

水稻害虫に対する予察灯の LED 光源の 誘引性能の評価

小野 亨, 加進丈二*, 横堀亜弥

Evaluation of Attractiveness of a Light-Emitting Diode (LED) Trap to Rice Pests

Tohru ONO, Joji KASHIN* and Aya YOKOBORI

抄 録

水稻害虫の発生予察において、白熱電球を光源に用いた予察灯が長年使用されてきたが、白熱電球は将来的に製造と販売が終了する見通しであり、環境に配慮した取組として消費電力の少ない LED 光源への転換が求められている。そこで、本県の主要な水稻害虫に対する LED 光源の誘引性能を評価し、LED 光源を利用した予察灯の実用化を検討した。その結果、宮城県の斑点米カメムシ類の主要種アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメ、ならびに食葉性害虫のフタオビコヤガに対して、LED 光源は白熱電球と同等以上の誘引性能を示し、実用性は高いと思われた。また、ツマグロヨコバイとヒメトビウンカに対しても、LED 光源は白熱電球と同等以上の誘引性能を示したが、少発生条件下での試験であったため、多発生条件下において検討する必要がある。

キーワード：水稻害虫, LED, 予察灯, 誘引

Key words: Rice insect pests, LED, Light trap, attractiveness

緒 言

病虫害発生予察事業において、水稻害虫の発生量や発生時期に関する調査は、全国的に長年実施されており、代表的な調査手法として予察灯が使用されている。宮城県における予察灯の調査は試験研究機関において実施されており、試験研究機関の再編整備により 2001 年以降は宮城県古川農業試験場で調査を行っている。ここで得られた予察灯の調査結果は、宮城県病虫害防除所が発表する病虫害発生予察情報において、発生時期の予察の根拠として活用されている。

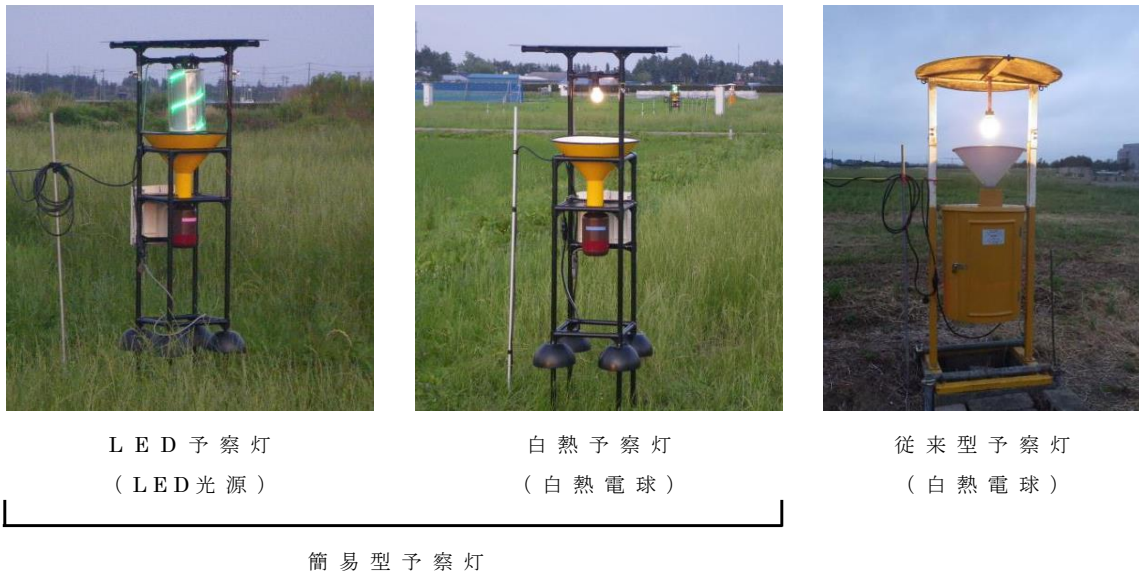
予察灯は、昆虫の走光性反応を利用した調査法であり、夜間活動性害虫の発生予察に利用されている(斎藤ら, 1986)。基本的な調査方法は、「発生予察事業の調査実施基準」(農林水産省消費・安全局植物防疫課, 2015)に基づいており、水稻害虫の調査における光源は 60W の白熱電球が用いられている。しかし、白熱電球は将来的に製造と販売が終了する見通しであり、今後は省エネ性能が高く、長寿命で

ある LED 光源への転換が求められている。一方、狭いスペクトル幅の LED 光源は連続的なスペクトル分布を有する白熱電球と光の発光スペクトルが異なるため、LED 光源を代替光源として実用化するには、対象害虫に対して白熱電球と同等以上の誘引性能を有するか確認する必要がある。そこで、宮城県における主要な水稻害虫を対象に、LED 光源と白熱電球を使用した予察灯における誘殺数の比較、両者の相関関係および誘殺消長の比較を行い、LED 光源の誘引性能について評価を行った。なお、本研究は農林水産省「LED 光源を利用した予察灯の実用化委託事業」において実施した。

材料および方法

I LED 予察灯の誘殺数の評価

2015 ~ 2017 年の 3 年間、宮城県古川農業試験場(宮城県大崎市)の敷地内で調査を実施した。LED 光源と白熱電球の誘引性能を比較するため、簡易型の乾式予察灯(以下、簡易型予察灯) 2 基を設置し、

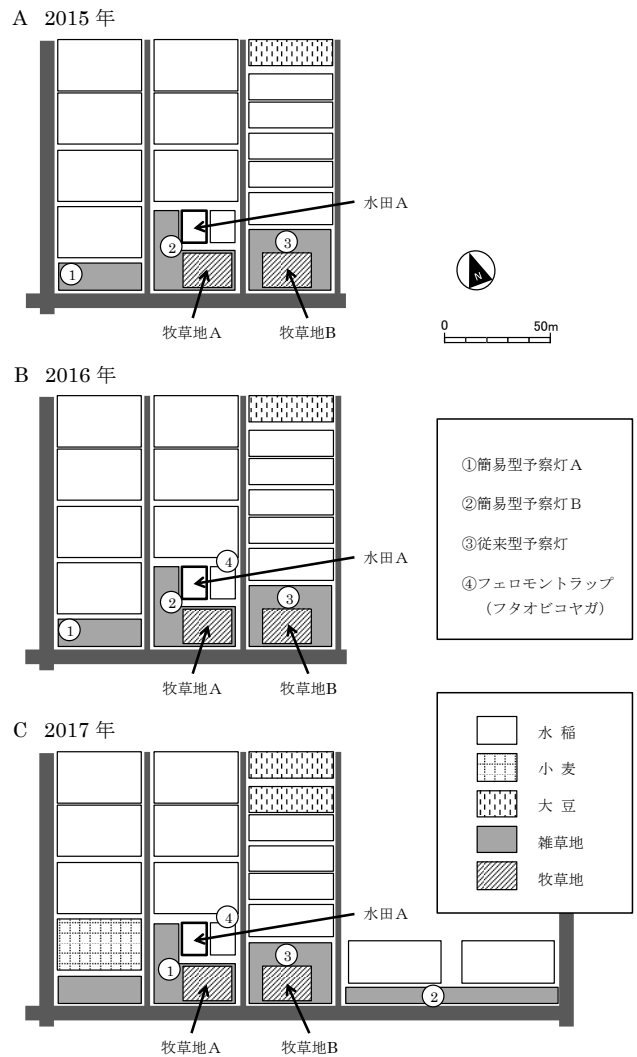


第1図 簡易型予察灯と従来型予察灯の外観

一方に LED 光源を装着し、もう一方に白熱電球を装着した（以下、LED 予察灯、白熱予察灯）。病虫害発生予察事業において、これまで実施してきた乾式予察灯（以下、従来型予察灯）1基についても従来どおり調査を行い、害虫の発生状況の把握と簡易型予察灯の誘殺状況を検討する際の参考データとした。簡易型予察灯と従来型予察灯の外観と敷地内における配置を第1図、第2図に示した。また、各予察灯の概要を第1表に示した。簡易型予察灯2基は50m以上の距離をとり、水稲ほ場に隣接して設置した（1基は3か年同一の場所に設置したが、もう1基は3年目に隣接ほ場が小麦になったため場所を変更した）。また、害虫の誘殺数に対する設置場所の影響を考慮して、簡易型予察灯A、Bは、原則7日ごとに光源（LED光源、白熱電球）を取り換えた。

LED光源は、中心波長約516nmの緑色光のテープLED（長さ1m）をらせん状に配置した円筒型の試作品（外寸直径200mm、高さ330mm、光産業創成大学院大学製作）を用いた。LED光源は、年次ごとに継続して使用したが、白熱電球（60W）は1か月毎に新品に交換した。また、LED光源の高さ（下部-上部）は地上高150-180cmとした。白熱電球の高さ（ソケット部）は地上高170cmとし、従来型予察灯と同じ高さにした。

簡易型予察灯の点灯時間は、18時00分から翌日6時00分とした（第1表）。従来型予察灯について



第2図 予察灯の配置と調査ほ場の位置

注) 簡易型予察灯A、Bには、LED光源または白熱電球を装着し、原則7日間ごとに光源を取り替えた。

は、これまで16時30分に点灯を開始してきたことから、従来どおり16時30分から翌日6時00分を点灯時間とした。

簡易型予察灯の調査期間については、基本的には5月第3半旬から9月第6半旬とした(第2表)。ただし、初年目の2015年は7月7日から調査を開始した。また、2年目の2016年は、8月22~23日にかけて東北地方の太平洋側を通過した台風9号にともない発生した竜巻の被害を受け、簡易型予察灯1基が調査不能となった。このため、8月22日以降、簡易型予察灯BにおいてLED光源のみ調査を継続した。従来型予察灯の調査時期については、これまでどおり5月第1半旬から9月第6半旬とした。

水稻害虫に対するLED光源の誘殺数を評価するため、全調査期間における総誘殺数および同一の光源を使用した連続7日間の誘殺数を用いた。評価項目や調査年次により使用した調査期間が異なるため、それぞれの評価期間を第2表に示した。同一光源による連続7日間の平均誘殺数を、LED光源と白熱電球で比較するため、統計ソフトJMP version 10.0.2 (SAS Institute, 2012)を使用した。その際、誘殺数は対数変換値 $[\log(x+0.5)]$ を用いて、対応のある t 検定により比較した。また、LED光源と白熱電球の誘殺数の関係についても、同一光源の連続7日間の誘殺数(対数変換値)を用いて年次ごとに単回帰分析を行った。3か年当てはまりの良い回帰式(決定係数 $R^2 > 0.6$)が得られた害虫種については、共分散分析により年次間の回帰直線の傾きの違いを検討した。傾きに有意な差が認められなかった場合は、さらに交互作用を含まない分散分析を行い、切片(高さ)の違いを検討した。傾きと切片(高さ)に有意

な差が認められない場合は、3か年のデータを統合して単回帰分析を行った。

調査対象とした水稻害虫は、ウンカ類(ヒメトビウンカ *Laodelphax striatellus* (Fallén), セジロウンカ *Sogatella furcifera* (Horváth), トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* (Stål)), ツマグロヨコバイ *Nephotettix cincticeps* (Uhler), ニカメイガ *Chilo suppressalis* (Walker), イネミズゾウムシ *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel, フタオビコヤガ *Naranga aenescens* Moore, 斑点米カメムシ類(アカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura), アカヒゲホソミドリカスミカメ *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy))とした。なお、本研究は前述の農林水産省の委託事業において指定された対象害虫を主体に調査を行った。しかし、セジロウンカ、トビイロウンカおよびニカメイガは、調査期間を通して誘殺が認められないか、誘殺数が極めて少なく、またイネミズゾウムシは本県の予察対象である越冬後成虫が誘殺されないため(城所, 2018)、これら4種に対する調査結果について本稿では割愛する。

II LED予察灯の誘殺消長の評価

LED予察灯における誘殺消長を評価するため、白熱予察灯における誘殺消長との比較を行った。簡易型予察灯は、日分け採集機能を有しないことから、原則毎日回収して種別、雌雄別に計数した。ただし、休日は回収せずに、休日明けに回収した総個体数を誘殺日数で割り、得られた平均個体数を単日の値とした。予察灯における誘殺消長については、病虫害発生予察事業において半旬ごとのデータを使用する

第1表 簡易型予察灯(LED予察灯, 白熱予察灯)と従来型予察灯の概要

予察灯の種類	光源	点灯時間	誘殺虫の日分け採集機能の装備	外形寸法 (mm)	製造元 (型式)
LED予察灯	LED光源	18時00分～翌日6時00分	日分け採集なし	W920×D920×H2,000	興南施設管理株式会社
白熱予察灯	白熱電球				
従来型予察灯	白熱電球	16時30分～翌日6時00分	日分け採集あり(7日間)	W920×D920×H2,000	株式会社池田理化 (MT-7)

第2表 簡易型予察灯の各種評価期間

評価項目	2015年	2016年	2017年
全調査期間における 総誘殺数	7/7～9/30 (86日間)	5/11～8/21 (103日間) ※8/22以降、LED光源のみ 調査を継続(参考データ)	5/11～9/30 (143日間)
同一光源を使用した 連続7日間の誘殺数	7/17～9/24 (10週間)	5/11～8/16 (14週間)	5/16～9/25 (19週間)
誘殺消長	7月第2半旬～9月第6半旬 ※7月第2半旬は、4日間の データを5日間に換算	5月第3半旬～8月第4半旬	5月第3半旬～9月第6半旬

ことから、半旬ごとに誘殺数を集計した誘殺消長を評価した。また、水稻害虫の発消長を把握するため、下記に示す調査手法を併用した。

1. すくい取り調査

病害虫発生予察事業の一環として毎年調査を実施している水田1筆(以下、水田A)および牧草地2か所(以下、牧草地A, B)を、本研究において使用した(第2図)。水田Aは、水稻品種「ひとめぼれ」を2015～2017年の3年間、5月10～11日の期間に移植した。口径36cm、柄の長さ1mの捕虫網を用いて、7月第1半旬～8月第6半旬の期間、半旬ごとに20回振りすくい取り調査を実施した。調査対象の害虫種として、ヒメトビウンカ、ツマグロヨコバイ、フタオビコヤガ、斑点米カメムシ類(アカスジカスミカメ、アカヒゲホソミドリカスミカメ)を種別、成虫・幼虫別に計数し、本研究では成虫密度の推移を示した。

牧草地A, Bには、毎年、草種イタリアンライグラスを前年の9月中旬～10月上旬に播種し、斑点米カメムシ類の発生源とした。牧草地Aには中生品種「ナガハヒカリ」、牧草地Bには極晩生品種「アキアオバ3」を作付けし、ほ場間で出穂時期を変え、また出穂後の刈り取り時期も変えることにより、出穂した状態のイタリアンライグラスを敷地内に長く維持した。5月第3半旬～8月第6半旬の期間、前述の捕虫網を用いて、半旬ごとに20回振りすくい取り調査を実施した。ただし、2017年の牧草地Aは、イタリアンライグラスの夏季の枯れ上がりにより、斑点米カメムシ類の密度が極端に低下したため、

8月第1半旬で調査を終了した。斑点米カメムシ類(アカスジカスミカメ、アカヒゲホソミドリカスミカメ)を種別、成虫・幼虫別に計数したが、本研究では成虫密度の推移を示した。

2. フェロモントラップによる調査

1) フタオビコヤガ

フタオビコヤガのフェロモントラップを、水田Aの北側に隣接する水田畦畔に1基設置した(第2図)。粘着式トラップとしてSEトラップ(サンケイ化学)を地上高50cmに固定し、誘引源としてフェロモン剤(サンケイ化学)を設置した。4月上旬から9月末まで原則7日間隔で調査を行った。粘着板は調査のたびに交換し、誘引源は1か月ごとに交換した。

2) 斑点米カメムシ類

アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの各フェロモントラップを1基ずつ、いずれも牧草地A, Bに設置した。2015, 2016年は、SEトラップ用粘着板2枚を両面が粘着面となるように重ね合わせ、トラップの下辺を牧草の草冠高の高さに随時調節し、垂直に設置した。誘引源として両種のフェロモン剤(いずれも信越化学工業)を粘着板の上辺中央に併せて固定した。2017年は、アカスジカスミカメのフェロモントラップとして、アース製薬の発生予察用フェロモン製剤(商品名:フェロモンEBCアカスジカスミカメ用)と専用網円筒トラップを使用した。アカヒゲホソミドリカスミカメについては、前年と同じ方法で調査した。SEトラップ用粘着板は調査のたびに交換し、専用網円筒トラップは2週間隔で交換した。誘引源については、い

ずれも1か月ごとに交換した。

3. 黄色粘着トラップによる調査

2016年、2017年に黄色粘着トラップを用いた調査を実施した。平江・柴(2015)を参考にして、黄色粘着トラップを水田Aの畦畔から1m内側に、2016年は2基、2017年は1基設置した。黄色粘着トラップは、透明アクリル板(20cm×30cm)の中央両面に10cm×25cmの大きさに切った黄色粘着シート(ITシート、サンケイ化学)を貼り付けたものであり、トラップの上辺がイネの草冠より20cm低い位置になるように随時調節した。調査期間について、2016年は5月20日～9月15日、2017年は5月23日～9月13日とし、原則7日間隔で粘着板の交換を行い、捕獲されたヒメトビウンカ、ツマグロヨコバイの成虫数を調査した。

結果

I LED予察灯の誘殺数の評価

LED光源の誘引性能を評価するため、害虫種ごとに全調査期間における総誘殺数および7日当たり平均誘殺数の解析を行った。総誘殺数について、アカスジカスミカメは、LED予察灯と白熱予察灯で、それぞれ250～878頭、171～681頭の誘殺数を示し、年次により総誘殺数は異なるものの、同一年次における比較において、LED予察灯は白熱予察灯と同等以上であった(第3表)。アカヒゲホソミドリカスミカメの総誘殺数は、LED予察灯412～1,086頭、白熱予察灯363～883頭であり、アカスジカスミカ

メ同様、同一年次における比較において、LED予察灯は白熱予察灯と同等以上であった。一方、白熱予察灯と同じ光源を使用した従来型予察灯において、両種の総誘殺数はそれぞれ428～1,388頭、558～1,736頭であり、LED予察灯や白熱予察灯より多い傾向が認められた。フタオビコヤガ、ツマグロヨコバイ、ヒメトビウンカのLED予察灯の総誘殺数は、それぞれ25～64頭、4～107頭、2～11頭であり、白熱予察灯においては、それぞれ18～60頭、2～35頭、1～12頭であった。これら3種の総誘殺数は、斑点米カメムシ類の2種と比較して少なかったが、LED予察灯は白熱予察灯と比較して同等以上であった。また、従来型予察灯における総誘殺数が、LED予察灯や白熱予察灯と比較して多くなる傾向は認められなかった。

次に、簡易型予察灯におけるLED光源と白熱電球の7日当たり平均誘殺数の比較を行った結果を第3図に示した。アカスジカスミカメ、アカヒゲホソミドリカスミカメ、フタオビコヤガ、ヒメトビウンカの4種については、3か年ともLED予察灯と白熱予察灯の間に有意な差は認められなかった(対応のあるt検定、 $p > 0.05$)。一方、ツマグロヨコバイについては、2015年と2016年はLED予察灯と白熱予察灯の間に有意な差は認められず(対応のあるt検定、 $p > 0.05$)、2017年はLED予察灯の誘殺数が白熱予察灯より多く、有意な差が認められた(対応のあるt検定、 $p < 0.05$)。

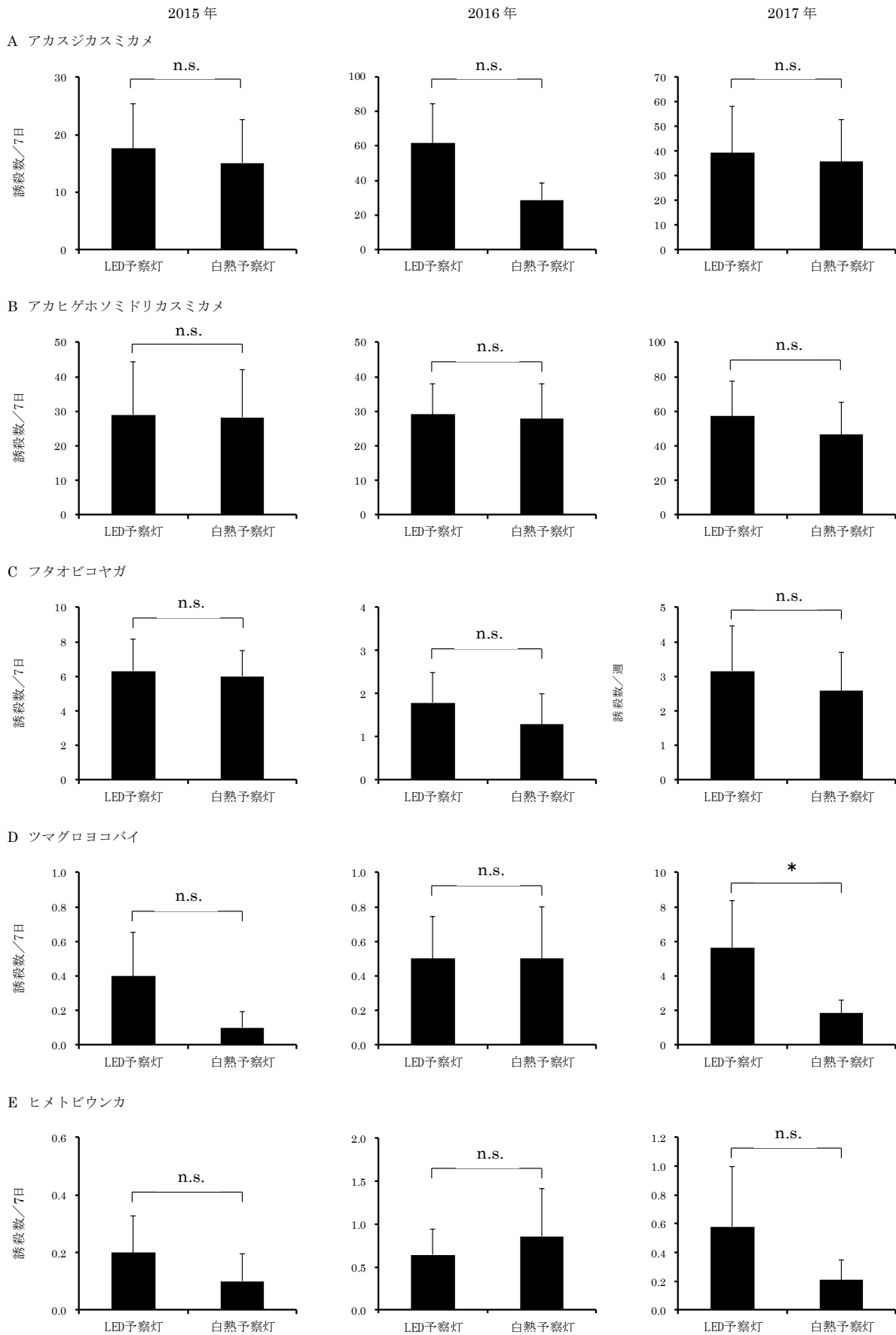
LED予察灯と白熱予察灯の7日当たり誘殺数の

第3表 LED予察灯、白熱予察灯、従来型予察灯の全調査期間の総誘殺数の比較

	2015年			2016年			2017年		
	LED予察灯	白熱予察灯	従来型予察灯	LED予察灯	白熱予察灯	従来型予察灯	LED予察灯	白熱予察灯	従来型予察灯
アカスジカスミカメ	250	171	443	878	419	428	747	681	1,338
アカヒゲホソミドリカスミカメ	567	363	1,058	412	396	558	1,086	883	1,736
フタオビコヤガ	64	60	70	25	18	12	60	49	73
ツマグロヨコバイ	4	2	7	7	7	4	107	35	16
ヒメトビウンカ	2	1	7	11	12	39	11	4	13

注1) 簡易型予察灯の全調査期間：2015年7月7日～9月30日(86日間)、2016年5月11日～8月21日(103日間)、2017年5月11日～9月30日(143日間)

注2) 従来型予察灯については、簡易型予察灯と同期間の誘殺数を示した。



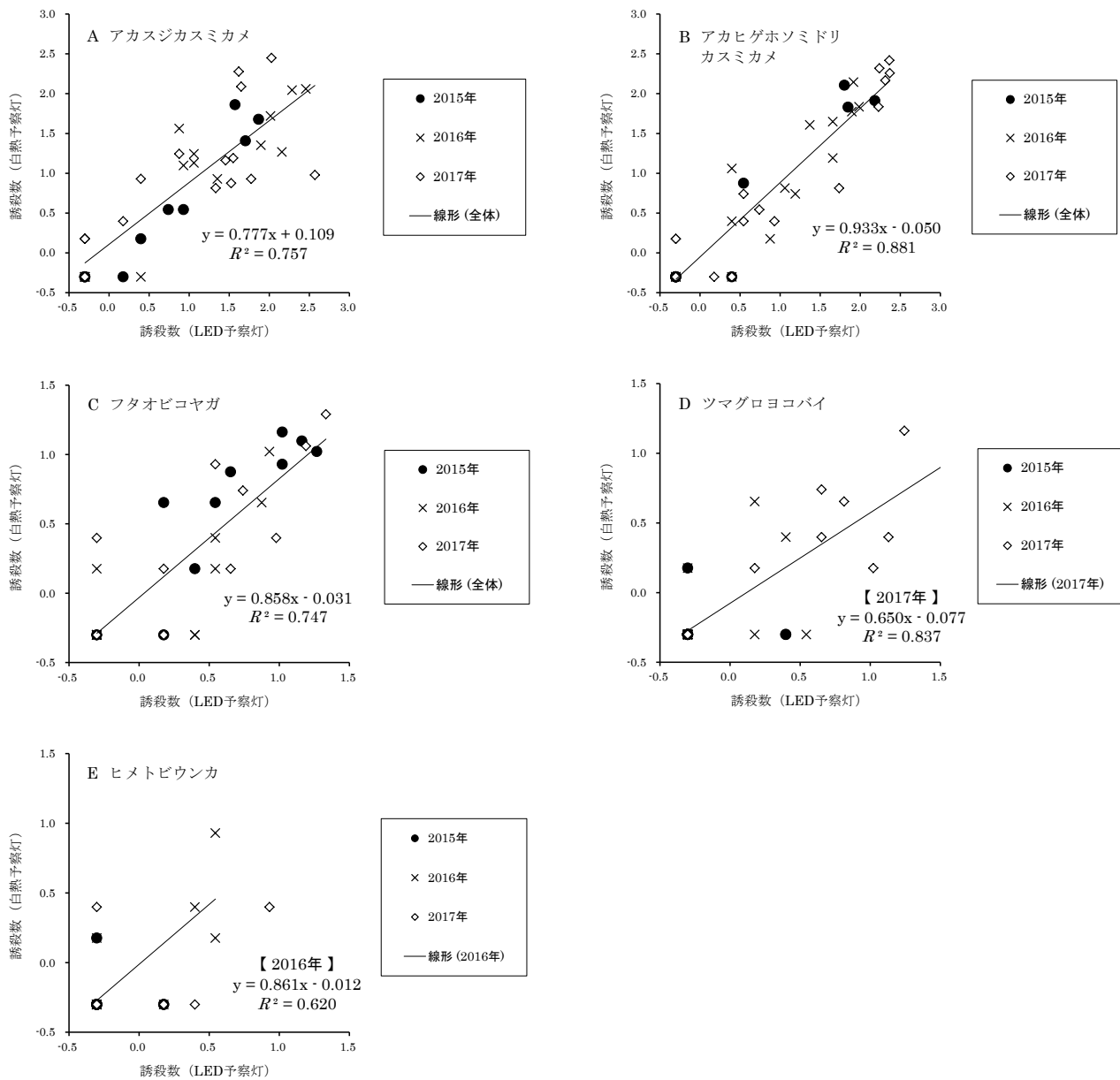
第3図 LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の比較

注1) * : 対応のある t 検定で有意差あり ($p < 0.05$). n.s. : not significant.

注2) 誘殺数は, 対数変換値 $\log(X+0.5)$ を用いた.

関係について第4図に示した。また、両者の相関係数（相関係数）から、アカスジカスミカメにおけるLED予察灯と白熱予察灯の誘殺数は、3か年とも統計的に有意な正の相関が認められた（第4表）。同様に、アカヒゲホソミドリカスミカメとフタオビコヤガについても、3か年とも統計的に有意な正の相関が示された。ツマグロヨコバイは2017年のみ、ヒメトビウンカは2016年と2017年に、統計的に有意な正の相関が示された。回帰直線について、当てはまりの良い回帰式（決定係数 $R^2 > 0.6$ ）が認められたもののみ第5表に示した。アカスジカスミカメ、

アカヒゲホソミドリカスミカメおよびフタオビコヤガについては、共分散分析の結果から、3か年の回帰直線の傾きにおいて年次間で有意な差は認められなかった（第6表a）。さらに交互作用を含まない分散分析を行った結果、年次間で有意な差は認められなかったことから（第6表b）、3か年のデータを統合して単回帰分析を行った（第5表）。得られた回帰直線の決定係数は、アカヒゲホソミドリカスミカメ ($R^2=0.88$)、アカスジカスミカメ ($R^2=0.76$)、フタオビコヤガ ($R^2=0.75$) の順に高く、いずれも当てはまりの良い回帰式 ($R^2 > 0.6$) が得られた。



第4図 LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の関係

注) 7日当たり誘殺数の対数変換値 $\log(X+0.5)$ で示した。

第4表 LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の間の相関関係

害虫種	相関係数		
	2015年	2016年	2017年
アカスジカスミカメ	0.97 ***	0.91 ***	0.80 ***
アカヒゲホソミドリカスミカメ	0.96 ***	0.90 ***	0.94 ***
フタオビコヤガ	0.87 **	0.78 ***	0.86 ***
ツマグロヨコバイ	-0.17	0.45	0.91 ***
ヒメトビウンカ	-0.17	0.79 ***	0.53 *

注) *** : $p < 0.001$, ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$.

第5表 LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の単回帰分析

害虫種	年次	回帰直線	R^2
アカスジカスミカメ	2015年	$y = 0.981x - 0.136$	0.933
	2016年	$y = 0.818x + 0.032$	0.823
	2017年	$y = 0.672x + 0.271$	0.646
	全体	$y = 0.777x + 0.109$	0.757
アカヒゲホソミドリカスミカメ	2015年	$y = 1.001x - 0.036$	0.927
	2016年	$y = 0.971x - 0.093$	0.871
	2017年	$y = 0.894x - 0.043$	0.892
	全体	$y = 0.933x - 0.050$	0.881
フタオビコヤガ	2015年	$y = 0.945x + 0.018$	0.763
	2016年	$y = 0.700x - 0.084$	0.616
	2017年	$y = 0.818x - 0.029$	0.738
	全体	$y = 0.858x - 0.031$	0.747
ツマグロヨコバイ	2017年	$y = 0.650x - 0.077$	0.837
ヒメトビウンカ	2016年	$y = 0.861x - 0.012$	0.620

注) y : 誘殺数 (白熱予察灯), x : 誘殺数 (LED予察灯)

第6表 LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数に関する解析結果

a 共分散分析の結果

要因	アカスジカスミカメ				アカヒゲホソミドリカスミカメ				フタオビコヤガ			
	d.f.	SS	F	p	d.f.	SS	F	p	d.f.	SS	F	p
年次	2	0.17	0.47	0.631	2	0.06	0.22	0.802	2	0.12	0.72	0.492
誘殺数 (LED光源)	1	21.03	117.27	<0.001	1	29.90	236.04	<0.001	1	6.61	80.75	<0.001
年次×誘殺数 (LED光源)	2	0.49	1.37	0.267	2	0.09	0.34	0.711	2	0.08	0.51	0.608
誤差	37	6.64			37	4.69			37	3.03		

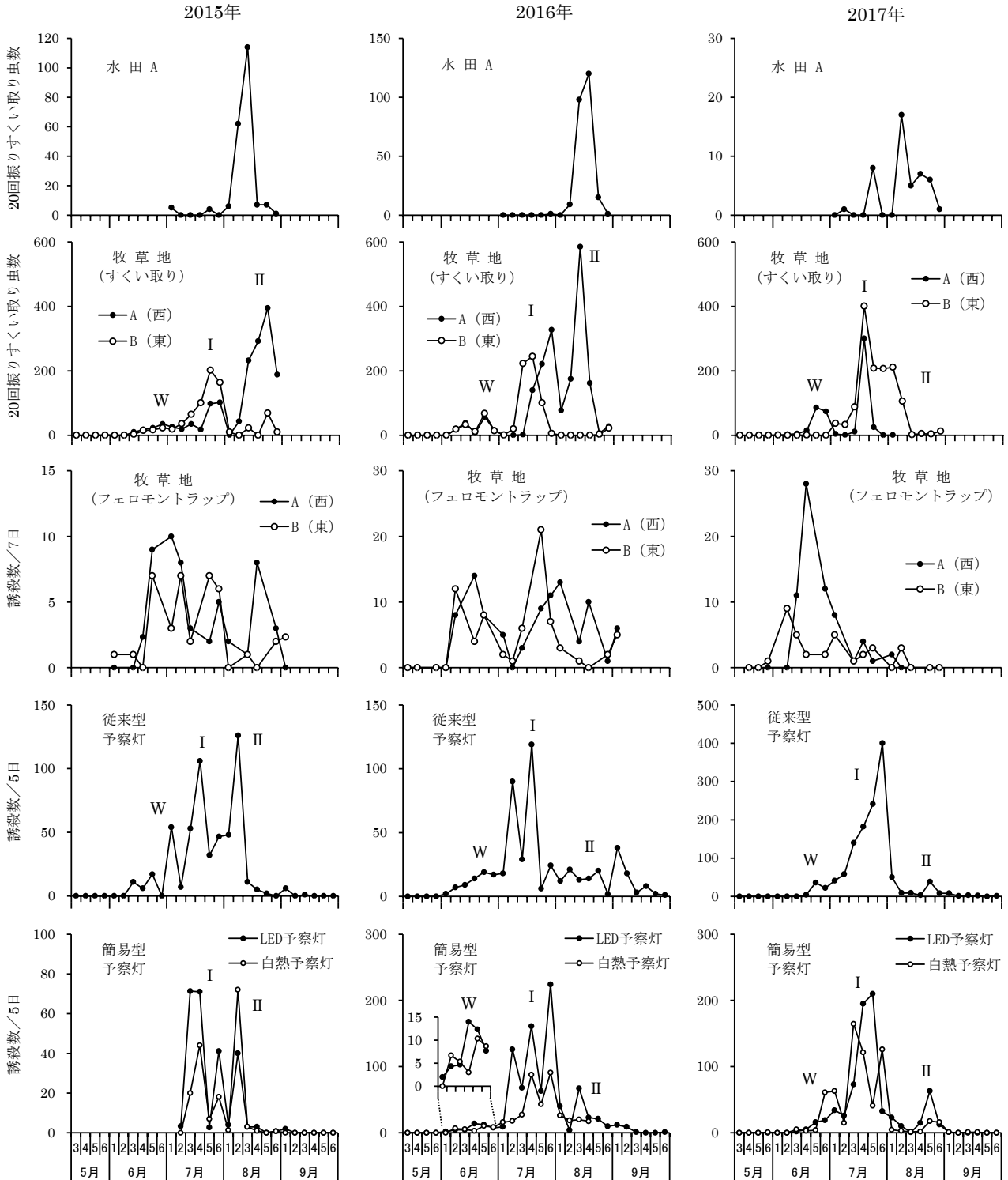
b 分散分析 (交互作用は含まない) の結果

要因	アカスジカスミカメ				アカヒゲホソミドリカスミカメ				フタオビコヤガ			
	d.f.	SS	F	p	d.f.	SS	F	p	d.f.	SS	F	p
年次	2	0.26	0.72	0.491	2	0.04	0.15	0.865	2	0.20	1.22	0.305
誘殺数 (LED光源)	1	22.10	120.95	<0.001	1	34.20	279.37	<0.001	1	7.50	94.01	<0.001
誤差	39	7.13			39	4.77			39	3.11		

II LED 予察灯の誘殺消長の評価

LED 予察灯における各種害虫の誘殺消長を評価するため、白熱予察灯の誘殺消長との比較を行った。ただし、2015年は、7月7日から調査を開始したため、また2016年は白熱予察灯の調査が8月第4半旬で終了したため、年次ごとに評価期間は異なった(第2表)。

アカスジカスミカメの水田と牧草地における発生消長ならびに各種予察灯の誘殺消長を第5図に示した。LED 予察灯の誘殺消長について、2015年は第1世代～第2世代の成虫の誘殺が認められ、2016年と2017年は越冬世代～第2世代の成虫の誘殺が認められた。各年次のLED 予察灯における各世代の誘殺消長は、白熱予察灯と概ね一致し、水田や牧

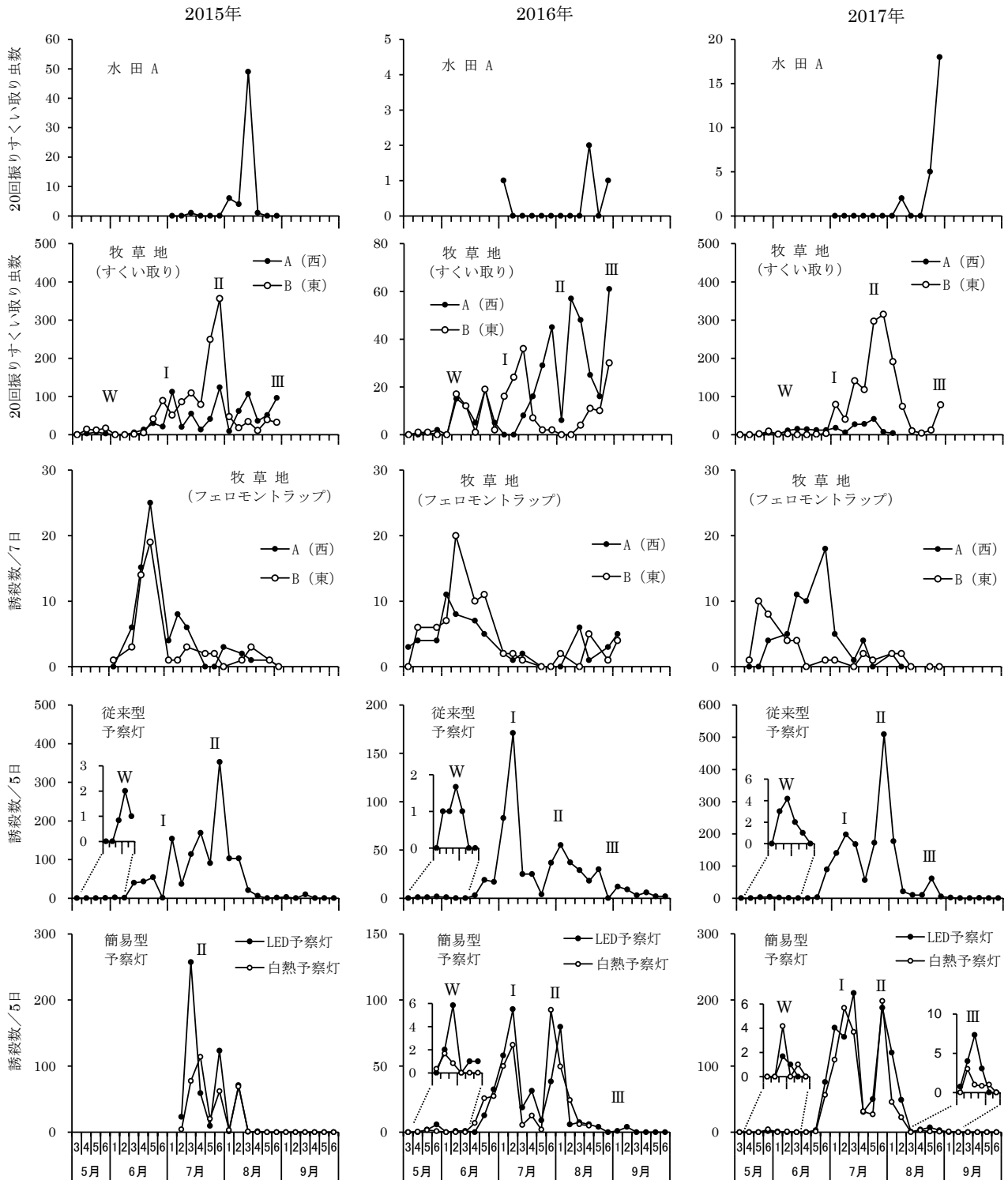


第5図 アカスジカスミカメ成虫の本田、牧草地における発生消長と予察灯の誘殺消長

注) 図中のW, I, IIは、それぞれ越冬世代, 第1世代, 第2世代の発生盛期を示す。

草地における各世代の発生盛期に誘殺ピークが認められた。ただし、8月中旬～9月上旬に発生する第2世代については、水田や牧草地における発生密度の推移と比較して、いずれの予察灯も誘殺数が少ない傾向にあった。

同様に、アカヒゲホソミドリカスミカメの水田と牧草地における発生消長ならびに各種予察灯の誘殺消長を第6図に示した。2015年のLED予察灯に誘殺された成虫は第2世代が主体であり、白熱予察灯と比較して7月第3半旬の誘殺数が多かったが、そ



第6図 アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の本田，牧草地における発生消長と予察灯の誘殺消長

注) 図中のW，I，IIは，それぞれ越冬世代，第1世代，第2世代の発生盛期を示す。

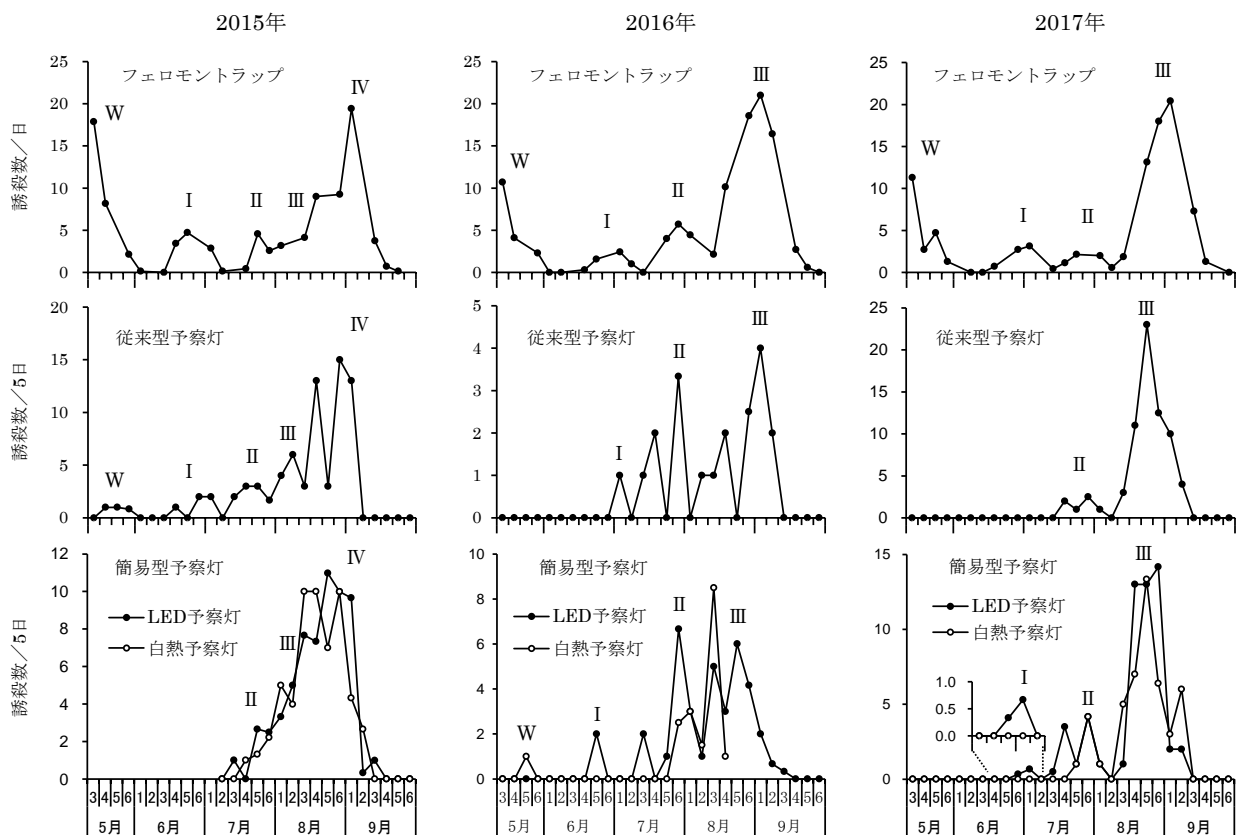
れ以降の誘殺消長は白熱予察灯と概ね一致した。2016年と2017年は、越冬世代～第3世代の成虫が誘殺され、各年次の誘殺消長は白熱予察灯と概ね一致した。ただし、5月中旬～6月中旬に発生する越冬世代と8月中旬～9月上旬に発生する第3世代については、牧草地における発生密度の推移と比較して、いずれの予察灯も誘殺数が少ない傾向にあった。

フェロモントラップと各種予察灯におけるフタオビコヤガ成虫の誘殺消長を第7図に示した。また、これらの調査結果と有効積算温度から求めた羽化盛期（宮城県古川農業試験場，2018）を基に、各世代の発生時期を推定し図中に示した。2015年のLED予察灯の誘殺消長は、第2世代～第4世代に連続的な誘殺が認められ、各世代の誘殺ピークは不明瞭であった。2016年と2017年のLED予察灯において、第1世代～第3世代の成虫が誘殺され、各世代の誘殺ピークが認められた。白熱予察灯においては、2016年に越冬世代が1頭誘殺され、2016年と2017年に第1世代が誘殺されず、誘殺数の少ない時期は一致していないが、誘殺数が多い第2世代以降にお

いてLED予察灯と白熱予察灯の誘殺消長は概ね一致した。

ツマグロヨコバイの誘殺状況として、2015年はLED予察灯において7月第4半旬と8月第1半旬に各2頭、白熱予察灯において7月第3半旬と7月第6半旬に各1頭誘殺されたのみであり、極めて少ない誘殺数であった。2016年と2017年の予察灯の誘殺消長について、水田内の発消長と併せて第8図に示した。2016年は、LED予察灯において第1世代～第2世代の成虫が断続的に誘殺された。一方、白熱予察灯においては7月第6半旬～8月第2半旬に誘殺されたのみであり、両予察灯の誘殺消長は一部において一致した。2017年のLED予察灯の誘殺消長は白熱予察灯と概ね一致し、第1世代と第2世代の発生ピークの時期に誘殺が認められた。しかし、LED予察灯において、第1世代と第2世代の間の時期（8月第1半旬）に最も誘殺数が多かった。

最後に、ヒメトビウンカの誘殺状況として2015～2017年の誘殺数は少ない傾向にあり、2015年はLED予察灯において8月第2半旬と9月第1半旬



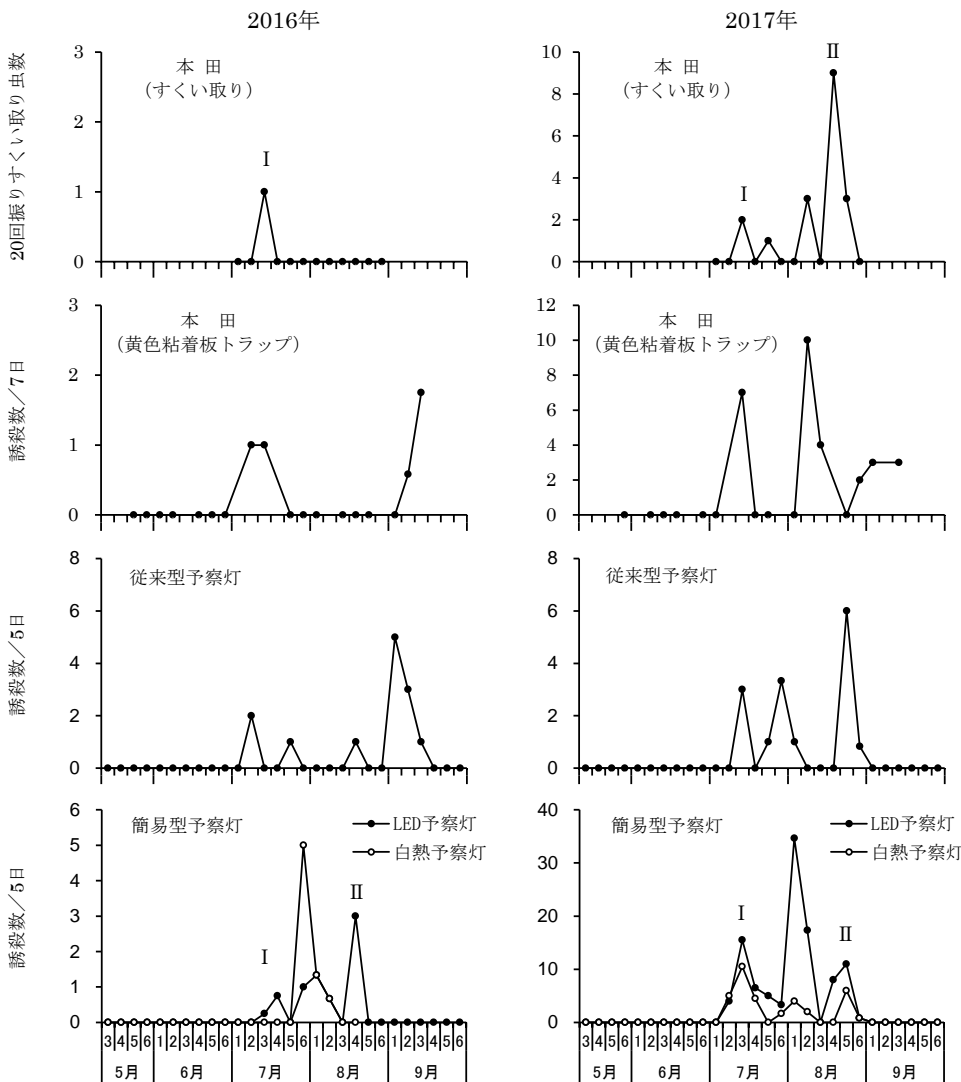
第7図 フタオビコヤガ成虫の本田における発消長と予察灯の誘殺消長

注) 図中のW, I, IIは、各種調査結果と有効積算温度から推定した越冬世代、第1世代、第2世代の羽化盛期を示す。

に各1頭、白熱予察灯において7月第4半旬に1頭誘殺されたのみであり、特に誘殺数が少なかった。2016年と2017年の予察灯の誘殺消長について、水田内の発生消長と併せて第9図に示した。2016年のLED予察灯の誘殺消長は、7月第2半旬～8月第5半旬に断続的な誘殺が認められ、白熱予察灯の誘殺消長と概ね一致した。2017年は、LED予察灯において6月第6半旬～7月第1半旬と8月第5半旬に2回誘殺ピークが認められたが、白熱予察灯では6月第6半旬～7月第4半旬に誘殺されたのみであった。7月上旬の発生は水田内のすくい取り調査や従来型予察灯でも確認され、8月下旬の誘殺は黄色粘着トラップや従来型予察灯において確認された。

考 察

予察灯は、各都道府県に数地点ずつ配置され、害虫の発生予察に利用されているが、以前は「誘蛾灯」として明治、大正、昭和時代におけるニカメイチュウなどの防除技術として利用されてきた(桐谷・田付, 2009)。これは、昆虫の走光性反応を利用したもので、誘引源として松明や篝火、行灯、洋灯、電灯へと発展し、以後60Wつや消し電球が普及した(斎藤ら, 1986)。宮城県においては、明治時代からニカメイチュウの発蛾状況の調査に誘蛾灯が利用され、予察灯としては戦後の1945年から1975年まで県内4～8か所で調査が行われており、1976年に2か所に減少し、1981年以降は試験場1か所におい



第8図 ツマグロヨコバイ成虫の本田における発生消長と予察灯の誘殺消長

注1) 図中のI, IIは、それぞれ第1世代, 第2世代の発生盛期を示す。

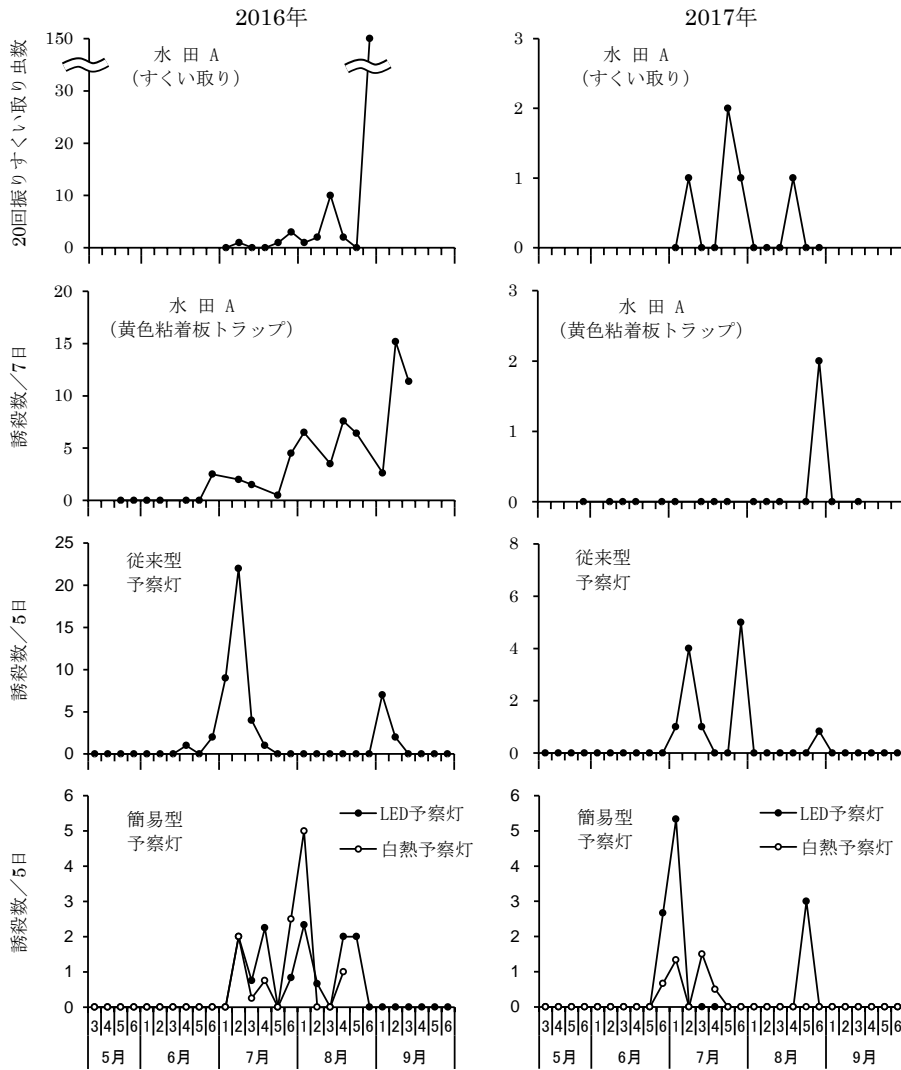
注2) 2015年のデータは省略した。

て水稲害虫の発生予察に利用されている。予察灯の光源には長い間白熱電球が使われてきたが、白熱電球の製造中止という社会的な背景に伴い、消費電力が少なく、長寿命であるLED光源への切り替えが必要になると推測される。

近年、本県の発生予察事業において、斑点米カメムシ類は特に重視されている水稲害虫であり、アカスジカスミカメを主体として発生源や水田内の発生時期について予察を行っている。本研究において、アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメの2種に対して、LED予察灯の総誘殺数は白熱予察灯と同等以上であることが示された(第3表)。調査地には、斑点米カメムシ類の発生源である牧草地が存在し、簡易型予察灯の1基は牧草地Aに近接し、もう1基は牧草地から60~70m離れて設置し

たため、設置場所の影響を考慮して7日ごとに光源の配置を交換した。一方、従来型予察灯は、常に牧草地Bに近接した位置にあった。予察灯の設置場所の影響については、これまでも指摘されており(河野ら, 1987; 平井, 1984)、本研究において従来型予察灯の総誘殺数が多くなった要因として、設置場所の環境要因が影響した可能性が考えられた。

斑点米カメムシ類2種と比較して、フタオビコヤガやツマグロヨコバイ、ヒメトビウンカの総誘殺数が少ないことについて、これら3種は当試験場内において少発生傾向にあることから、害虫種の発生密度を反映したものと思われた。少発生条件下ではあるものの、これら3種のLED予察灯における総誘殺数は、白熱予察灯と同等以上であった(第3表)。近年、フタオビコヤガは県内全域で発生量が少なく、



第9図 ヒメトビウンカ成虫の本田における発生消長と予察灯の誘殺消長
注) 2015年のデータは省略した。

ツマグロヨコバイやヒメトビウンカについても、一部の地域を除いて少発生傾向にある。今後、多発条件下において、誘引性能を評価する必要がある。

一般的に害虫種の違いにより走光性の反応は異なることから、予察灯の光源には調査対象となる複数の害虫種に対して誘引性のある波長域が求められる。7日当たり平均誘殺数を用いた統計解析の結果から(第3図),LED予察灯はアカスジカスミカメ,アカヒゲホソミドリカスミカメ,フタオビコヤガ,ツマグロヨコバイおよびヒメトビウンカの5種の害虫種に対して,白熱予察灯と同等以上の誘引性能を有すると推測された。LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の相関関係については,アカスジカスミカメ,アカヒゲホソミドリカスミカメおよびフタオビコヤガにおいて,3か年とも統計的に有意な正の相関が示された。回帰直線の評価基準として, $R^2 > 0.8$ を「非常に精度が高い」, $R^2 > 0.6$ を「概ね精度が高い」とすると,非常に精度の高い回帰直線が得られた年次と害虫種は,2015~2016年のアカスジカスミカメ,2015~2017年のアカヒゲホソミドリカスミカメであった。また,概ね精度の高い回帰直線が得られたのは,2017年のアカスジカスミカメ,2015~2017年のフタオビコヤガであった。これら3種の回帰直線については,複数年において共通の回帰式が得られたことから,これまでの予察灯(白熱電球)の誘殺データとの比較も期待される。発生予察事業においては,過去10年間の平年値と比較するが,この換算値が利用できるかは今後の課題としたい。一方,ツマグロヨコバイとヒメトビウンカにおいて統計的に有意な正の相関が得られた年数について,前者は1か年のみであり,後者は2か年であるが,その内の1か年は $R=0.53$ と低かった。これら2種において非常に精度の高い回帰直線が得られたのは,2017年のツマグロヨコバイのみであり,ヒメトビウンカにおいては概ね精度の高い回帰直線が2016年に得られたのみであった。これら2種のLED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の相関関係において,相関の弱い年次が認められた要因については,前述のとおり少発生条件下であったことが影響したと考えられた。

発生予察事業における予察灯の位置づけとして,対象害虫の発生時期を推定する根拠に使われている。

しかし,低温,降雨,風などの夜間の気象条件や設置場所の環境条件などが誘殺数に影響するため(農林水産省消費・安全局植物防疫課,2015),予察灯の誘殺消長だけから発生時期を推定することは困難である。従って,誘引性能が低下する条件下においては,害虫の発生時期を推定するにあたり,捕虫網によるすくい取りや各種トラップなどの調査手法を併用し,発生状況のデータを補完する必要がある。本研究においても,各種調査手法から発生時期を推定し,LED予察灯の誘殺消長について評価を行った。

本県におけるアカスジカスミカメ成虫の発生消長は,越冬世代が6月中~下旬,第1世代が7月下旬~8月上旬,第2世代が8月中~下旬に発生ピークを示し,年間3世代発生することが知られている(小野,2006)。LED予察灯において越冬世代~第2世代成虫の誘殺が認められ,白熱予察灯の誘殺消長と概ね一致した。また,アカヒゲホソミドリカスミカメは,過去の調査結果から(田淵ら,2015),年間4世代発生し,各世代成虫の発生盛期は,越冬世代が5月下旬~6月上旬,第1世代が6月下旬~7月上旬,第2世代が7月下旬~8月上旬,第3世代が8月下旬~9月上旬と推測された。本研究の牧草地の調査結果からも,概ね同じ時期に越冬世代~第3世代の成虫の発生が認められ,2015年を除き各世代成虫の誘殺ピークがLED予察灯において認められた。各世代間の誘殺数と周囲の発生密度を比較すると,越冬世代や第3世代の誘殺数は相対的に少ない傾向が見られるが,その要因として夜温が低い時期であるため飛翔活動が抑制されたと推測された(野口,2014)。また,LED予察灯と白熱予察灯の誘殺消長が非常によく一致していることについては,LED予察灯と白熱予察灯の誘殺数における強い相関関係からも推察される。375~450nmのLED光の選択試験において,アカヒゲホソミドリカスミカメは短い波長域に対して誘引性が高く,また光強度が本種の誘引性に影響することが示唆されている(野口,2014)。本試験で使用したLED光源は516nmの長い波長域であるが,白熱電球の誘引性と大きな違いはなく,アカヒゲホソミドリカスミカメに対する光源として実用上問題はないと思われた。

フタオビコヤガ成虫の発生消長の調査には,これまで予察灯の他に処女雌トラップや性フェロモント

ラップなどが利用されてきた（相花ら，2013；遠藤ら，1989；岸野・佐藤，1975）。また，メッシュ気温データやアメダス気温データを使用した有効積算温度から羽化時期を推定することが検討されている（宮城県古川農業試験場，2018；横山ら，2012）。宮城県における成虫の発生回数は年4回（越冬世代～第3世代）と推測されるが（相花ら，2013），高温年には有効積算温度から第4世代成虫の発生が予測された（宮城県古川農業試験場，2018）。近年，本種に対して卓効を示す育苗箱施用剤の普及により，県内の発生密度は低く抑えられているものの，使用する殺虫剤や栽培環境の変化に伴う発生動向の変化に対して留意する必要がある。本研究では，フェロモントラップと各種予察灯の誘殺消長の他に，有効積算温度を利用した発生時期の予測を基に，各世代の発生時期を推定した（第7図）。これまでの報告同様（遠藤ら，1989；岸野・佐藤，1975），越冬世代成虫はフェロモントラップで誘殺されるが，予察灯においては誘殺されないことが多かった。第1世代成虫はLED予察灯のみで誘殺されたが，第2世代以降の成虫の誘殺消長については，LED予察灯と白熱予察灯の間で大きな違いはなかった。またLED予察灯と白熱予察灯の誘殺数の強い相関関係から，フタオビコヤガに対しても，白熱電球の代替光源としてLED光源の実用性は高いと思われた。

宮城県におけるツマグロヨコバイ成虫の発生回数は年3回（越冬世代～第2世代）であり，各世代の発生盛期は5月上旬，7月中旬，8月下旬である（城所，2007）。県北部における発生経過として，第2世代成虫は8月第2半旬から発生し，8月第5半旬に密度が増加する報告がある（東海林ら，1977）。誘殺数の多かった2017年において，水田内のすくい取り調査から，7月第3～5半旬に第1世代成虫，8月第2～5半旬に第2世代成虫が発生したと推測された（第8図）。LED予察灯と白熱予察灯においては，第1世代～第2世代成虫の誘殺が認められ，両者の誘殺消長は概ね一致した。しかし，LED予察灯において8月第1～2半旬の誘殺数が最も多かった。黄色粘着トラップにおいても，この時期の誘殺数が多いことから，飛翔活動に影響を及ぼす環境要因があったと考えられるが，その解明については今後の課題にしたい。

宮城県においてヒメトビウンカは，7月に第1世代成虫が水田内に侵入し，出穂期以降に第2世代の発生密度が高まると思われる（加進ら，2017）。2016年は水田内において8月中旬まで低密度で推移したが，8月下旬に急激に密度が高まった（第9図）。黄色粘着トラップや従来型予察灯において6月下旬～7月中旬に誘殺が認められたことから，この時期に成虫が侵入し，水田内で繁殖した可能性が高い。一方，2017年の水田内の密度は低いまま推移し，黄色粘着トラップにも8月下旬まで誘殺されなかった。黄色粘着トラップは，本田への侵入をモニタリングするのに有効と思われるが（平江・柴，2015），7月中の誘殺がなかったことから，侵入量が少なかったと思われる。また，この年の8月は低温・長雨など天候不順であったため，このような気象要因が本種の発生量に影響を及ぼした可能性がある。2016年のLED予察灯と白熱予察灯における誘殺消長のパターンは，誘殺数が少ないものの概ね一致した。2017年のLED予察灯の誘殺消長は，6月下旬～7月上旬の誘殺が白熱予察灯と一致し，白熱予察灯で誘殺されなかった8月下旬にもLED予察灯において誘殺が認められた。この時期の誘殺は，黄色粘着トラップや従来型予察灯においても確認されており，少ないながらも第2世代成虫が誘殺されたと推測された。本県では，同じウンカ類であるセジロウンカも発生予察事業の調査対象であり，セジロウンカに対するLED予察灯の誘引性についても今後検討が必要である。トビイロウンカにおいて，365-735nmの広い波長範囲に誘引性があることが示されており（松本ら，2014），ヒメトビウンカやセジロウンカが誘引される波長域の解明についても今後期待される。

白熱電球の代替としてLED光源を予察灯に利用することを検討し，本県の斑点米カメムシ類の主要種アカスジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメ，ならびにフタオビコヤガに対して，実用性が高いと思われた。また，ツマグロヨコバイとヒメトビウンカに対しても，LED光源は白熱電球と同等以上の誘引性能を示したが，少発生条件下の試験であることから，多発生条件下における検討が必要と思われる。また，予察灯の調査項目として，初飛来日や最盛日，50%誘殺日，終息日などに対しても，白

熱電球と違いがないか検討する必要がある、今後の課題としたい。病害虫の発生動向を長年にわたって調査することは重要であり、年次変動を解析する上で、同一の調査方法であることが求められる。栽培環境や気候、薬剤防除などの変化により、水稻害虫の発生動向は変わり続けており、今後も継続して調査する必要がある。本研究は、前述の農林水産省の事業で実施したが、本事業において太陽光パネルと蓄電池を組み合わせた独立電源型予察灯の試作が行われた。独立電源であるため、電源のない場所にも設置できるメリットがあり、生産現場も含めて複数箇所設置することができれば、予察精度の向上にも寄与すると思われる。また、消費電力の少ないLED光源と独立電源システムを組み合わせることにより、環境に配慮した持続可能な調査法の確立が期待される。

引用文献

- 1) 相花絵里, 大槻恵太, 加進丈二, 佐藤直紀. 2013. 育苗箱施用殺虫剤によるフタオビコヤガの防除. 北日本病虫研報 64 : 143-146.
- 2) 遠藤秀一, 加藤智弘, 横山克至, 渡辺和弘. 1989. フタオビコヤガのフェロモントラップと予察灯との誘殺消長の比較. 北日本病虫研報 40 : 105-107.
- 3) 平江雅宏・柴 卓也. 2015. 水田における黄色粘着トラップを用いたヒメトビウンカの発生消長調査法. 関東病虫研報 62 : 110-115.
- 4) 平井一男. 1984. 蛍光管4種による誘蛾と誘引された主要害虫の性質. 北日本病虫研報 35 : 144-146.
- 5) 加進丈二, 相花絵里, 鈴木智貴, 大江高穂, 大槻恵太. 2017. 水稻疎植栽培における育苗箱処理剤の害虫防除効果. 古川農試報 12 : 81-96.
- 6) 城所 隆. 2007. イネ・害虫 東北 (太平洋側) (農業総覧. 病害虫防除・資材編1) 東京. 農山漁村文化協会. 5-14.
- 7) 城所 隆. 2018. イネミズゾウムシの発生生態と防除. 植物防疫 72 : 126-132.
- 8) 桐谷圭治, 田付貞洋. 2009. ニカメイガの研究史 (桐谷圭治, 田付貞洋編. ニカメイガ 日本の応用昆虫学) 東京. 東京大学出版会. 3-14.
- 9) 岸野賢一, 佐藤テツ. 1975. フタオビコヤガに関する生態学的研究. 東北農試研報 50 : 27-62.
- 10) 河野勝行, 平井一男, 氣賀澤和男. 1987. 誘蛾灯の光源および設置場所の違いによるコガネムシ類の誘引性の比較. 北日本病虫研報 38 : 125-126.
- 11) 松本由記子, 若桑基博, 行弘文子, 蟻川謙太郎, 野田博明. 2014. 各波長LEDに対するトビイロウンカの誘引行動と複眼構造およびオプシン遺伝子. 応動昆 58 : 111-118.
- 12) 宮城県古川農業試験場. 2018. 有効積算温度によるフタオビコヤガ成虫の発生時期の予測. 普及に移す技術 93 : 65-67.
- 13) 野口忠久. 2014. アカヒゲホソミドリカスミカメに対するLED光の誘引性. 応動昆 58 : 203-209.
- 14) 農林水産省消費・安全局植物防疫課. 2015. 発生予察事業の調査実施基準. http://www.jppa.or.jp/tecinfo/ipm_2.html
- 15) 小野 亨. 2006. 2005年宮城県における斑点米カメムシ類の発生状況と防除. 今月の農業 50 (7) : 20-26.
- 16) 斎藤哲夫, 松本義明, 平嶋義宏, 久野英二, 中島敏夫. 1986. 新応用昆虫学. 東京. 朝倉書店. 153-154.
- 17) 田淵研, 市田忠夫, 大友令史, 加進丈二, 高城拓未, 新山徳光, 高橋良知, 永峰淳一, 草野憲二・榊原充隆. 2015. 東北地域における斑点米カメムシ類: 2003-2013年の発生動向と被害実態. 東北農研研報 117 : 63-115.
- 18) 東海林修, 加藤直義, 伊藤恒志. 1977. 宮城県北部におけるツマグロヨコパイの発生経過と発生予測. 北日本病虫研報 28 : 83.
- 19) 横山克至, 中島具子, 佐藤智浩, 梁瀬正裕. 2012. メッシュ気温データを用いたフタオビコヤガ発生時期の推定. 北日本病虫研報 63 : 145-149.

Evaluation of Attractiveness of a Light-Emitting Diode (LED) Trap to Rice Pests

Tohru ONO, Joji KASHIN and Aya YOKOBORI

Summary

Light traps with incandescent lamps have typically been used to monitor the seasonal prevalence of rice insect pests. Since incandescent lamps will be discontinued, light-emitting Diodes (LEDs) will be required as environmentally friendly light sources. In this paper, the attractiveness of a green LED-based light trap (LED trap) to rice insect pests was compared with that of incandescent lamp from 2015 to 2017 in Miyagi. Our results demonstrated that LED trap attracted the same or larger numbers of two mirid bug species (*Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) and *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy)) and *Naranga aenescens* Moore than the conventional light trap. The seasonal prevalences of the three species caught in both types of light trap were similar. The present study suggests the usefulness of LED trap for monitoring the three species. Furthermore, similar results were obtained for *Nephotettix cincticeps* (Uhler) and *Laodelphax striatellus* (Fall en), although their numbers captured in both traps tended to be small. Therefore, further studies of the usefulness of LED trap for monitoring these two species are needed under outbreak conditions.