo Prefecture, 7-11 Saiwaicho, Toyooka, Hyogo 668-0025, Japan

⁴⁾ Health and Welfare Department, Toyooka City, 2-4 Chuomachi, Toyooka, Hyogo 668-8666, Japan

⁵⁾ Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo/Museum of Nature and Human Activities,
Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo 669-1546, Japan

⁶⁾ Hygienic Insecticide Industrial Association of Japan, 46 Kandakonyacho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0035, Japan

(Received: 7 May 2017; Accepted: 30 August 2017)

Abstract: The suppressive effect of acaricides, including propetamphos MC (P-MC), fenthion/tetramethrin EC (FT-EC), fenitrothion FL (F-FL), and fenitrothion dust (F-D), on ticks in recreational areas was investigated in Hyogo Prefecture, Japan. The predominant species in the experimental area was *Haemaphysalis longicornis*. Following a single application in treated plots, control ticks that were directly exposed to each acaricide in plastic cups did not survive. The rate of ticks that were killed within 6 days for P-MC, F-FL, and F-D using the recommended doses was high (>90%). FT-EC achieved 80% reduction in tick population within 6 days using one-fourth of the recommended dose. Only P-MC maintained its suppressive effect (>80% reduction) until day 48. To evaluate chemical persistence, three cotton cloths (10×10 cm) treated with each acaricide were placed on the ground and individually retrieved on days 1, 6, and 31. *H. longicornis* nymphs were then placed on the cloth for 24 h. Consequently, the lethal effect of FT-EC and F-D diminished by day 6 and that of the other two acaricides disappeared within 31 days. In the test field, wild animals were observed using sensor cameras nearly every night. We considered that recoveries of tick density depended upon animal activities and surviving ticks in the treated plots.

Key words: tick, acaricide, tick-borne disease, persistence, host animal

緒 言

重症熱性血小板減少症候群 (SFTS) や日本紅斑熱などのマダニ媒介性感染症は、国内での症例が増加し、重要な節足動物媒介性感染症となっている。SFTSは2013年の国内初報

告以来、2017年3月現在、累計患者数は229名に上り、日本紅斑熱は2014年から3年連続で200例を超え、2016年は275例に達した (国立感染症研究所, 2017)。

米国ではライム病が1980年代に多発して以降、マダニの防除に関する多数の報告がなされ、一般の人たちの間でも、

感染の懸念から私有地のマダニ防除の需要が高まったとされている (Stafford III, 1997). 一方, 日本では畜産害虫対策としての事例 (吉田, 1975, 佐々木ら, 1998) を除き, 野外におけるマダニ防除事例はほとんど知られていない. その要因として, 広大な山林に生息するマダニ対策は, 個人による被害回避が基本で, 殺虫剤よりは忌避剤の使用に重点が置かれてきたことが挙げられる. また, 衛生害虫用殺虫剤としてのマダニ防除剤は, 2015年に医薬品医療機器等法 (以下, 薬機法) による承認が始まったばかりで, 人の日常的活動域でのマダニに対する効果は, これまで我が国では求められてこなかったことが背景にある.

しかし, マダニ媒介性感染症が現に発生している場合には, より積極的に速効的な対策が求められるであろう. 日本では薬機法上, 衛生害虫としてのマダニ防除のために人の日常的活動域で使用可能な殺虫剤は衛生害虫用殺虫剤に限定され, 農薬と動物薬の使用は認められていない. 米国で蓄積されてきた数多くの知見も, 日本で使用されていないピレスロイド剤や有機リン剤であったり, グレープフルーツ由来成分 *nootkatone* やオレガノ由来成分 *carvacrol* など薬機法で承認されていない天然植物由来の成分などで (Eisen and Dolan, 2016), 日本では適用できないものばかりである. こうした背景から, 筆者らは有機リンやピレスロイドを有効成分とする衛生害虫用殺虫剤11製剤について実地効力試験を実施し, いずれの製剤も速効性と4~31日間に渡って密度を低下させる効果を発揮したことを報告した (橋本ら, 2015). この報告に示した試験結果から, 山林のマダニに対して衛生害虫用殺虫剤を処理した場合の速効性や, 処理後のマダニ密度の回復の仕方などが明らかになった. その一方で, 野外の降雨条件下における1カ月に及ぶ残効性に対する疑問が生じ, 効果が長期間持続した要因の1つに, 処理エリア外からのマダニの侵入圧が低かった可能性が考えられた.

こうした結果を踏まえ, 筆者らは野外におけるマダニ駆除剤の残効性や薬剤処理後のマダニ密度の回復状況をより詳細に検証するため, 新たな試験設計の下, 防除効果の評価・解析を行ったので報告する.

材料と方法

試験地および試験期間

試験は兵庫県豊岡市内の自然公園内 (35.521480N, 134.724950E, 標高300m) で実施した. 試験地の環境は, ケヤキ *Zelkova serrata* Makino, サクラ *Prunus* sp., ウメ *P. mume* Sieb. et Zucc., イチョウ *Ginkgo biloba* L. 等の植栽された日当たりの良好な草地から, ササ類 *Bambusoideae* spp. の生えた林縁部であった. 試験区画はこのエリアの中から, 落葉や約20 cm以下の草丈の植生 (草地・ササやぶ) があり, 部分的に土壌表面が露出している範囲に設定した (Fig. 1). 薬剤処理時点では, 試験区画周辺のサクラとウメ以外の樹木は, ほとんどが展葉前で, 区画内の日当たりは良好であった.

この地ではフタトゲチマダニ *Haemaphysalis longicornis* Neumannが優占することがこれまでに確認されていた (山内ら, 未発表). フタトゲチマダニは一般的に春季に若虫のピークが見られ, それに続いて成虫が出現し, 成虫が産卵して夏季に幼虫のピークが見られる (吉田, 1975; 藤本, 2001). 今回の試験は殺虫剤感受性の比較的低い若虫期以降を対象とするため, 試験時期を春季とし, 2016年4月6日か

ら6月6日に実施した. 薬剤処理は同年4月19日に行った.

供試薬剤

供試薬剤は, 薬機法でマダニに対する効能効果が承認された製剤の中から, 有機リン3製剤: プロペタンホスマイクロカプセル剤 (日本化薬製; サフロチンMC剤 (以下, P-MC)), フェニトロチオンフロアブル剤 (住化エンバイロメンタルサイエンス製; スミチオン10FL「SES」 (以下, F-FL)), フェニトロチオン粉剤 (住化エンバイロメンタルサイエンス製; スミチオン粉剤「SES」 (以下, F-D)) と, 有機リンとピレスロイド混合1製剤: フェンチオン・フタルスリン混合乳剤 (サンケミファ製; 三丸バイテックスNP乳剤 (以下, FT-EC)) の, 代表的な4剤型を選定した. また処理薬量はTable 1の通りで, FT-ECのみは用法用量に対して1/4となる薄い濃度で処理し, 他の3製剤は用法用量に従って処理した.

試験方法

1) 処理前調査

薬剤処理の13日前に, 樹木や下草が密生していない場所に9m×9mの方形区を, 合計13区設定した (Fig. 1).

薬剤無処理のエリアからマダニが徘徊して処理エリア内に侵入する場合, 処理区内の外縁部からマダニ密度が回復する可能性を検証するため, 試験区はFig. 2のように外帯 (32m²), 中帯 (24m²), 内帯 (25m²) の3帯に分けた. 外帯と中帯の各内縁には境界線を設定し, 各帯のマダニ数 (幼虫, 若虫, 成虫) を旗ずり法によって計数した. 旗ずりは, 清潔な幅1m×長さ0.7mのフランネル布 (以下, ネル) を棒に固定し, 左右に振らずに, 2~5秒/mの速度で歩行しながら行い, 4~7mごとに付着したマダニ数を確認した. 樹木がある場合にはその幹部分は避け, 草本類は上からネルを覆い被せるようにして, できるだけ地表面全面を網羅し, 各帯からはみ出さないように引きずった. ネルに付着したマダニは発育期別に計数後, ピンセットでダメージを与えないように外し, 同一帯に戻した. 1つの供試薬剤は反復として2区 (合計8区) を設定し, 処理1日前の2反復の中帯と内帯の若虫と成虫の合計が概ね同等になるように試験区を決定して, 残りの5区を無処理対照区とした.

2) 薬剤処理

供試薬剤のうち, 3つの液剤は水希釈後, ハンドスプレーヤ: 全自動噴霧器 (B&G; エクステンダーバン) により, 粉剤は調理用粉ふるい (ダイソー製) により, 地面から15~50 cmの高さから, 中帯と内帯内に対してできるだけ均一に処理した. 処理の際には外帯と中帯の間の境界線上に高さ1 mの養生シートを立て, 周辺への飛散を可能な限り防いだ.

薬剤の直撃処理による致死効果を評価するために, 事前に採集し, 冷蔵保存しておいた現地産フタトゲチマダニ若虫約10頭を, 薬剤処理の直前に, 内径9.5 cm×深さ4.5 cmのプラスチック容器に入れて各試験区の地面5カ所に配置した. また, 残効性の簡便な評価のために, 薬剤散布時点で地表に多く堆積していた枯れ葉を想定して, 薬液が浸透し, 降雨でも破れない10 cm×10 cmの清潔な白色木綿布 (以下, 白布) 3枚を地面に固定した. これらのマダニや白布にも地面と同様に, 薬剤処理した.

Fig. 1. Schema of the experimental area.

Test plots (A–M) were set in the grass field, the plum park, or at the edge of the bamboo grass. Sensor cameras were set near the plots D, F, and L. Deciduous trees in the experimental area were at the pre-budding stage during the treatment.

Table 1. Test agents and application conditions.

Test agent*	Dilution rate	Amount applied (/m ²)	Dose (g AI/m ²)	Test plot
Propetamphos 20% MC	×40 [×40 – ×80]	50 mL	0.25	C, I
Fenthion 5%/Tetramethrin** 0.5% EC	×20 [×5]	50 mL	Fenthion=0.125 Tetramethrin=0.0125	H, K
Fenitrothion 10% FL	×20 [×10 – ×20]	50 mL	0.25	J, M
Fenitrothion 1.5% D	direct	20 g [20 g]	0.3	A, D
Control	untreated			B, E, F, G, L

* MC: Micro Capsule, EC: Emulsifiable Concentrate, FL: Flowable, D: Dust

** : Tetramethrin=Phtalthrin

Values in [] indicate recommended concentrations.

3) 処理後調査

処理1, 6, 19, 31, 48日後に、処理前調査と同様に、試験区のマダニを計数した。この際、薬剤処理区で使用したネルは、付着した殺虫剤の影響を防ぐため、試験区ごとに取り換えた。

プラスチック容器に入れたマダニは、清潔な管瓶に移し替え、1日後の致死状況を観察した。なお、無処理のまま管瓶に入れた区も準備し、対照区とした。

各薬剤の処理区に設置した白布は、そのまま現地で風雨にさらし、処理1, 6, 31日後に1枚ずつ回収した。回収した白布は各々、5 cm×10 cmに2分割して袋状にした後、それぞれの布について、Hashimoto et al. (1999) に従い、現地産フタトゲマダニ若虫約10頭を放し、24時間、継続接触させた。1薬剤につき2区×2枚の計4枚を反復とし、無処理区は清潔な白布を毎回4区ずつ設定し、各々、致死状況を観察した。

なお48日後の観察時には全ての区の外・中・内帯のマダ

Fig. 2. Experimental quadrants in treated plots.

○: Plastic containers (I–V) containing ticks for the evaluation of the direct treatment. □: White cotton cloths for the evaluation of chemical persistence (cloths retrieved on days 1, 6, and 31).

ニを回収し、種・発育期を高田 (1990)、藤田・高田 (2007)、山内・高田 (2015) に従って同定した。また、殺虫剤処理後の効果の持続性に対する影響評価の参考とするため、マダニ類の宿主となる野生動物の種類や出没頻度を、処理6日後から31日後に、試験地の3箇所 (試験区D, F, Lの近傍) にセンサーカメラ (Bushnell; トロフィーカムXLT) を設置して記録した。

4) 統計処理

処理前の試験区間のマダニ密度の同等性は、処理13日前および1日前の、各薬剤処理2区と対照区5区のマダニ数 (幼虫+若虫+成虫) について、Kruskal-Wallis検定によって確認した。

処理直後の防除効果については、供試薬剤ごとに中帯と内帯に分けて、幼・若・成虫数を、処理1日前と1日後の間で対応させ、Wilcoxon符号順位検定により比較した。

効果の持続性は、供試薬剤ごとに処理区と対照区の中帯+内帯の平均マダニ数から下式による減少率を算出し、その推移を比較した。

$$\text{減少率(\%)} = \{1 - (T_n/T_0)/(C_n/C_0)\} \times 100$$

T_n : 処理区n日後2区平均ダニ数, T_0 : 処理区処理1日前2区平均ダニ数

C_n : 対照区n日後5区平均ダニ数, C_0 : 対照区処理1日前5区平均ダニ数

また、薬剤処理帯へのマダニの侵入傾向を比較するために、処理後の中帯と内帯の幼・若・成虫数を対応させてWilcoxon符号順位検定により比較した。

試験結果

1) 旗ざり法によるマダニ密度の推移

処理区と対照区間で、処理前のマダニ数に差は認められなかった (Kruskal-Wallis検定, $H=0.8895$, $P=0.9261$)。

各試験区の外, 中, 内帯で、旗ざり法によって得られた1m²当たり発育期別のマダニ数の推移 (処理区は2区平均, 対照区は5区平均) をFig. 3に示した。処理区 (中帯, 内帯)

における、処理1日前と比べた処理1日後のマダニ数の減少は、すべての薬剤で有意 (Wilcoxon符号順位検定, $P<0.05$) であった一方、対照区では有意差は認められなかった。

処理区、対照区間の処理前後のマダニ数 (中帯, 内帯の合計) から算出した減少率の推移をFig. 4に示した。各薬剤における最大の減少率は、P-MC, FT-EC, F-FL, F-Dの順に、100%, 86.8%, 100%, 96.6%で、いずれも処理6日後までに得られた。その後のマダニの回復状況は薬剤によって異なり、P-MCではマダニ数の回復が遅れ、中帯, 内帯の幼虫, 若虫, 成虫の合計値は48日後でも処理1日前の1/4未満であった。P-MC以外の処理区では19日後以降は、マダニ数は徐々に回復する傾向が見られ、FT-ECとF-Dでは31日後の時点で減少率が50%を下回り、48日後には処理前と概ね同程度の数にまで戻った (Fig. 4)。対照区では19日後にマダニ数が最も多くなったが、処理区のような大きな変動は見られなかった (Fig. 3)。

薬剤無処理の外帯に接する中帯と、薬剤処理の中心部の内帯の間で、1~48日後のマダニ数を比較すると、F-Dでは中帯のマダニ数が内帯よりも有意に多かった (Wilcoxon符号順位検定, $P<0.05$) が、他の薬剤では差はなかった。

試験期間中の最寄りの気象観測地点 (豊岡) における降水量, 最高・最低気温は、Fig. 5の通りで、10mm/日以上 of 降水量は処理8, 9, 27, 40日後に記録された。また、3台のセンサーカメラでは野生哺乳動物の映像が記録されていた。これらの動物の映像が記録されたのはすべて夜間で、ニホンジカ *Cervus nippon* Temminckが24夜中18夜、ニホンアナグマ *Meles anakuma* Temminckが7夜、ノウサギ *Lepus brachyurus* Temminckが3夜であった。この中には処理エリア内で、数時間に渡って腹部を地面につけて休んでいる個体や、角を突き合わせて喧嘩している個体も見られ、処理エリア内のマダニ相に影響を与えそうな行動が記録されていた。なお、薬剤による処理区内の植物への肉眼的な影響はどの薬剤でも見られなかった。

2) 直撃処理による致死状況

各処理区内の配置したマダニの致死状況はTable 2の通りで、全ての薬剤で瀕死個体を含め、100%の致死率が得られた。

3) 薬剤処理白布への強制接触による致死状況

処理区内に設置して地面と同様に処理した白布への強制接触による致死状況の推移はFig. 6の通りであった。1日後に回収した白布ではP-MC, F-FL, F-Dで100%であったのに対して、FT-ECでは51.3%にとどまった。さらに6日後の致死率は、F-Dが2.5%, FT-ECでは0%で、この日の旗ざり法によるマダニ数が少ないことと対照的な結果であった (Fig. 6)。31日後には致死効果がさらに低下し、全ての薬剤で10%未満となった。

4) マダニ相と発育期構成

処理13日前から処理48日後までの合計7回の観察で、試験13区で計数されたマダニ数の合計は、幼虫416頭, 若虫3,577頭, 成虫92頭であった。

48日後観察で得られたマダニを同定した結果はTable 3の通りで、多くがフタトゲチマダニ若虫であった。

31日後までは種の同定は行っていないが、Fig. 3の通り、

Fig. 3. Changes in tick densities in the test plots. Acaricides were not applied to the outer zones. Days with (-) indicate days prior to treatment.

P-MC: Propetamphos MC, FT-EC: Fenthion/Tetramethrin mixed-EC, F-FL: Fenitrothion FL, F-D: Fenitrothion dust

Fig. 4. Reduction rates in tick densities in the treated plots. P-MC: Propetamphos MC, FT-EC: Fenthion/Tetramethrin mixed-EC, F-FL: Fenitrothion FL, F-D: Fenitrothion dust

マダニの発育期構成は、試験期間を通じて若虫が多かった。この中にはP-MCやF-FLのように、薬剤処理後に幼虫が全く捕獲されなかった区や、FT-EC区中帯の1日後および6日後のように、処理後に幼虫の数は減少しているが、その割合が高まった箇所があった。これに対して対照区の幼虫の数やその割合は、6日後に高かったが、それ以降は徐々に減少した。

考 察

1) 速効性

4薬剤とも、マダニに直撃処理した場合には高い致死効果を発揮した。

我々が2015年にマダニ駆除剤の実地評価を行った際、FT-ECは用法用量に従って（5倍希釈液を50mL/m²）処理した場合の1日後の減少率は97.2%であった（橋本ら、2015）。

Fig. 5. Precipitation and temperature in Toyooka City during the test period (from the Japan Meteorological Agency). Days with (-) indicate days prior to treatment. Arrows show observation days.

Table 2. Lethal effects of the test agents in the direct treatment.

Test agent	Replicate 1	Replicate 2	Total (%)
Propetamphos MC	48/48	49/49	97/97 (100)
Fenthion/Tetramethrin EC	48/48	41/41	89/89 (100)
Fenitrothion D	50/50	48/48	98/98 (100)
Fenitrothion FL	47 (49)/49	44 (46)/46	91 (95)/95 (95.8 (100))
Control	2/51	—	2/51

Values indicate the ratio of dead (dead+moribund) ticks/total exposed ticks. The number in each replicate was total of five sites in the middle and inner zones.

今回、FT-ECは前報の1/4の処理量であったため、最大減少率は86.8%と若干低下した。また、F-DとF-FLは前報と同じ処理量で、1日後に概ね同等の減少率が得られた。P-MCは今回初めて供試し、1日後の減少率は90%に到達しなかったものの、6日後は100%となった。FT-EC以外の3薬剤は、用法用量どおりの処理量であり、どの薬剤も速効的な効果が得られると判断された。

2) 処理区におけるマダニの回復

処理区内でマダニが捕獲される経過は、元々処理区内にいて致死量を取り込んでいなかった個体が、薬剤の効力が低下した時点で捕獲される場合（ケース①）と、処理後に処理区外から新たに侵入する場合のいずれかである。後者はさらに、マダニが自発的に移動して侵入する場合（ケース②）と、宿主動物に運ばれてくる場合（ケース③）が考えられる。

ケース①の場合、狭い試験区内で均一に薬剤が散布されていることから、生き残った個体の分布に中帯と内帯の間で差がなければ、分布状態を反映して中帯と内帯の間で同じようにマダニが捕獲されることが考えられる。ケース②では、処理区内の外縁部（今回の試験区における中帯）からマダニ密度が増加してくることが予想される。ケース③では、今回の規模の処理区のように小さな面積内であれば、中帯と内帯のようなわずかな場所の違いによる中型～大型動物の侵入や活動に差はなく、中帯も内帯も関係なく同じようにマダニの脱落はあるものと考えられた。ただし、ケース③については、旗ずり法では落葉や植生上で動物の通過を待ち構えている個

体が捕獲されることが多く、飽血個体はほとんど捕獲されない。フタトゲチマダニの飽血幼虫、若虫では短日、長日条件にかかわらず、次の脱皮までに12～14日程度が必要であることが知られており（Fujimoto, 1995）、飽血離脱した個体は、この間には旗ずり法では捕獲されないと考えられる。それ以降の期間になれば、脱皮後、動物探索を開始した個体が徐々に捕獲されるものと考えられる。

今回の結果では、どの薬剤も無処理エリア（外帯）に接する中帯のほうが、マダニ数が多い傾向が見られたものの、全ての薬剤に共通した明確な差ではなかったことから、処理後のマダニの回復に、薬剤処理エリア外から自発的に侵入した個体が寄与する割合は低いと判断された。その一方で、試験区内で生き残った個体が薬剤の効力が低下した後に捕獲された可能性と、処理エリア外から動物に依存して侵入した可能性のいずれか、あるいは両方の可能性がある。薬剤処理直後については、動物から飽血離脱した個体が旗ずりで捕獲された可能性は低いため、処理区内の残存個体であった可能性が高いが、動物の頻繁な活動状況を考慮すると、動物から落下して脱皮した個体の割合が日数経過に伴って高まっていったものと推測される。

このような動物による処理区内へのマダニ導入の影響の一方で、処理区内で宿主探索行動をしているマダニが、動物に寄生して処理区外へ移動した可能性も考えられる。

今後の課題として、こうした動物による試験区の攪乱を確認するために、処理区内に動物が侵入しない条件で、マダニ密度の回復がどのように異なるかを評価する必要がある。

Fig. 6. Changes in the lethal effects of the test agents were assessed using a forced-contact test with white cloths.

P-MC: Propetamphos MC, FT-EC: Fenthion/Tetramethrin mixed-EC, F-FL: Fenitrothion FL, F-D: Fenitrothion dust

Table 3. Developmental stages and the number of ticks collected on day 48.

Species	Larva	Nymph	Female	Male	Total
<i>Haemaphysalis longicornis</i>		620	16	4	640
<i>H. flava</i>		4			4
<i>H. megaspina</i>		3			3
<i>Amblyomma testudinarium</i>		2			2
Unidentified	16				16
Total	16	629	16	4	665

3) 見かけ上の残効性と処理適期

P-MCとF-FLは19日後まで比較的高い減少率を持続した。特にP-MCは48日後まで減少率80%以上を維持し、効果が最も持続した。FT-ECは、今回よりも4倍高濃度で処理した前報（橋本ら，2015）では、31日後の時点で減少率73.1%であったが、本試験では19日後に62.2%、31日後に49.4%となり、処理薬量の低下に伴い、マダニの回復が早まることが示唆された。

旗ざり評価による見かけ上の長期的な効果持続性に対して、白布強制接触試験の結果では、FT-ECとF-Dでは6日後、他の薬剤も31日後には残効性がほぼ消失し、見かけ上の効果と残存成分による効果には差があると考えられた。白布には地面と同様に処理したが、若干の散布ムラがあった可能性は否定できない。しかし、50 mL/m²あるいは20 g/m²の処理で、薬剤が全く付着しなかったとは考えにくく、FT-ECについては、この希釈倍率が効力の限界に近かったものと考えられる。他の薬剤については、1日後に100%の致死率が得られており、6日後以降の致死率の低下は、風雨や日照による成分消失の影響が大きいと考える。F-FLとF-Dでは有効成分量がほぼ同じでも、6日後の致死率に差がついたのは、剤型の差による成分消失の程度に違いがあったものと推測する。薬剤処理から6日後までの間には、近隣の豊岡市内の降水は2日ほどであったが、晴天の日でも夜露による影響もあったと考えられる。なお、マダニ駆除における降水の影響については、Mount (1981) は有効成分の落葉層や土壌への拡散を促し、速効性が高まるとしており、最上層に設置した白布とその下部の地面では成分残留性に差があった可能性も考えられる。

殺虫剤の実用性は、有効成分の残存程度よりも、対象害虫の密度をどれだけの期間、抑制するかという点で評価され

ることが多いが、屋外のマダニを対象とする場合、マダニの密度による評価は薬剤処理エリア周辺のマダニや動物の密度や活動状況によって変わってしまう可能性がある。今回の白布による評価は、マダニの潜伏場所である落葉や地面と同じように処理され、実際の環境で所定期間経過した段階でマダニを強制接触させる方法であり、残効性を知るための補助的な方法であったと考える。

Eisen and Dolan (2016) はライム病媒介種 *Ixodes scapularis* Say に対する過去30年間の多くの駆除報告を整理しているが、これらの報告における処理薬量、評価法はまちまちで、同じ成分・処理量でも持続性にばらつきがある。また、合成ピレスロイド剤、カーバメート剤、有機リン剤が用いられているものの、本研究で供試した成分と共通するものがなく、対象マダニも異なり、今回の試験と比較できる事例が見当たらなかった。例えば、Solberg et al. (1992) は、*Ixodes dammini* Spielman et al. に対して、5月に cyfluthrin（ピレスロイド系）液剤を処理した結果、翌年5月まで全発育期を抑制したとしている。この結果は今回得られた結果とは大きく異なっており、この要因としては、薬剤の散布範囲、マダニの調査法や対象マダニの習性の違いがあると考えられる。

統合的マダニ防除 Integrated Tick Control の中では非標的生物への影響は考慮しなければならないとされ (Schulze et al., 2005)、米国では日本で承認されている合成ピレスロイド剤、有機リン剤、カーバメート剤は野外のマダニに使用できない (Eisen and Dolan, 2016)。逆に日本では米国で使用される植物由来のマダニ駆除剤は効力が評価されておらず、承認されていない。殺虫剤に関しては、速効性と効率性は求められるが、1年間に及ぶような長期的な残効性は期待されていないと考えられる。

実際の対策では、マダニの病原体保有状況、野外での発生量などから感染リスクの大きさを考慮しなければならない。そして、長期的な効果を狙うよりは、野外イベントなどの直前から1週間程度前に処理することにより、人との遭遇頻度を抑制することを目的とした使用が望ましいと考えられる。

4) 防除効果における幼虫の意義

本研究では、毎回の観察で発育期別にマダニを計数した。幼虫が多い時期に、全ての発育期を含めて評価すると、感受性の高い幼虫が駆除されることで、減少率が高まる可能性がある（橋本ら，2015）。しかし、今回の試験では、幼虫密度がそれほど高くはなかったため、数十匹単位の幼虫が旗ざりで捕獲される機会はなかった。

野外で発育期別にマダニ防除効果を評価した研究としては、 γ -BHC処理によって幼虫と成虫が100%駆除されたが、若虫は処理前の1/3程度が残った例（吉田，1975）や、ピレスロイド剤の処理により、幼虫も若虫も100%駆除された例（Hughes et al., 2014）などがある。致死効果が高ければ、全ての発育期の数がほぼ0になるものと考えられる。フタトゲチマダニは一般的な有機リンやピレスロイド剤に対して、幼虫 > 若虫 > 成虫の順に薬剤感受性が高い（橋本；未発表）ので、殺虫剤処理時には、まず幼虫が死滅するものと考えられる。幼虫が徘徊時に殺虫剤残留面に触れても致死しないことは、その時点で有効成分の残留による致死効果が不十分であることを示唆するものと考えられる。

摘 要

人の活動域に生息するマダニに対して、衛生害虫用殺虫剤4製剤（プロペタンホスMC剤、フェントロチオンフロアブル剤、フェンチオン・フタルスリン混合乳剤、フェントロチオン粉剤）を各々処理し、防除効果とその持続性を評価した。試験区内ではフタトゲチマダニが優占して見られた。4製剤は処理1～6日後に80%以上の減少率を示し、概ね速効的にマダニを駆除した。4製剤の中でプロペタンホスMC剤は48日後まで減少率80%以上を維持し、効果が最も持続した。他の剤は19日後以降、減少率は徐々に低下した。これに対して、処理区画内で地面と同様に処理し、継続配置した白布を1, 6, 31日後に回収し、マダニを24時間強制接触させた場合、フェンチオン・フタルスリン混合乳剤とフェントロチオン粉剤では6日後までに、他の剤も31日後には残効性がほぼ消失し、見かけ上の効果と残存成分による効果には差があることが示唆された。処理区周辺でのニホンジカ等の大型動物の活動状況から、処理区内のマダニ密度の回復には、これらの動物による影響が大きいと推定された。

謝 辞

本研究実施に当たり、住化エンバイロメンタルサイエンス(株)の佐藤裕蔵氏、日本化薬(株)の小林益子氏、サンケミファ(株)の佐々木 超氏には薬剤提供と散布作業にご協力頂いた。ここに厚く御礼申し上げる。なお、本研究は国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業(研究開発代表者 澤邊京子, 16fk0108211j0002)の助成を受けて実施された。

文 献

- Eisen, L. and Dolan, M. C. 2016. Evidence for personal protective measures to reduce human contact with blacklegged ticks and for environmentally based control methods to suppress host-seeking blacklegged ticks and reduce infection with Lyme disease spirochetes in tick vectors and rodent reservoirs. *J. Med. Entomol.*, 53: 1063–1092.
- Fujimoto, K. 1995. Effect of photoperiod on the host attachment and development in the tick, *Haemaphysalis longicornis*. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, 46: 345–348.
- 藤本和義. 2001. マダニの吸血活動—休眠による調節. ダニ

- の生物学(青木淳一編), 第6章. pp. 92–108. 東京大学出版会, 東京.
- 藤田博己, 高田伸弘. 2007. 日本産マダニの種類と幼若期の検索. ダニと新興再興感染症(SADI組織委員会編集). pp. 53–68. 全国農村教育協会, 東京.
- Hashimoto, T., Motoyama, N. and Mizutani, K. 1999. Evaluation of acaricidal efficacy of sixteen chemicals to three species of house dust mite, *Dermatophagoides farinae*, *Tyrophagus putrescentiae* and *Blomia tropicalis* by filter paper contact method. *Med. Entomol. Zool.*, 50: 349–354.
- 橋本知幸, 数間 亨, 武藤敦彦, 皆川恵子, 永廣香菜, 當山啓介, 足立雅也, 池田文明, 駒形 修, 富田隆史, 森川茂, 澤邊京子. 2015. 野外に生息するマダニ類に対する数種殺虫剤の防除効果. 衛生動物, 66: 7–12.
- Hughes, T. N., Richardson, A. G., Hoel, D. F., Mejeoumov, T., Farooq, M. and Stoops, C. A. 2014. Suppression of *Amblyomma americanum* (Ixodida: Ixodidae) for short-term field operations utilizing cypermethrin and lambda-cyhalothrin. *J. Med. Entomol.*, 51: 709–712.
- 国立感染症研究所. 2017. 感染症発行動向調査週報(IDWR). [accessed March 27, 2017]. <http://www.nih.go.jp/niid/ja/data.html>.
- Mount, G. A. 1981. *Amblyomma americanum*: Area control of overwintered nymphs and adults in Oklahoma with acaricides. *J. Econ. Entomol.*, 74: 24–26.
- 佐々木 均, 市川ひろみ, 岩城和久, 椿 洋一郎, 田村佳子, 野上義隆. 1998. 放牧牛に寄生するマダニに対するfenprothrinの防除効果. 酪農学園大学紀要, 22: 221–224.
- Schulze, T. L., Jordan, R. A. and Krivenko, A. J. 2005. Effects of barrier application of granular deltamethrin on subadult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and nontarget forest floor arthropods. *J. Econ. Entomol.*, 98: 976–981.
- Solberg, V. B., Neidhardt, K., Sardelis, M. R., Hoffmann, F. J., Stevenson, R., Boobar, L. R. and Harlan, H. J. 1992. Field evaluation of two formulations of cyfluthrin for control of *Ixodes dammini* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). *J. Med. Entomol.*, 29: 634–638.
- Stafford, K. C. III. 1997. Pesticide use by licensed application for the control of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in Connecticut. *J. Med. Entomol.*, 34: 552–558.
- 高田伸弘. 1990. 病原ダニ類図譜. 216 pp., 金芳堂, 東京.
- 山内建生, 高田 歩. 2015. 日本本土に産するマダニ科普通種の成虫の図説. ホシザキグリーン財団研究報告, 18: 287–305.
- 吉田利男. 1975. 放牧牧野におけるマダニ駆除に関する生態学的研究. 信州大学教養部紀要第二部自然科学, 9: 27–111.