



調査報告

都市近郊水田における昆虫個体数に対する殺虫剤散布と 飛翔捕食者の影響

日野 輝明*・渡辺 直人・小笠原 史織・片山 好春

名城大学農学部

Influence of insecticide application and flying predators on insect abundance in a suburban paddy field

Teruaki Hino*, Naoto Watanabe, Shiori Ogasawara and Yoshiharu Katayama

Faculty of Agriculture, Meijo University

要旨：総合的病害虫管理（IPM）および総合的生物多様性管理（IBM）を推進していくためには、殺虫剤による化学的制御だけではなく天敵による生物的防御についての定量的評価を行う必要がある。本研究では、都市近郊水田に殺虫剤の散布と防護ネットによる飛翔捕食者の除去の有無を組み合わせた4つの簡易的な実験区（7m×7m）を設置して、昆虫の個体数比較を行った。実験区間での個体数変化を目別に比較すると、殺虫剤散布区で減少したのは、カメムシ目、バッタ目、ハエ目、コウチュウ目、捕食者除去区で増加したのは、カメムシ目、バッタ目であった。昆虫全体の個体数の85%を占めた主要害虫のカメムシ目では、トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* が殺虫剤散布区で個体数減少、ヒメトビウンカ *Laodelphax striatellus* が天敵除去区で個体数増加、ツマグロヨコバイ *Nephotettix cincticeps*、イナヅマヨコバイ *Recilia dorsalis*、マダラヨコバイ *Psammotettix striatus*、ヒメヨコバイ *Empoasca vitis* が両方の変化を示した。したがって、本研究で行った簡易的な実験によって、飛翔捕食者と殺虫剤散布は水稻害虫個体数を減少させるのに効果的であったのに対して、殺虫剤散布は害虫以外の節足動物の個体数を減少させることが示された。

キーワード：殺虫剤散布、除去実験、水田、総合的病害虫管理、天敵

Abstract: This study examined the effects of natural predators and insecticides for pest control to achieve effective integrated pest/biodiversity management. Four 7-m² experimental plots were set in a suburban paddy field, with or without netting (20-mm mesh to exclude large flying predators) or pyrethroid insecticide application. Insecticide application decreased the abundance of Hemiptera, Orthoptera, Coleoptera, and Diptera and netting increased those of Hemiptera and Orthoptera. Hemipteran insects, which are main pests of rice plants, comprised 85% of the total insect abundance. With insecticide application, the abundance of *Nilaparvata lugens* decreased, with netting the abundance of *Laodelphax striatellus* increased and with both, the abundance of *Nephotettix cincticeps*, *Recilia dorsalis*, *Psammotettix striatus*, and *Empoasca vitis* changed. Our simple experiment showed that flying predators were as effective at reducing rice pest populations as insecticide application, whereas insecticide reduced non-pest insect populations.

Keywords: enclosure experiment, insecticide application, integrated pest management, natural enemy, paddy field

はじめに

環境保全型農業では、化学肥料の低減や温室効果ガスの排出抑制等に配慮するだけでなく、天敵などの生物的

防除の有効活用が求められており、総合的有害生物管理（IPM: Integrated Pest Management）が不可欠である。IPMは「あらゆる適切な技術を可能な限り矛盾のないように利用し、害虫個体群の経済的害虫密度を低いレベル以下

* 〒468-8502 愛知県名古屋市中区天白区塩釜口1-501 名城大学農学部

Faculty of Agriculture, Meijo University, 1-501 Shiogamaguchi, Tenpaku-ku, Nagoya 468-8502, Japan

e-mail: hino@meijo-u.ac.jp 2020年6月20日受付、2021年12月1日受理、2022年4月28日早期公開（J-STAGE）

に減少させ、維持するための害虫管理システム」と、国際連合食糧農業機関 (FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations) によって定義されている (安田ほか 2009)。このシステムでは、天敵などの生物的防除を中核におき、殺虫剤は一時的に害虫密度を下げるために補助的に使用することが求められる (中筋ほか 1997)。さらに近年では、害虫と天敵以外の「ただの虫」も含めた生物多様性の保全との両立を図るための総合的生物多様性管理 (IBM: Integrated Biodiversity Management) が必要とされている (桐谷 2004; 安田ほか 2009)。したがって、環境保全型農業を推進していくためには、殺虫剤と天敵生物による害虫密度の制御効果の比較、および殺虫剤が生物多様性に与える影響についての定量的評価が必要である。

ウンカ類やヨコバイ類などの水稻害虫に対する主要な天敵として、カエル類、クモ類、トンボ類、スズメ類があげられる。カエル類による害虫の密度抑制については、室内での捕食実験 (小野ほか 2004) や水田での追加・除去実験 (Teng et al. 2016; 杉山ほか 2019) によって、またクモ類による害虫の密度抑制については、観察による捕食量の推定 (Kiritani et al. 1972; Sasaba et al. 1973) や水田での除去実験 (小山・城所 2003; 杉山ほか 2019) によって、定量的な評価が行われてきている。カエル類やクモ類と同様に、飛翔捕食者であるトンボ類もまた水田害虫の捕食者と考えられてきており (日鷹 2012; May 2019; Faisol and Daryanto 2020)、水田におけるトンボ類の群集動態について多くの調査が国内外で行われてきた (上田 1998; 九鬼・大窪 2005; Rohmare et al. 2016; Pavithran et al. 2020)。しかし、トンボ類による水田害虫の密度抑制についての研究は、捕食の定性的な観察報告 (Najam et al. 1997; Moses et al. 2019) しかなく、定量的な評価は行われてきていない。さらに、スズメ類は水稻害虫の捕食者である (笠原ほか 2013) 一方で、水稻を食害する鳥類であることが知られており、水田での個体数の季節変化や被害対策の研究は多い (中村・松岡 1981; 笠原ほか 2013; 山口ほか 2015)。しかしながら、スズメ類の天敵としての定量的な評価は行われてきていない。

トンボ類やスズメ類による水稻害虫の捕食についての評価がこれまで行われてきていない理由として、飛翔性であるために、カエル類やクモ類のような地上捕食者に比べて除去などの操作実験が困難であることが考えられる。なぜならば、実験に必要な空間的範囲が広いために繰り返し区の設定が難しく、またネットの網目サイズを

変えるだけでは特定の捕食者を除去できないためである。しかしながら、トンボ類やスズメ類の多くは水田に依存する身近な動物であるため、環境保全型農業を進める上で、その害虫の密度抑制効果を明らかにすることは重要である (May 2019)。そのためには、さまざまな生物や景観において観察事例を蓄積していく必要がある。本研究では、そのような事例研究へ向けた予備実験として、愛知県の都市近郊の小規模水田において飛翔天敵の除去の有無と殺虫剤散布の有無を組み合わせた実験区を設置して、害虫密度の抑制効果を比較した。

方 法

調査地

調査は愛知県春日井市にある名城大学の附属農場で行った (35°16'N, 136°57'E)。農場全体の敷地面積は約 13 ha であり、敷地内には畑・水田・果樹園・樹木園・家畜舎などがある (図 1)。調査は水田敷地 (約 1 ha) の北西に位置する幅 7 m・長さ 28 m の部分を使用して行った。この調査地内において、2014 年 5 月 26 日に機械植で田植えを行い、飛翔天敵による捕食と殺虫剤の効果調べるための 4 つの実験区 (7m×7m) を設置した。各実験区は、ネットの有無と殺虫剤散布の有無の組み合わせにより、北側から順にネット非設置・殺虫剤散布区 (N-I+ 区)、ネット設置・殺虫剤散布区 (N+I+ 区)、ネット非設置・殺虫剤非散布区 (N-I- 区)、ネット設置・殺虫剤非散布区 (N+I- 区) である。各実験区と隣接区および周囲との境界で水稻が接触しないように約 50 cm 幅で刈り取り取った。それぞれの実験区には約 22 条の稲が存在し (条間 30 cm・株間 18 cm)、両端の 1 条を除いた 20 条を節足動物の個体数調査のために使用した。

殺虫剤散布区では、合成ピレスロイド系殺虫剤のエトフェンプロックス (20%、トレボン乳剤、三井化学アグロ株式会社、農林水産省登録番号 16758) を使用した。この殺虫剤は、主な適用害虫としては、ウンカ類、ヨコバイ類、イナゴ類、メイガ類などが挙げられ、速効性と残効性にすぐれているだけでなく、害虫以外の動物に対しては低毒性であることから広く使われている (吉本ほか 1989; 米沢・平井 1997)。各区画に実用濃度の 1000 倍希釈液 (200 ppm) 6.5 L ずつ背負い式の蓄圧式噴霧器を使って散布した。調査を開始した 8 月 11 日に 1 回目の散布を行い、以後約 20 日間隔で 9 月 2 日、9 月 26 日の合計 3 回の散布を行った。水稻害虫に対するトレボン乳剤の散布回数は 3 回までとされていることから、本研

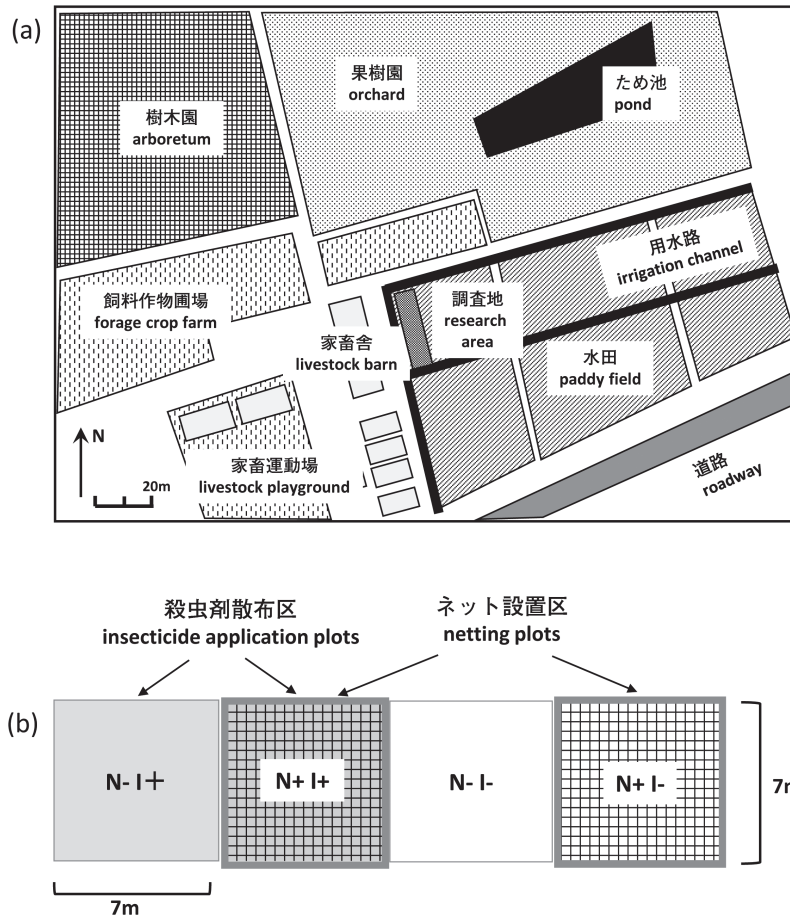


図 1. (a) 調査地の地図と (b) 実験調査区。実験調査区は、ネット (N) と殺虫剤散布 (I) それぞれの有無 (+/-) の組み合わせによる 4 つの実験区から構成されている。

Fig. 1. (a) Map of the study site and (b) diagram of the four experimental plots with (+) or without (-) netting (N) or insecticide application (I).

究では農薬の最大効果を確保するために、3回の散布を行った。調査を行った農場では、フェニルピラゾール系殺虫剤フィプロニル（1%、プリンス粒剤、日産化学株式会社、農林水産省登録番号 19224）が、育苗箱 1箱（30cm×60cm×3cm；用土 5L）あたりに 50g 施用された苗が使用されており、本試験でもこの苗を使用した。この殺虫剤は、害虫だけでなく天敵生物であるカエル類、トンボ類、クモ類の個体数を減らすことが知られている（小山ほか 2005；神宮字ほか 2010；Hayasaka et al. 2012；Kasai et al. 2016）。本研究では、調査開始段階で非施用の苗を準備できなかったため、施用苗を使用して調査を行った。調査地において 2016 年から 2018 年に行った別の調査結果（榊原ほか 2018；杉山ほか 2019）から、ヨコバイ類、ウンカ類、ハエ類、ハチ類のスウィーピング 20 振りあたりの平均個体数がフィプロニルの施用区と

非施用区との間で有意な差がないことが分かっている（図 2）。この結果から、2014 年に行った本研究においても、この育苗箱殺虫剤によるこれらの昆虫類への影響はなかったと判断して分析を行った。ネット設置区では、網目 20 mm の黒色のナイロンネットを 2 m の高さで実験区全体を覆った。

飛翔捕食者と昆虫類の個体数と水稻被害量の調査

昆虫類の種類と個体数の調査は、約 10 日おきに 8 月 11 日、8 月 20 日、9 月 2 日、9 月 12 日、9 月 22 日、10 月 7 日、10 月 17 日の合計 7 回行った。飛翔捕食者のトンボ類については、調査地を含む水田のあぜ道一周（約 150 m）を歩きながら両側約 5 m の範囲（1500 m²）で観察された個体数をカウントし、スズメ *Passer montanus* については、水田全体の周囲（約 400 m）を歩きながら、

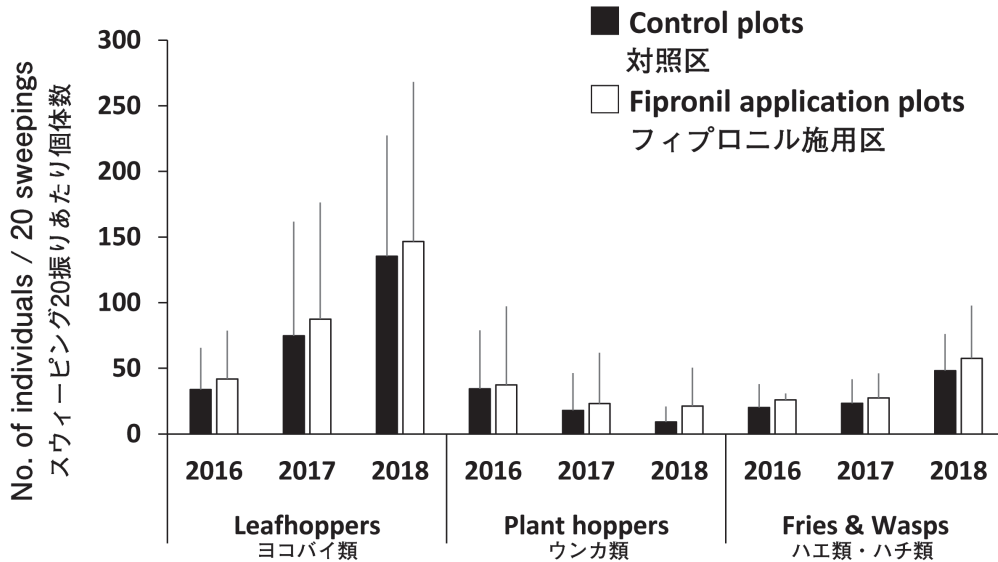


図 2. 同調査地において 2016 年から 2018 年に行った別調査において調べられたプリンス粒剤の施用米と非施用米上でのヨコバイ類、ウンカ類、ハエ・ハチ類のスウィーピング 20 振あたりの平均個体数。U 検定の結果、いずれの昆虫と年度においても施用の有無間で有意な差はなかった (2016, $N_1, N_2 = 14$; 2017, $N_1, N_2 = 10$; 2018, $N_1, N_2 = 32$)。

Fig. 2. Mean \pm SD numbers of leafhoppers, plant hoppers, flies and wasps on rice plants treated with or without fipronil in other studies conducted from 2016 to 2018. The U-test showed no significant difference between these for any insect or year (2016, $N_1, N_2 = 14$; 2017, $N_1, N_2 = 10$; 2018, $N_1, N_2 = 32$)

水田内と周辺約 20 m の範囲 (約 2 ha) で観察された個体数をカウントした。

各調査区の昆虫類については、捕虫網 (HOGA: 直径 38 cm、深さ 95 cm) を用いたスウィーピング法による採集調査を行なった。スウィーピングは、各実験区において稲 4 条ごとに 20 振り合計 100 振り行った。殺虫剤散布と同じ日 (8 月 11 日、9 月 2 日、9 月 26 日) には、殺虫剤散布後に採集を行った。採集した昆虫は酢酸エチルで殺した後にチャック付きビニール袋に移し、実験室において同定と計数を行った。ヨコバイ類とウンカ類については、可能な限り種レベルまで個体数を調べ、それ以外の昆虫については目レベルでの個体数を調べた。チョウ類については、成体と幼虫に分けて計数し、それ以外の昆虫についてはソーティングが困難だったため分析から除外した。

水稻の葉に対する昆虫による食害量の調査は、約 20 日おきに 8 月 11 日、9 月 2 日、9 月 22 日、10 月 17 日の合計 4 回行った。各調査区において 1 条あたり 3 株ずつで 5 条分 (合計 15 株) を刈り取った。刈り取った株は実験室にて、全ての葉の枚数と昆虫の採食痕や吸汁痕のある葉の枚数を数えて、葉に対する食害の割合を求めた。さらに、10 月 17 日の株については、全ての籾の個数とスズメによる採食痕のある籾の個数を数えて、籾に

対する食害の割合をそれぞれ求めた。さらに 10 月 17 日には収量の指標として、各調査区において 1 条あたり 4 株ずつで 5 条分 (合計 20 株) を刈り取り 14 日間天日乾燥させ、脱穀した玄米の 500 粒重を計測した。500 粒重は穀粒計数板を用いて 3 回の測定値の平均値として求めた。

分析方法

節足動物の捕獲個体数に対する殺虫剤散布と飛翔天敵除去の効果調べるために、殺虫剤の散布区 (I+ 区: I+N+ と I+N- の合計) と非散布区 (I- 区: I-N+ と I-N- の合計) および飛翔性天敵の除去区 (N- 区: I+N- と I-N- の合計) と非除去区 (N+ 区: I+N+ と I-N+ の合計) とのそれぞれ 2 区間で正確二項検定を行なった。検定の統計的信頼性を高めるために、全調査期間で 50 個体以上捕獲できた昆虫の目と種に限定して行った。昆虫とスズメによる葉と籾の食害の割合に対する殺虫剤散布と飛翔天敵除去の効果については、全体の葉と籾の数と食害痕のある葉と籾の数について、2x2 のフィッシャーの正確確率検定を行なった。昆虫の捕獲個体数と飛翔捕食者の観察個体数との関係については Pearson の相関係数を調べた。いずれの分析も R (3.6.1) を用いて行った。

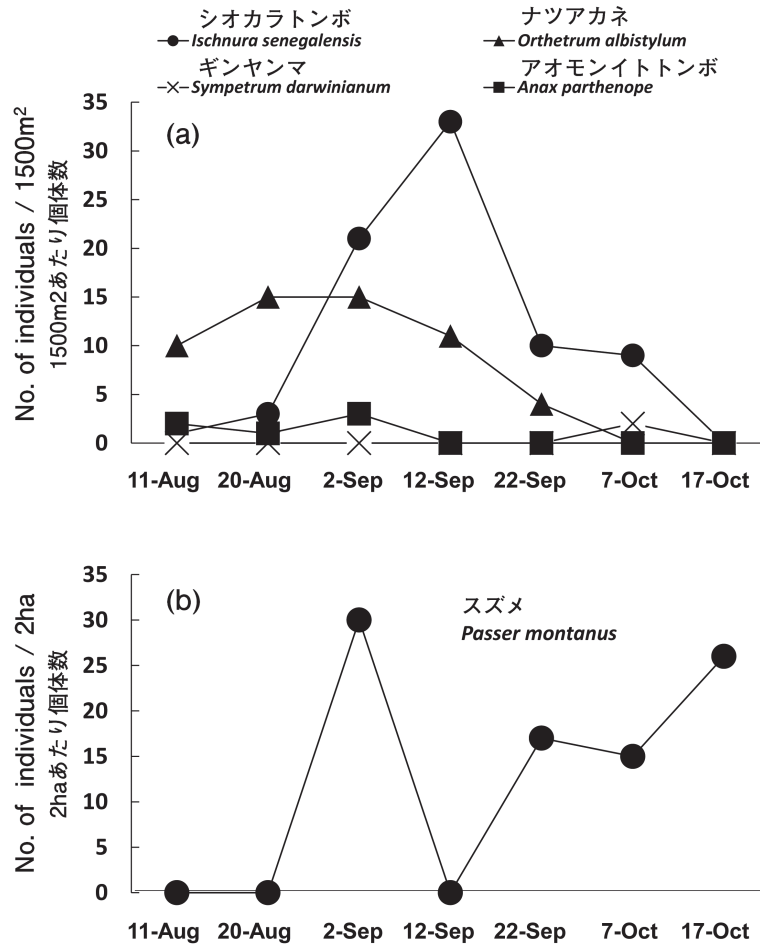


図3. 実験区周辺の (a) 不均翅亜目のシオカラトンボ、ナツアカネ、ギンヤンマと均翅亜目のアオモンイトトンボの 1500 m² あたり個体数とスズメの 3 ha あたり個体数の変化。

Fig. 3. (a) Changes in the numbers of dragonflies (per 1, 500 m²; Anisoptera: *Orthetrum albistylum*, *Sympetrum darwinianum*, *Anax parthenope*; Zygoptera: *Ischnura senegalensis*) and sparrows *Passer montanus* (per 3 ha) near the experimental plots.

結果

飛翔捕食者の個体数

約 150 m のルートセンサスにおいて、不均翅亜目のシオカラトンボ *Orthetrum albistylum*、ナツアカネ *Sympetrum darwinianum*、ギンヤンマ *Anax parthenope* と均翅亜目のアオモンイトトンボ *Ischnura senegalensis* が観察され、さらにルートセンサス以外で観察された不均翅亜目のオオシオカラトンボ *Orthetrum triangulare* とウスバキトンボ *Pantala flavescens*、均翅亜目のキイトンボ *Ceriagrion melanurum* を含めると全体で 7 種類の飛翔捕食者が観察された。これらのうち、調査ルート内での合計個体数が多かったのは、シオカラトンボ (55 個体)

とアオモンイトトンボ (77 個体) であった。トンボ個体数が最大となるのは、不均翅亜目では 8 月下旬から 9 月上旬にかけて、均翅亜目では 9 月中旬であった (図 3a)。スズメは 8 月下旬までは観察されなかったが、9 月上旬に水田内と周辺域約 2 ha の範囲に最大 30 個体が観察され、9 月下旬以降から 10 月中旬までに 15 個体から 26 個体が観察された (図 3b)。

水稻上の昆虫類の個体数

全調査期間で 50 個体以上捕獲できた昆虫の目別の捕獲個体数は、8 月中旬にチョウ目成虫 (Lepidoptera: 全昆虫の 0.3%、コヤガなど)、8 月下旬にバッタ目 (Orthoptera: 0.6%、ササキリなど)、9 月上旬にカメム

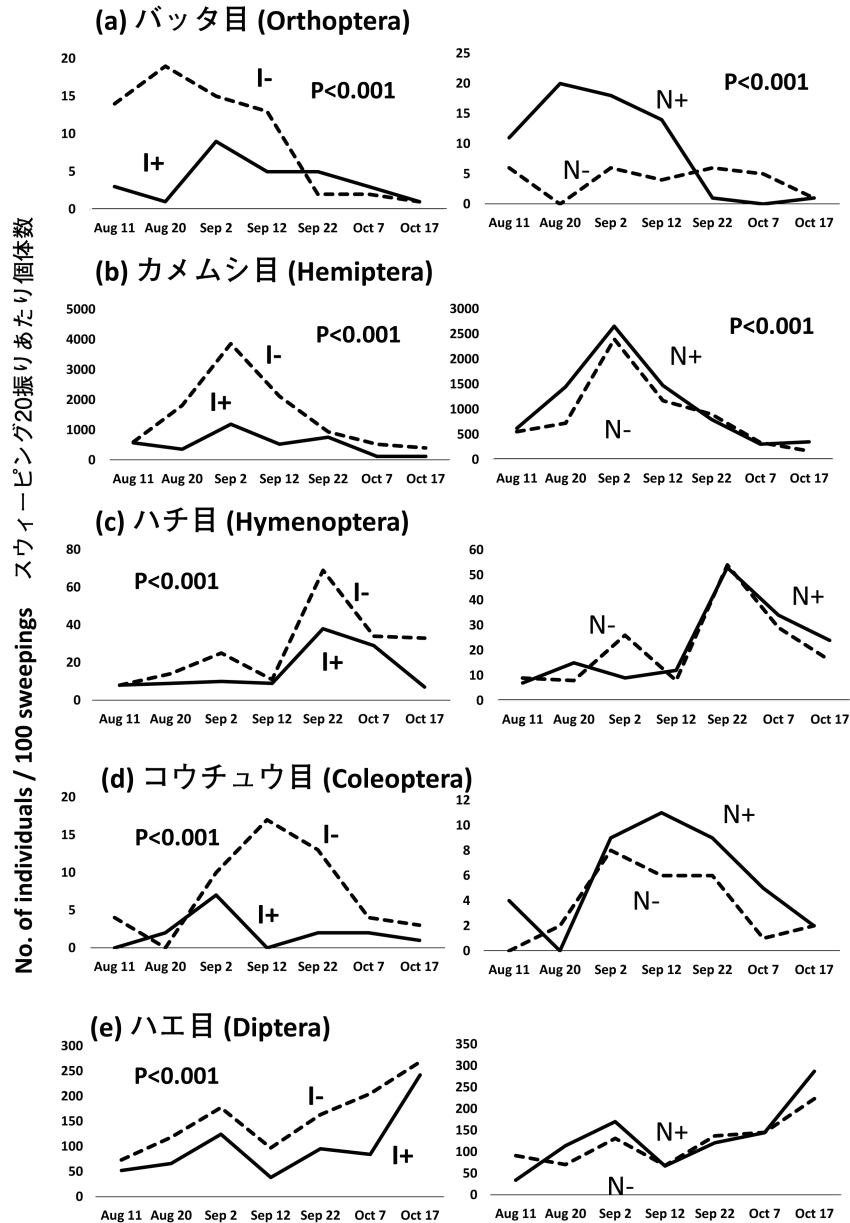


図4. 殺虫剤の散布区 (I+区: I+N+とI+N-の合計) と非散布区 (I-区: I-N+とI-N-の合計) および飛翔性天敵の除去区 (N-区: I+N-とI-N-の合計) と非除去区 (N+区: I+N+とI-N+の合計) における (a) バッタ目、(b) カメムシ目、(c) ハチ目、(d) コウチュウ目、(e) ハエ目のスウィーピング20振りあたりの捕獲合計個体数の変化。付録参照。

Fig. 4. Changes in the total numbers of (a) Orthoptera, (b) Hemiptera, (c) Hymenoptera, (d) Coleoptera, and (e) Diptera captured with 20 net sweeps in the experimental plots with (+) or without (-) insecticide application (I, left) or netting (N, right). See Appendix 1 for details.

シ目 (Hemiptera: 85%、ヨコバイ、ウンカ、アブラムシなど) とチョウ目幼虫 (0.4%、コヤガなど) が9月上旬、9月中旬にコウチュウ目 (Coleoptera: 0.4%、ハムシなど) が、9月下旬にハチ目 (Hymenoptera: 1.9%、

寄生バチなど)、10月中旬にハエ目 (Diptera: 11%、ハエ・カなど) が最大となった (図4、付録1)。目別の捕獲個体数を実験区間で比較すると、バッタ目とカメムシ目では、殺虫剤散布区と捕食者非除去区で有意に小さかった。

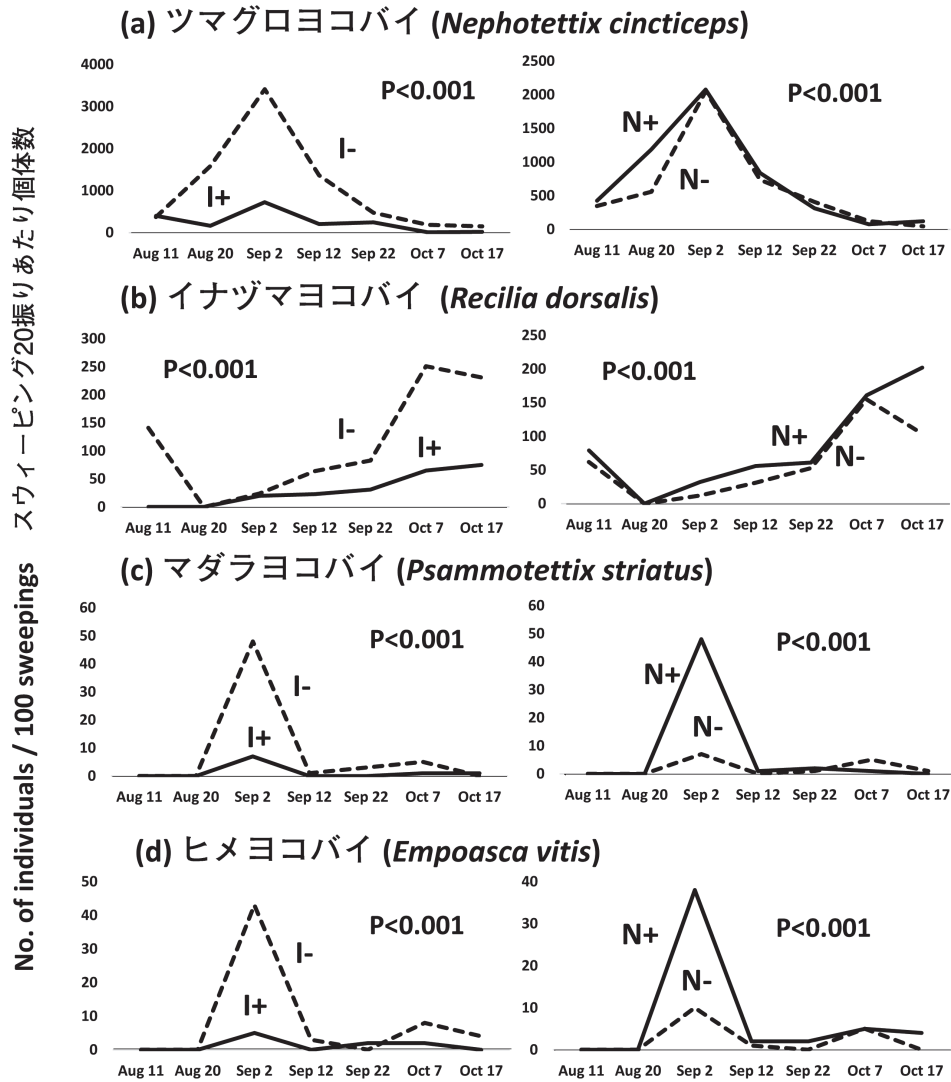


図5. 殺虫剤の散布区 (I+区: I+N+ と I+N- の合計) と非散布区 (I-区: I-N+ と I-N- の合計) および飛翔性天敵の除去区 (N-区: I+N- と I-N- の合計) と非除去区 (N+区: I+N+ と I-N+ の合計) における (a) ツマグロヨコバイ、(b) イナヅマヨコバイ、(c) マダラヨコバイ、(d) ヒメヨコバイのスウィーピング20振りあたりの捕獲合計個体数の変化。付録参照。

Fig. 5. Changes in the total numbers of (a) *Nephotettix cincticeps*, (b) *Recilia dorsalis*, (c) *Psammotettix striatus*, and (d) *Empoasca vitis* captured with 20 net sweeps in the experimental plots with (+) or without (-) insecticide application (I, left) or netting (N, right). See Appendix 1 for details.

その減少の割合はバッタ目での差はなかったが (56% vs 54%)、カメムシ目では殺虫剤散布の効果は捕食者除去の効果に比べて3.5倍大きかった (64% vs 18%; 付録1)。さらに、殺虫剤散布区ではハチ目とコウチュウ目とハエ目の個体数、捕食者非除去区ではチョウ目幼虫の個体数がそれぞれ有意に小さかった (付録1)。個体数が少ないために統計的には有意ではなかったが、アミメカゲロウ目やカマキリ目の個体数も殺虫剤散布によっ

て70–80%減少していた (付録1)。

全調査期間で50個体以上捕獲できた7種において、捕獲個体数が最大となったのは、トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* (全カメムシ目の0.9%) 1種が8月中旬、ツマグロヨコバイ *Nephotettix cincticeps* (74%)、マダラヨコバイ *Psammotettix striatus* (0.5%)、ヒメヨコバイ *Empoasca vitis* (0.5%)、セジロウンカ *Sogatella furcifera* (5.2%)、ヒメトビウンカ *Laodelphax striatella*

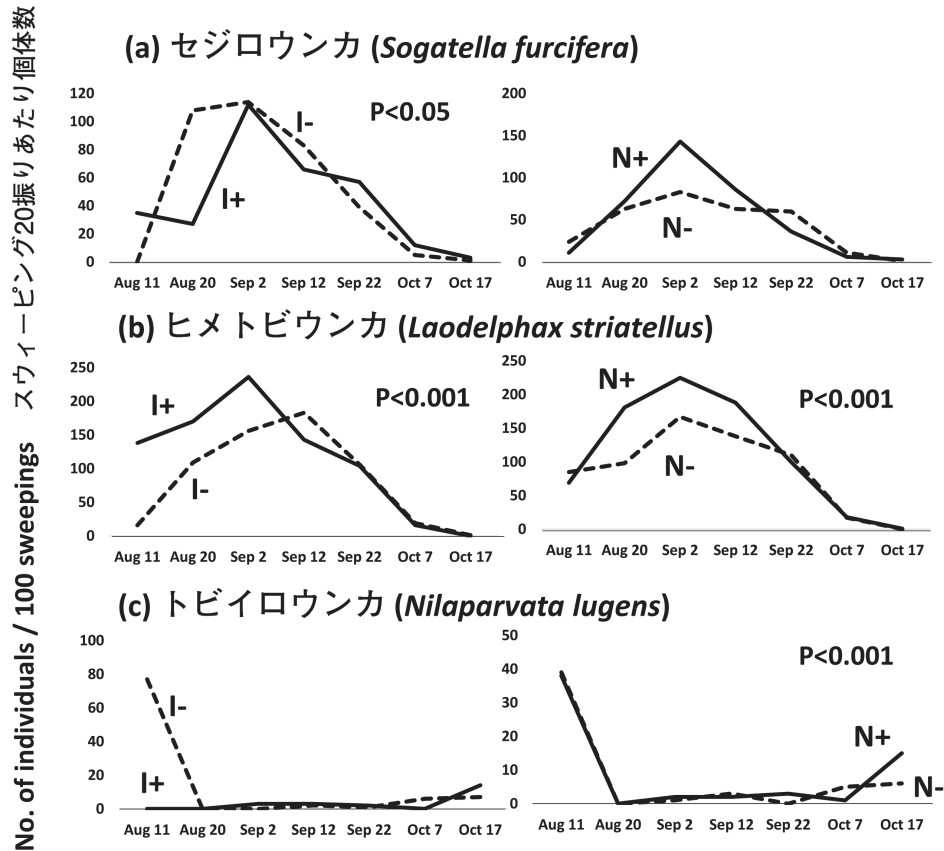


図6. 殺虫剤の散布区 (I+ 区: I+N+ と I+N- の合計) と非散布区 (I- 区: I-N+ と I-N- の合計) および飛翔性天敵の除去区 (N- 区: I+N- と I-N- の合計) と非除去区 (N+ 区: I+N+ と I-N+ の合計) における (a) セジロウンカ、(b) ヒメトビウンカ、(c) トビイロウンカのスイーピング 20 振りあたりの捕獲合計個体数の変化。付録参照。
 Fig. 6. Changes in the total numbers of (a) *Sogatella furcifera*, (b) *Laodelphax striatellus*, and (c) *Nilaparvata lugens* captured with 20 net sweeps in the experimental plots with (+) or without (-) insecticide application (I, left) or netting (N, right). See Appendix 1 for details.

(11%) の 5 種が 9 月上旬、イナヅマヨコバイ *Recilia dorsalis* (8%) 1 種が 10 月上旬に最大となった (図 5, 6, 付録 1)。これらのうちヨコバイ類全ての 4 種では、殺虫剤散布区と捕食者非除去区の両方で捕獲個体数が有意に小さかったが (表 1)、その度合いは殺虫剤散布の効果は捕食者除去の効果に比べて 3.5 倍大きかった (76% vs 22%; 付録 1)。ウンカ類 3 種はヨコバイ類の反応と違って、トビイロウンカは殺虫剤散布区でのみ、セジロウンカとヒメトビウンカは捕食者非除去区でのみ個体数が有意に小さかった。また、ヒメトビウンカでは逆に、殺虫剤非散布区で個体数が有意に増加した。

対照区である殺虫剤非散布・ネット非設置 (I-N-) 区における目別・種別捕獲個体数と飛翔捕食者の観察個体数との相関関係を調べた結果、不均翅トンボとカメムシ目 ($r = 0.831$)、コウチュウ目 ($r = 0.781$)、ツマグロヨ

コバイ ($r = 0.770$)、ヒメトビウンカ ($r = 0.839$) との間に有意な正の関係があった (いずれも $P < 0.05$)。スズメの観察個体数と昆虫の捕獲個体数との間には有意な関係はなかった (付録 1)。

水稻の食害率

水稻の葉に対する昆虫の食害率は、調査開始時の 8 月上旬には差がなかったが、9 月上旬以降の調査では殺虫剤の非散布区よりも散布区において有意に小さかった (図 7)。殺虫剤非散布区においては、有意ではなかったが、ネット非設置区において食害率は小さかった。また、調査最終日の 10 月中旬に調べた水稻の籾に対するスズメによる食害の割合は全体で 1.1% と非常に小さく、殺虫剤散布も捕食者除去のどちらにおいても有意な差はなかった。500 粒重は、殺虫剤の散布区が非散布区よりも

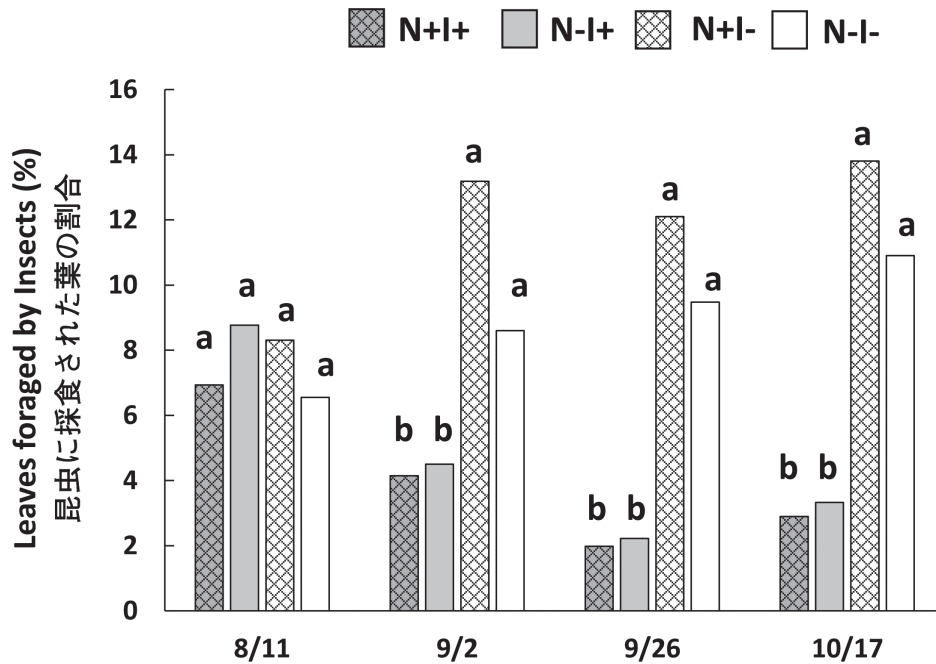


図7. ネット (N) と殺虫剤散布 (I) それぞれの有無 (+/-) の組み合わせによる4つの実験区におけるイネの全葉に対する昆虫食痕のある葉の枚数の割合の変化 (%). 異なるアルファベットは各調査日において正確確率検定において有意な差があることを示す ($P < 0.05$, ボンフェローニ補正).

Fig. 7. Change in the percentage change (%) in the number of leaves with insect feeding scars relative to the total number of leaves of rice in four experimental plots with (+) and without (-) insecticide spraying (I) or netting (N). The different alphabets for each survey date indicate significant differences in the exact probability test ($P < 0.05$, Bonferroni correction).

有意に大きく (11.63 ± 0.10 vs 11.13 ± 0.21 , $t = 6.30$, $df = 18$, $P = 0.012$)、捕食者の除去区と非除去区間では差がなかった (11.35 ± 0.35 vs 11.42 ± 0.26 , $t = 0.51$, $df = 18$, $P = 0.099$)。

考 察

トンボ類の個体数は、水稲害虫の多くなる8月上旬から9月下旬にかけて調査地外周の約150 mあたり18 - 57個体 (100 mあたり12 - 38個体) が観察された。若杉 (2016) が新潟県の谷津田と平地水田においてトンボ成虫の活動時期である7月に行ったラインセンサスでは、平均して100 mあたり25.3個体と0.9個体が観察されている。調査月は違うが、本研究を行った水田のトンボは、平地水田の個体数よりはるかに多く、自然度の高い谷津田にほぼ匹敵する個体数を有していることが推測できる。本研究で使った苗ではフェニルピラゾール系殺虫剤フィプロニルが施用されており、トンボ類の幼虫個体数を減らすことが知られている (小山ほか 2005 ;

神宮字ほか 2010 ; Hayasaka et al. 2012 ; Kasai et al. 2016) ことから、調査地においても、この農薬の影響を受けている可能性がある。しかしながら、調査を行った水田は、周囲の農場敷地内に農薬の影響を受けていないため池があり、また草地や林地も存在するため、飛翔能力が高くこれらの場所から容易に移動できるトンボ類にとって好ましい環境であった可能性もある (上田 1998)。スズメは9月上旬以降に2 haあたり最大で30個体が観察された。笠原ほか (2013) が茨城県の水田で行った調査では20 haあたりに観察されたスズメの個体数は最大で20個体であった。個体数を調べた範囲や回数が異なるために単純な比較はできないが、調査地は都市近郊の小規模な水田であったにもかかわらず、水稲害虫の飛翔捕食者は他の地域と同程度かそれ以上の密度であった。

水稲の主要害虫であるカメムシ目のヨコバイ類とウンカ類の間で、殺虫剤散布と捕食者除去区の効果は違っていた。捕獲個体中最大個体数であったツマグロヨコバイを初めとしてヨコバイ類4種は全て、殺虫剤散布と捕食者除去の効果は有意であったが、その効果の大きさは前

者で大きかった。しかしながら、ウンカ類では、殺虫剤散布のみの効果があったのがトビロウンカ、捕食者除去のみの効果があったのがセジロウンカとヒメトビウンカで、最も個体数の多かったヒメトビウンカでは、殺虫剤散布区で個体数が増加しており逆の効果が示された。本研究で使用した殺虫剤のエトフェンプロックスは、ヨコバイ類だけでなく（中込ほか 1989）ウンカ類（Endo et al. 2002；松村 2014；Zhang et al. 2016）に対しても防除効果が高いことが示されており抵抗性の発達も報告されていないため、本研究での両者に対する殺虫剤散布の効果の違いは現時点では不明である。しかしながら、殺虫剤の効果のなかったセジロウンカとヒメトビウンカは中国や東南アジアから飛来する害虫であり（Otuka et al. 2010；Otuka 2013）、フィプロニルやナドイミダクトドリドなどの殺虫剤に対しては抵抗性を持つことが知られていることから（岸本 1983；Endo et al. 2002；松村 2014；Zhang et al. 2016）、エトフェンプロックスに対しても抵抗性を発達させている可能性がある。逆に、ウンカ類は捕食者除去の効果が大きかった。ウンカ類はヨコバイ類よりも飛翔能力が高いことから（岸本 1983）、水田内では水稲間を移動する頻度が高い可能性があり、そのために飛翔捕食者であるトンボに捕獲されやすいのかもしれない。

殺虫剤散布はまた、ハチ目とコウチュウ目とハエ目の個体数も有意に減少させた。コウチュウ目にはハムシなどの水稲害虫が多く含まれていたが、ハチ目の多くは水稲害虫の天敵である寄生バチであり、ハエ目の昆虫は天敵でも害虫でもない「ただの虫」であった（桐谷 2004）。また、個体数が少ないために統計的は有意ではなかったが、捕食性の昆虫であるアミメカゲロウ目やカマキリ目の個体数も殺虫剤散布によって 70 - 80% 減少していた（付録 1）。すなわち、殺虫剤散布は飛翔捕食者よりも害虫の個体数減少に対しては効果が大きかったが、それ以外の昆虫の個体数を減少させていた。殺虫剤散布によって害虫の個体数が減少したことで、水稲の葉の食害率は有意に減少し、コメの 500 粒重が有意に増加した。総合的病虫害管理を行っていく上で重要なのは、害虫密度を低いレベルにかつ小さな変動幅に制御することで、被害を経済水準以下に抑えることである。ヨコバイ類やウンカ類などの水稲害虫が低密度であれば、トンボなどの天敵昆虫にのみに依存しても問題はないが、天敵昆虫で制御できないほどに害虫密度が増加した場合には、殺虫剤を一時的に使用する必要も出てくるだろう。そのためにも、害虫の個体数と水稲への被害量を継続的

にモニタリングしていく必要がある。

本研究の目的は、水田に依存する身近な飛翔捕食者であるトンボ類とスズメ類による水稲害虫の密度制御効果を定量的に調べることであった。そのために、ネットの有無と殺虫剤散布の有無の組み合わせによる簡易的な 4 タイプの実験区を一つずつ設置して調査を行った。しかし、要因の厳密な評価のためにはランダム配置による繰り返しのある実験区での調査が必要である。また、飛翔捕食者を除去するために、網目 20 mm のナイロンネットを用いて使用した。しかしながら、体の細い均翅亜目のアオモンイトトンボの捕獲（付録 1）やスズメによる初食害も非常にわずかながらネット内で観察されたことから、完全に除去できなかった。カメムシ目昆虫の個体数変化と体の大きい不均翅亜目のトンボの個体数変化との間には相関関係があったことから、本研究で示されたネットによる捕食者除去の効果は不均翅亜目トンボによってもたらされた可能性があるが、両者の間に因果関係があるとは言えない。捕食者の違いを厳密に評価するためには、除去方法の工夫が必要となる。さらに、散布型殺虫剤の効果と飛翔捕食者の効果を厳密に評価するためには、箱苗型殺虫剤を施用していない苗を使って実験を行う必要がある。このように、本研究では多くの実験上の問題があり、飛翔捕食者による水稲害虫の密度制御効果を厳密に評価することはできなかった。捕食者による害虫密度の抑制効果については、さまざまな生物や景観において観察事例を蓄積しメタ解析を行なっていくことで明らかにしていく必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご協力をいただいた名城大学の付属農場および農学部環境動物学研究室の皆様、原稿に対して多くの有益なご助言をくださった編集者と査読者に感謝します。本研究は、文部科学省科学研究費 15K07815 および名城大学学術研究奨励（いずれも代表者日野輝明）の助成を受けて実施した。

引用文献

- Endo S, Takahashi A, Tsurumachi M (2002) Insecticide susceptibility of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén (Homoptera: Delphacidae), collected from East Asia. *Applied Entomological Zoology*, 37:79-84. <https://doi.org/10.1303/aez.2002.79>
- Faisal FH, Daryanto D (2020) Population dynamics brown

- planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) on rice plants in the outside area impact of Sidoarjo MUD. *Agricultural Science*, 3:104-112
- Hayasaka D, Korenaga T, Suzuki K, Saito F, Sánchez-Bayo F, Goka K (2012) Cumulative ecological impacts of two successive annual treatments of imidacloprid and fipronil on aquatic communities of paddy mesocosms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 80:355-362. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.04.004>
- 日鷹 一雅 (2012) ギルド構造から垣間見た水田群集の実際の食物網と潜在的な食物網. *日本生態学会誌*, 62:187-198. https://doi.org/10.18960/seitai.62.2_187
- 神宮字 寛, 上田 哲行, 角田 真奈美, 相原 祥子, 齋藤 満保 (2010) 耕作水田におけるフィプロニルを成分とする育苗箱施用殺虫剤がアカネ属に及ぼす影響. *農業農村工学会論文集*, 78:219-226. <https://doi.org/10.11408/jssidre.78.219>
- 笠原 里恵, 森本 元, 山口 恭弘, 三上 修, 上田 恵介 (2013) 水稲田における水稲の成熟段階および住宅からの距離がスズメ *Passer montanus* の採食場所選択に与える影響. *日本鳥学会誌*, 62:24-30. <https://doi.org/10.3838/jjo.62.24>
- Kasai A, Hayashi T, Ohnishi H, Suzuki K, Hayasaka D, Goka K (2016) Fipronil application on rice paddy fields reduces densities of common skimmer and scarlet skimmer. *Scientific Reports*, 6:23055. <https://doi.org/10.1038/srep23055>
- 桐谷 圭治 (2004) 「ただの虫」を無視しない農業: 生物多様性管理. 築地書館, 東京
- Kiritani K, Kawahata S, Sasaba T, Nakasuji F (1972) Quantitative evaluation of predation by spiders on the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler, by a sight-count method. *Population Ecology*, 13:187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02521977>
- 岸本 良一 (1983) ウンカ類の長距離移動. *三重大学農学部学術報告*, 67:17-29
- 九鬼 なお子, 大窪 久美子 (2005) 長野県上伊那地方水田地域における飛翔捕食者群集構造及び環境選択と立地環境との関係. *ランドスケープ研究*, 68:579-584. <https://doi.org/10.5632/jila.68.579>
- 松村 正哉 (2014) イネウンカ類の薬剤抵抗性問題と防除対策. *日本農薬学会誌*, 39:41-47. <https://doi.org/10.1584/jpestics.W13-12>
- May ML (2019) Odonata: Who they are and what they have done for us lately: Classification and ecosystem services of dragonflies. *Insects*, 10:62. <https://doi.org/10.3390/insects10030062>
- Moses S, Kishor DR, Misra AK, Ahmad MA (2019) Identification and quantification of major insect pests of rice and their natural enemies. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 32:1-10
- Najam MA, Yousaf M, Ali A (1997) Population of dragonflies and their feeding habits on insect pest of rice. *Journal of Agricultural Research*, 29:507-511
- 中込 暉雄, 滝本 雅章, 上林 譲 (1989) ツマグロヨコバイの薬剤感受性とイネ品種愛知80号の耐虫性. *愛知県農業総合試験場研究報告*, 21:78-84
- 中村 和雄, 松岡 茂 (1981) 農作物鳥害防止への道 (1). *農業技術* 36:391-397
- 中筋 房雄, 大林 延夫, 藤家 梓 (1997) 新農学シリーズ: 害虫防除. 朝倉書店, 東京
- 小野 亨, 城所 隆, 小山 淳 (2004) ニホンアマガエルとトウキョウダルマガエルのツマグロヨコバイに対する捕食量の実験的解析. *北日本病虫研報*, 55:176-179. <https://doi.org/10.11455/kitanihon1966.2004.176>
- Otuka A (2013) Migration of rice planthoppers and their vectored re-emerging and novel rice viruses in East Asia. *Frontiers in Microbiology*, 28:1-11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00309>
- Otuka A, Matsumura M, Sanada-Morimura S, Takeuchi H, Watanabe T, Ohtsu R, Inoue H (2010) The 2008 overseas mass migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, and subsequent outbreak of rice stripe disease in western Japan. *Applied Entomological Zoology*, 45:259-266. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.259>
- 小山 淳, 城所 隆 (2003) 寒冷地におけるクモ類の捕食が水田内のツマグロヨコバイ密度に与える影響. *北日本病害虫研究報告*, 54:126-129.
- 小山 淳, 城所 隆, 小野 亨 (2005) 水田の捕食性天敵類に与える農薬の影響. *古川農業試験場研究報告*, 5:31-42
- Pavithran S, Chitra N, Arulprakash R, Sugumaran MP (2020) Diversity of Odonata in the rice fields of Tamil Nadu. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8:2115-2118
- Rohmare VB, Rathod DM, Parasharya BM (2016) Diversity and population dynamics of Odonata (Insecta: Odonata) in rice growing area of central Gujarat. *Journal of Biological Control*, 30:129-137. <https://doi.org/10.18311/jbc%2F2016%2F15597>
- 神原 未紗, 杉浦 智多佳, 片山 好春, 日野 輝明 (2018) フィプロニル系育苗箱施用殺虫剤による害虫防除の負の効果. *名城大学総合研究所紀要*, 23:153-156
- Sasaba T, Kiritani K, Urabe T (1973) A preliminary model to simulate the effect of insecticides on a spider - leafhopper system in the paddy field. *Population Ecology*, 15:9-22. <https://doi.org/10.1007/BF02510706>
- 杉山 絢子, 安藤 幸来, 島田 比乃樹, 杉浦 新二郎, 梶田 祐基, 片山 好春, 日野 輝明 (2019) フィプロニル系育苗箱施用殺虫剤が水稲害虫の天敵効果に及ぼす影響. *名城大学総合研究所紀要*, 24:13-16
- Teng Q, Hu XF, Luo F, Cheng C, Ge X, Yang M, Liu L (2016) Influences of introducing frogs in the paddy fields on soil properties and rice growth. *Journal of Soils and Sediments*, 16:51-61
- 上田 哲行 (1998) 水田の飛翔捕食者群集. (江崎 保男, 田中 哲夫 編) *水辺環境の保全*, 93-110. 朝倉書店, 東京
- 若杉 晃介 (2016) 冬期湛水水田におけるトンボ類の保全

- 効果の検証と対策. 農業と園芸, (911):112-119
- 山口 恭弘, 笠原 里恵, 百瀬 浩 (2015) スズメの通過できない網目サイズと穴掘りによる侵入行動. 日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌, 51:157-163. https://doi.org/10.20652/abm.51.4_157
- 安田 弘法, 田中 幸一, 城所 隆 (2009) 生物間相互作用と害虫管理. 京都大学学術出版会, 京都
- 米沢 悟, 平井 一男 (1997) 水稻後期害虫と天敵相に及ぼす殺虫剤の影響. 関東東山病害虫研究会年報, 44:215-219. <https://doi.org/10.11337/ktpps1954.1997.215>
- 吉本 武雄, 小川 三郎, 宇田川 隆敏, 沼田 智 (1989) 殺虫剤エトフェンプロックスの開発. 日本農薬学会誌, 14:259-268. <https://doi.org/10.1584/jpestics.14.259>
- Zhang X, Liao X, Mao K, Zhang K, Wan H, Li J (2016) Insecticide resistance monitoring and correlation analysis of insecticides in field populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* in China 2012-2014. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 132:13-20. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.10.003>

付 録

- 付録1. 各調査日において、ネット非設置・殺虫剤散布 (N-I+) 区、ネット設置・殺虫剤散布 (N+I+) 区、ネット非設置・殺虫剤非散布 (N-I-) 区、ネット設

置・殺虫剤非散布 (N+I-) 区でスウィーピング20振りによって捕獲された目別 (ヨコバイとウンカは種別; チョウ目は成体・幼体別) 個体数。殺虫剤の散布区 (I+区: I+N+とI+N-の合計) と非散布区 (I-区: I-N+とI-N-の合計) 間および飛翔性天敵の除去区 (N-区: I+N-とI-N-の合計) と非除去区 (N+区: I+N+とI-N+の合計) 間の正確二項検定による合計個体数比較: *** $P < 0.001$, * $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

Appendix 1. Individuals in each order (or each species for Hemiptera and adult/larva of Lepidoptera) captured with 20 net sweeps in the experimental plots with (+) or without (-) insecticide application (I) or netting (N) on each sampling day. Exact binomial tests were used to compare total individuals between the presence and absence of netting or insecticide application. *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

リンクが示されていない付録は本文のオンラインサイトに掲載。

<https://doi.org/10.18960/hozen.2023>