

水田におけるトビロウカの翅型発現性の経時的変動とその要因

葛蒲信一郎*・御厨初子*・山口純一郎*
松崎正文*・松村正哉**

* 佐賀県農業試験研究センター

** 九州沖縄農業研究センター

Fluctuations and Factors Affecting the Wing-Form Ratio of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål in Rice Fields. Shin-ichirou Syobu, Hatsuko Mikuriya, Junichirou Yamaguchi, Masafumi Matsuzaki (Saga Prefectural Agriculture Research Center, Kawasoe, Saga 840-2205, Japan) and Masaya Matsumura (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Nishigoshi, Kumamoto 861-1192, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 46: 135-143 (2002)

Abstract: Fluctuations in the wing-form ratio of the brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens*, were examined by collecting fifth-instar nymphs from rice fields. Two peaks of brachypterous females were observed at 40-50 days after transplanting (DAT) and 75-85 DAT (5 days before heading-10 days after heading). After 75-85 DAT, the percentage of brachypterous females decreased with an increase in BPH density. However, the BPH density was still low after 40-50 DAT when the first decrease in the percentage of brachypterous females occurred. Thus, not only population density of BPH, but also the rice plant stage seems to affect the fluctuations in female wing-form ratio. The SPAD readings of rice leaf, which are associated with leaf nitrogen content, fluctuated with rice plant stage and showed two peaks at 30-50 DAT and 65-80 DAT. The fluctuation pattern of the SPAD readings was similar to that of the percentage of brachypterous females. This suggests that the percentage of brachypterous females fluctuated in accordance with a decrease in nitrogen content of rice plants.

Key words: Brown planthopper, wing-form, fifth-instar nymph, density of the BPH, rice plant stage

緒 言

水稲の重要害虫であるトビロウカの翅型は、本種個体群の増殖を左右する重要な要因のひとつである。日本の水田における翅型調査は、水田で羽化した成虫を採集して調べたものが多い(久野, 1968; 山中ら, 1989)。しかし、この方法で得られた見かけの短翅率は、長翅成虫の移出があれば、羽化時の短翅率に比べ過大評価される。実際、翅型決定後の5齢幼虫を採集し、羽化させて調査した成虫の短翅率は、見かけの短翅率より低いことが確認されている(岸本, 1965)。

フィリピンにおいて、経時的に採集した5齢幼虫の翅芽長に基づき推定された雌の短翅率は、移植35~45日後と約80日後にピークをもつ双峰型の変動を示すことが明らかにされた(Cook and Perfect, 1985)。抵抗性品種に対する加害性の違いから、日本へ飛来するトビロウカ個体群とフィリピンの個体群は異なると考えられている(寒川, 1992)。また、フィリピンのトビロウカ個体群は日本の個体群と比べ、概して高い短翅型発現性を示す(Nagata and Masuda, 1980; Iwanaga et al., 1987)。以上のことから、

本種の短翅率はフィリピンと日本の水田において異なる推移を示す可能性があるが、日本では5齢幼虫を採集した翅型調査は断片的にしか行われていない(岸本, 1965; 野田, 1988; 寒川ら, 1988)。

本種成虫の短翅率は、次世代発生量を規定する重要な要因のひとつであり、その変動が予測できれば、発生予測上貴重な知見となる。そこで筆者らは、水田における本種の翅型発現性の経時的推移とその変動要因を知る目的で1990~1993年の4年間、水田から本種の5齢幼虫を約5日間隔で採集し、羽化成虫の翅型を調査した。

材料および方法

1. 水田でのトビロウカの翅型発現性の変動

1) 調査圃場の耕種概要

1990, 1991年に佐賀郡川副町の佐賀県農業大学校内の水田で、1992, 1993年に農業大学校に隣接した佐賀県農業試験研究センター内の水田でトビロウカ短翅率の推移を調査した。Table 1に調査圃場の品種、移植日および出穂日を示す。使用したイネは中生あるいは晩生品種の日本稲で、いずれもトビロウカに対して感受性の品種であ

2001年4月16日受領 (Received 16 April 2001)

2002年4月8日登載決定 (Accepted 8 April 2002)

Table 1. Vegetative period of each rice variety in the experimental fields

| Year | Variety (maturity) | Transplanting date | Heading date |
|----------------|-----------------------------|--------------------|--------------|
| 1990 | Yokaminori (medium heading) | 18 June | 27 Aug. |
| 1991 | Hinohikari (medium heading) | 19 June | 29 Aug. |
| 1992 | Reiho (late heading) | 18 June | 5 Sept. |
| 1993 (field A) | Hinohikari (medium heading) | 7 June | 30 Aug. |
| 1993 (field B) | Reiho (late heading) | 24 June | 11 Sept. |

る。なお、すべての調査圃場で殺虫剤の散布は行わなかった。施肥は、移植前に元肥、出穂約 50 日前に中間追肥、出穂 2~3 週間前に穂肥を県の基準に従って行った。

2) トビロウカの翅型調査

トビロウカの 5 齢幼虫を調査圃場より 1 回あたり約 100 頭採集し、25°C、16 時間照明の条件下で、品種レイハウの芽出し苗を餌として 1 頭ずつ試験管中で飼育した。採集後 3 日以内に羽化した成虫について翅型を調べ、雌雄別に短翅率を算出した。調査は幼虫の発生が少なく採集ができなかった 1991 年 8 月中旬と 1992 年 8 月上~中旬を除いて、8 月上旬からイネの収穫期まで約 5 日間隔で行った。

3) 調査圃場におけるトビロウカの発生消長と発生世代の区分

黒色のセルロイド板（横 22.5 cm、縦 31.5 cm）を用い、払い落とし見取り法により、圃場内の任意の 2 地点から 10 株ずつ（合計 20 株）の調査株を抽出し、トビロウカの虫数を成・幼虫別に調査した。ウンカ類は 1~2 齢幼虫の種の識別が非常に難しいため、幼虫調査は 3 齢以上の幼虫を対象とした。調査は 7 月下旬頃からイネの収穫期まで約 5 日間隔で行ったが、必ずしも 5 齢幼虫採集日とは一致していない。

佐賀県ではウンカ類の飛来調査を、佐賀郡川副町および藤津郡嬉野町のトラップで実施しているが、平坦部に位置する川副町のトラップではトビロウカが飛来しても誘殺されない場合がある。このため、トビロウカの飛来時期と量の把握には嬉野町の予察灯誘殺数データを使用した。本種の飛来成虫の水田への定着密度は、生育ステージの進んだイネで高い（平尾、1972; 山中ら、1989）ので、イネを移植して約 20 日経過した後にみられた主要飛来日を飛来世代の起算日とした。そのうえで、調査圃場から約 5 km 北に位置する佐賀地方気象台の日最高、最低気温を用いて、久野（1968）の方法により本種の世代区分を行った。

本種の世代区分を行うための発育有効積算温度を算出する方法として、三角法（坂神・是永、1981）を用いた。三角法で用いる発育上限温度および発育停止温度は、未永（1963）および岸本（1965）の報告をもとに、28°C および 33°C とした。有効積算温度と発育零点は、野田（1989）

を参考に、産卵から羽化までの有効積算温度を 298 日度、発育零点を各ステージすべて 12°C とした。また、羽化ピークと産卵ピークのずれに相当する期間の積算温度は、100 日度（久野、1968）とした。

4) 調査圃場におけるイネの葉色の推移

翅型調査を行った圃場のうち、1991 年および 1993 年の A 圃場については、稲の葉色の推移を携帯用葉緑素計（SPAD501、MINOLTA 社製）を用いて測定した。1991 年には 20 葉について、1993 年の A 圃場では 100 葉について、7 月下旬頃からイネの収穫期まで約 10 日間隔で葉色を測定した。なお、葉緑素計値（以下 SPAD 値）については、測定結果が最も安定している、最上位展開葉から 1 枚下の葉身中央部（中鉢ら、1986）を中心に測定した。

2. トビロウカの翅型発現性の変動要因の解析

本種の水田における成・幼虫密度が翅型発現性に及ぼす影響について解析した。本種の翅型決定の密度感受期は 2~4 齢幼虫期であり（岸本、1965）、特に 3~4 齢期が密度に対する感受性が高い（Iwanaga and Tojo, 1986; Yamada, 1990, 1991）。また、翅型決定に及ぼす密度の影響は成・幼虫間でも働く（城野、1963）。このことから、採集した 5 齢幼虫が 3~4 齢幼虫であったと推定される、幼虫採集 5 日前の水田での成・幼虫数（対数変換値）と羽化成虫の短翅率との関係を調べた。なお、成・幼虫数は、調査日と調査間隔からデータを補間して解析に利用した。また、短翅率は正規確率変換した値（Appendix Table-A, Falconer and Mackay, 1996）を用いた。

次に、イネの生育ステージと翅型発現性との関係を見るために、短翅率の変動とイネの移植後日数および出穂期との関係を調べた。また 2 カ年のデータのみであるが、SPAD 値と短翅率の消長比較を行った。なお SPAD 値は葉身窒素濃度を推定する指標となるが（中鉢ら、1986）、同じ SPAD 値でも生育の進行につれ葉身窒素濃度は低下する（北川ら、1987; Peng et al., 1993）。このことから、SPAD 値が低下した場合には葉身窒素濃度も低下したとみなすことができるが、SPAD 値が上昇した場合には必ずしも葉身窒素濃度が高まるとは限らないことを考慮して、短翅率と SPAD 値および葉身窒素濃度との関連付けを行った。

結 果

1. 水田でのトビロウカの翅型発現性の変動
 嬉野町の予察灯における, 1990~1993 年のトビロウカの誘殺数の推移を Fig. 1 に示す. 1990, 1991, 1993 年は

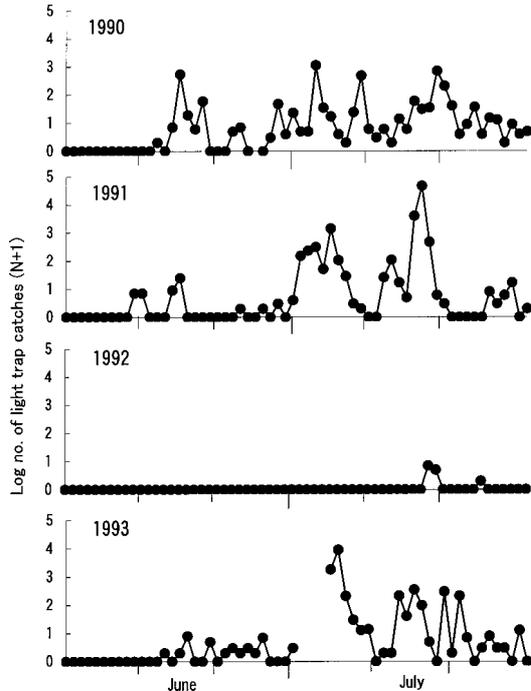


Fig. 1. Daily light trap catches of the brown planthopper (BPH) at Ureshino, Saga for the period from 1 June to 31 July in 1990-1993.

トビロウカの飛来量が多く, 1992 年は少ない年であった. 調査圃場において移植 20 日後以降にみられた主要飛来日は, 1990 年は 7 月 14~20 日頃, 1991 年は 7 月 15~18 日頃, 1992 年は 7 月 18~19 日頃, 1993 年の A 圃場は 6 月 30 日~7 月 6 日頃, B 圃場は 7 月 13~17 日頃であった.

1990~1993 年の調査圃場におけるトビロウカの短翅率と成・幼虫密度の推移およびイネの SPAD 値 (1991 年, 1993 年 A 圃場) を Fig. 2~6 に示す. 1990 年は, 本種の第 1, 2, 3 世代の幼虫のピークがそれぞれ 8 月 9 日 (2.0 頭/株) 頃, 9 月 11 日 (9.9 頭/株) 頃, 10 月 6 日 (85.3 頭/株) 頃にみられた (Fig. 2). 雌の短翅率は 8 月 6 日頃をピークに, 8 月 24 日頃にかけて低下した. その後 9 月 6 日頃にかけて再び高くなった後, 極端に低下した. 第 1, 2 世代雌の短翅率のピーク時期は, 幼虫のピーク時期よりやや早い傾向がみられた. 1991 年は, 各世代の幼虫ピークが 8 月 1 日 (0.4 頭/株) 頃, 8 月 29 日 (2.0 頭/株) 頃, 10 月 3 日 (60.6 頭/株) 頃にみられた (Fig. 3). 雌の短翅率は, 8 月 5 日頃, 8 月 31 日頃にピークがみられ, その後極端に低下した. 第 1, 2 世代雌の短翅率のピーク時期は, 幼虫のピーク時期よりやや遅い傾向がみられた. 1992 年は, 各世代の幼虫のピークが 8 月 5 日 (0.1 頭/株) 頃, 8 月 24 日頃 (1.2 頭/株), 10 月 8 日頃 (100.5 頭/株) にみられた (Fig. 4). 雌の短翅率は, 9 月 2 日頃にピークがみられ, その後極端に低下した. 第 2 世代雌の短翅率のピーク時期は, 幼虫のピーク時期よりやや遅い傾向がみられた. 1993 年の A 圃場では, 各世代の幼虫ピークが 8 月 2 日 (0.3 頭/株) 頃, 9 月 6 日 (3.9 頭/株) 頃, 10 月 1 日 (123.5 頭/株) 頃にみ

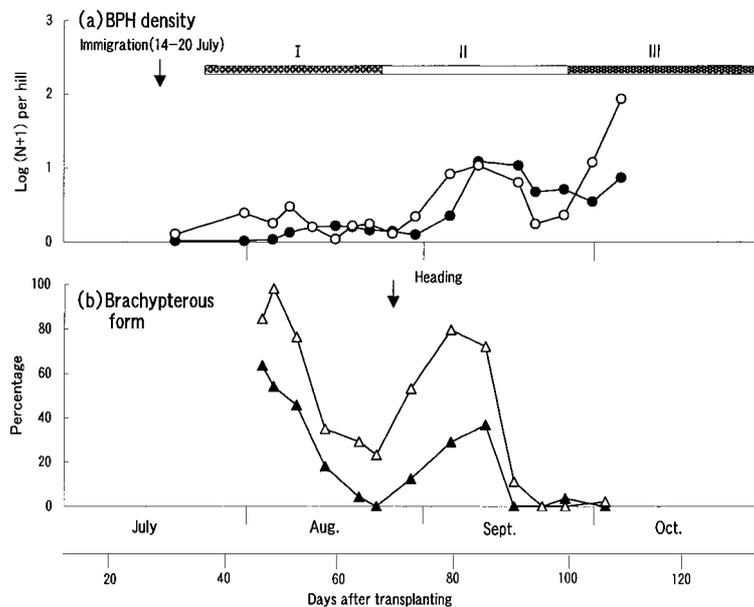


Fig. 2. Seasonal fluctuations in population density and percentage of the brachypterous form of the brown planthopper (BPH) in 1990. (a) BPH density per hill. ○: nymphs, ●: adults. (b) Percentage of brachypterous form. ▲: males, △: females. Horizontal bars at the upper part of figure (a) indicate the first (I), second (II) and third (III) generation periods.

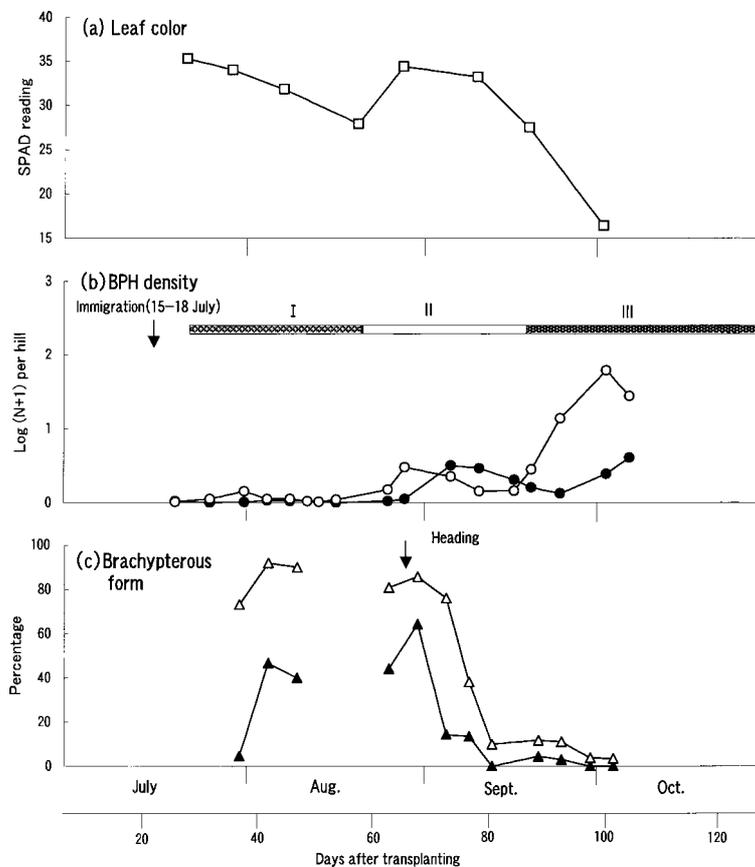


Fig. 3. Seasonal fluctuations in (a) leaf color, (b) population density and (c) percentage of the brachypterous form of BPH in 1991. Leaf color was measured with a chlorophyll meter, SPAD-501 (MINOLTA). See the caption of Fig. 2 for further explanation.

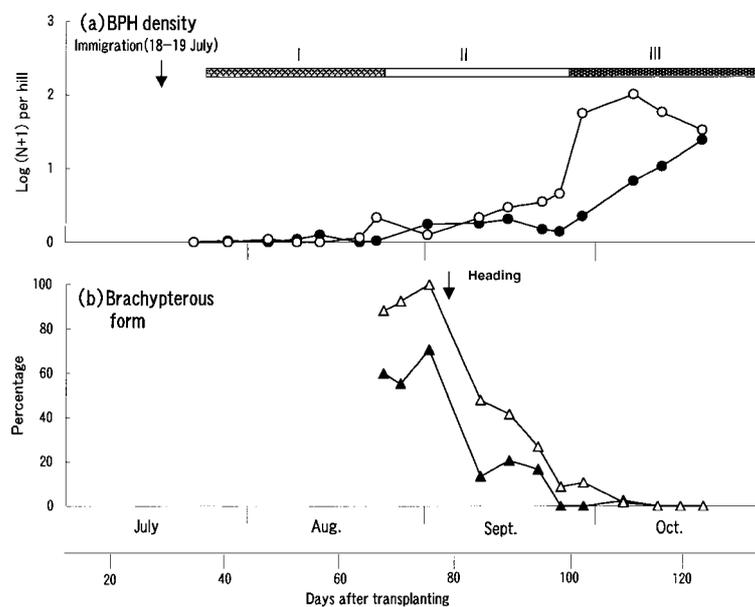


Fig. 4. Seasonal fluctuations in (a) population density and (b) percentage of the brachypterous form of BPH in 1992. Same as Fig. 2.

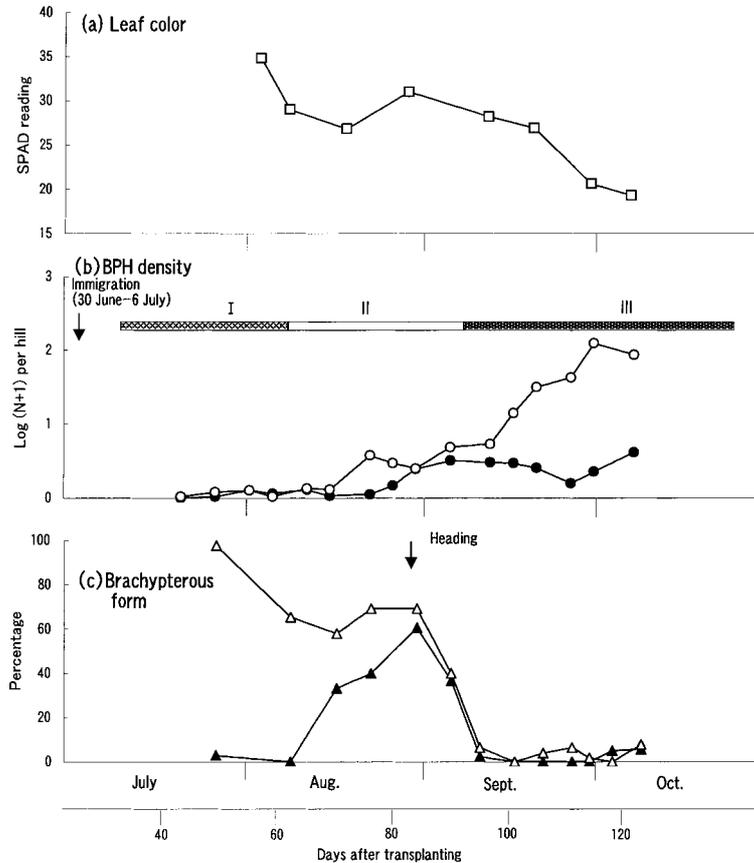


Fig. 5. Seasonal fluctuations in (a) leaf color, (b) population density and (c) percentage of the brachypterous form of BPH in 1993 (field A). Same as Figs. 2 and 3.

られた (Fig. 5). 雌の短翅率は7月27日頃をピークに, 8月17日頃にかけて低下し, 8月23~31日頃にかけて再び高くなった後, 極端に低下した. 第1, 2世代雌の短翅率のピーク時期は, 幼虫のピーク時期よりやや遅い傾向がみられた. 1993年のB圃場では, 各世代の幼虫ピークが8月16日(0.4頭/株)頃, 9月13日(7.3頭/株)頃, 10月1日(13.0頭/株)頃にみられた (Fig. 6). 雌の短翅率は8月5日頃をピークに, 8月31日頃にかけて低下した. その後9月6日頃にかけて再び高くなった後, 低下した. 第1, 2世代雌の短翅率のピーク時期は, 幼虫のピーク時期よりやや早い傾向がみられた.

以上のように, 4年間のべ5圃場における調査に共通して雌の短翅率は双峰型の推移を示した. 一方, 雄の短翅率は雌の短翅率より常に低かったが, その変動推移は1993年のA圃場を除いて雌の推移とよく一致した (Fig. 2~6).

また, 成・幼虫密度と短翅率の消長を比較した場合, 第2世代雌短翅率の低下時期と生息密度の増加時期は一致した (Fig. 2~6). 一方, 第1世代後半にも雌短翅率は低下したが, この時期の生息密度は第2世代と比較して低く, しかも生息密度の増加を伴うものではなかった (Fig. 2, 5,

6).

なお, 1993年のB圃場を除くすべての調査圃場において, 第3世代幼虫が増加した10月上旬頃から調査区の一部に坪枯れが生じた.

2. トピロウカの翅型発現性の変動要因の解析

本種の第1~3世代の短翅率(正規確率変換値)と5齢幼虫採集5日前の成・幼虫密度(対数変換値)との関係をFig. 7に示す. 雌の短翅率は, 成・幼虫密度が高くなるにつれ低下し, 第2世代, 第3世代および全世代について短翅率の成・幼虫密度に対する回帰は有意であった. 雄についても, 成・幼虫密度が高くなるにつれ短翅率が低下する傾向はみられたが, 成・幼虫密度が極めて低いときにも短翅率が低い場合がみられ, いずれの世代についても, 短翅率の成・幼虫密度に対する回帰は有意でなかった.

雌短翅率の2つのピーク時期はいずれの年次も移植40~50日後と75~85日後に該当した (Fig. 2~6). 一方, 調査圃場のSPAD値は, 移植30~50日後と65~80日後にピークを持つ双峰型の推移を示した (Fig. 3, 5). このように, 短翅率とSPAD値の変動パターンはほぼ一致した.

イネの出穂時期と雌短翅率の2回目のピーク時期との間

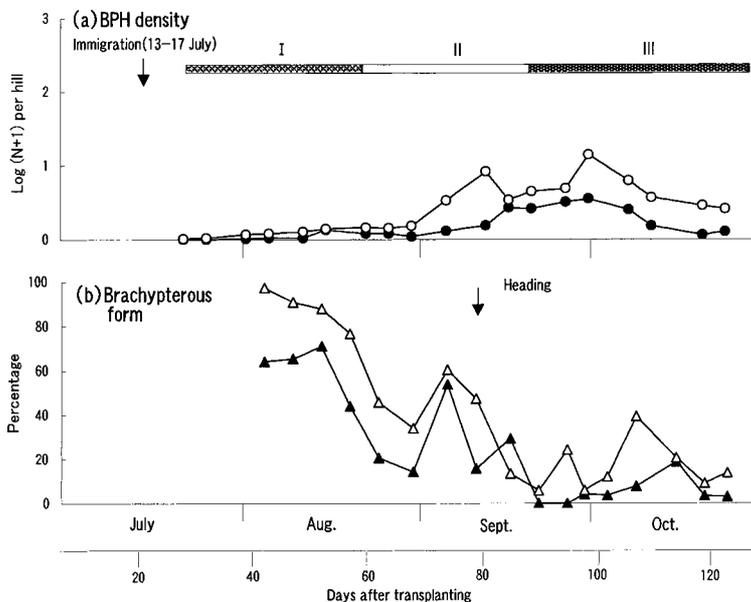


Fig. 6. Seasonal fluctuations in (a) population density and (b) percentage of the brachypterous form of BPH in 1993 (field B). Same as Fig. 2.

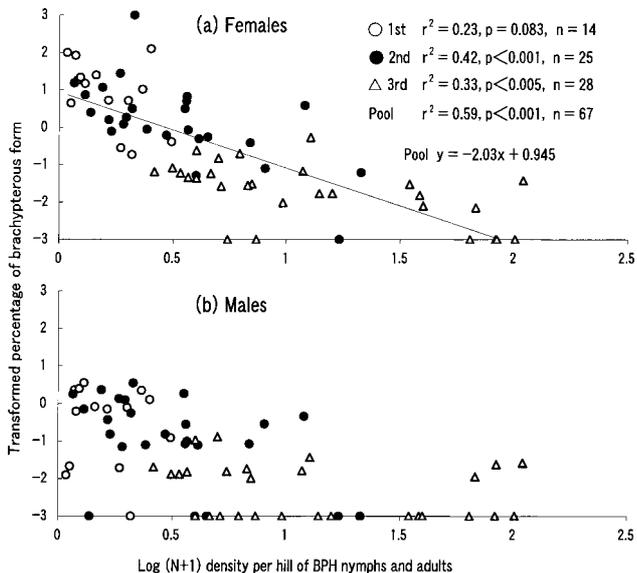


Fig. 7. Relationship between log(N+1) density per hill of BPH and transformed percentage of the brachypterous form (1990, 1991, 1992, 1993 field A, 1993 field B). (a) Females. (b) Males. The 1st (○), 2nd (●), and 3rd (△) generation. Analyses were conducted by comparing the brachypterous form with BPH density 5 days before fifth-instar nymphs were collected. Percentage of the brachypterous form is transformed to the deviation of the truncation point from the mean of truncated normal distribution in standard deviation units.

ヨカミノリでは出穂約 10 日後に (Fig. 2), 短翅率のピークがみられた。

考 察

日本の水田におけるトビロウカの雌短翅率の推移は、第 1~第 2 世代の前半にかけては短翅型率が高く、その後は次第に低下するとされている (岸本, 1965)。しかし、本研究では、雌短翅率は第 1 世代後半~2 世代前半にいったん低下して、その後再び高くなる双峰型の変動を示し (Fig. 2~6)、フィリピンにおける Cook and Perfect (1985) の結果と類似した変動パターンが、日本の水田においても現れることが明らかになった。岸本 (1965) は、8 月下旬以降は 5 齢幼虫を経時的に採集して翅型を調べているが、それ以前は成虫採集調査から翅型を判断している。このため、第 1~第 2 世代の前半にかけては、移出した長翅成虫が考慮されず、ほとんど短翅型とみなされた可能性がある。

水田における本種の翅型決定に関与する要因として、幼虫期の生息密度の影響が重要であることが、室内実験で明らかにされている (岸本, 1965)。また、野外においても、フィリピン (Cook and Perfect, 1985) およびインドネシア (Sawada et al., 1993) の水田では、本種生息密度の対数変換値と雌の長翅型率との間に正の相関 (密度と短翅型率との間には負の相関) があることが知られている。本研究でも雌については同様の傾向が認められた (Fig. 7)。一方、雄については密度と短翅率との間に有意な相関は認められなかった (Fig. 7)、雄の短翅率は 1993 年の A 圃場を除いて雌の短翅率の変動とほぼ一致した。岸本 (1965) によ

には、年次にかかわらず品種ごとに一定の傾向がみられ、晩生品種のレイハウでは出穂約 5 日前に (Fig. 4, 6)、中生品種のヒノヒカリでは出穂期頃に (Fig. 3, 5)、中生品種の

ると、密度と雄短翅率との関係は、低密度では低く、中程度の密度で最高になりそれ以上の密度では雌と同じように密度依存的に低下する。1993年のA圃場における第1世代の成・幼虫密度は、短翅率の調査を行わなかった1992年を除いて最も低かった。したがって、1993年のA圃場は低密度であったために雄短翅率が低く、それ以外の圃場では中程度以上の密度であったため、雌と同様の短翅率の推移を示したと考えられる。

水田における短翅率の変動要因として、密度の影響以外にもイネの生育ステージの影響が考えられる。山中ら(1989)は移植時期の異なる水田において短翅率が異なったことに対して、Cook and Perfect(1985)は移植約80日後に短翅率が再び高まったことに対して、それぞれ生息密度の影響では説明できないとしたうえでイネの生育ステージや栄養状態について考察しているが、短翅率との関連を説明するには至っていない。本研究でみられた双峰型の雌短翅率の変動のうち、2回目の雌短翅率の低下(第2世代後半)は生息密度の増加を伴うものであったが、1回目の雌短翅率の低下(第1世代後半)は必ずしも生息密度の増加を伴うものではなかった(Fig. 2, 5, 6)。このことから、1回目の雌短翅率の低下には密度以外の要因が関与していると考えられる。イネ葉身のSPAD値は、第2世代後半(移植後約80日)以降だけでなく、第1世代後半(移植後約50日)以降にも低下し(Fig. 3, 5)、短翅率の双峰型の変動パターンとよく一致した。このことから、SPAD値で示されるイネの窒素濃度の低下に対応して、短翅率が低下した可能性が示唆される。日本の暖地水稻の一般的な施肥体系における窒素吸収パターンは、分けつ後期に最初の高いピークがあり、その後低下するが、穂肥施用によって幼穂形成期から出穂期にかけて第2のピークを示し、登熟期には急減する(和田, 1981)。本研究における調査圃場でも、出穂前に穂肥の施用を行っており、イネの生育ステージが進むにつれイネ自身の栄養・生理状態(窒素濃度等)が変化し、これに対応して短翅率が双峰型のピークを示した可能性が考えられる。この点については今後明らかにする必要がある。

本研究において、イネの出穂期と2回目の短翅率のピーク時期との間には品種ごとに一定の傾向がみられ、晩生品種のレイホウ(2圃場)では出穂約5日前に、中生品種のヒノヒカリ(2圃場)では出穂期頃に、中生品種のヨカミノリ(1圃場)では出穂約10日後に短翅率のピークがみられた(Fig. 2~6)。穂ぞろい期には早生稲は晩生稲に比べて、相対的に窒素濃度が高いと考えられており(岡本・堀野, 1994)、生育期間ごとの窒素吸収速度は、品種によっても異なる(深山・岡部, 1984)。岡本・堀野(1994)は穂ぞろい期のSPAD値の測定結果から、葉色は早生稲ほど濃くなる傾向があり、同じ出穂期群の品種の中でもヒノヒ

カリは淡く、ヨカミノリは濃いことを報告している。これらのことから、出穂期前後のイネの窒素濃度は、晩生稲ほど早く低下すると考えられ、その理由により短翅率のピークが晩生稲で早かったものと考えられる。

本種の高精度発生予察には、生息密度と雌の短翅率を正確に推定する必要がある。本研究では幼虫密度と短翅率のピーク時期は必ずしも一致せず、5齢幼虫の採集時期が5日早いか遅いかで、短翅率が大きく異なる場合もあった。このことから、5齢幼虫採集は、予測される第1、第2世代幼虫ピーク時期の頃に、それぞれ約5日間隔で少なくとも2回は行うことが望まれる。その際、圃場内の成・幼虫密度だけでなく、イネの品種や生育ステージ等の条件も把握しておくことが大切である。

トビロウカの翅型発現性の変動は、圃場における個体群増殖パターンに大きな影響を与えることが指摘されており(野田, 1988; 寒川ら, 1988)、本種の個体群動態モデルを作る際には重要な要素となる。これまでいくつかの本種の個体群動態モデルが作られているが(岸本・竹内, 1978; Heong, 1982; Holt et al., 1987; 寒川・渡邊, 1991)、本研究で示されたような短翅率の双峰型の変動を組み込んだものは少ない。今後、個体群動態モデルを改良する際には、このような双峰型の変動を組み込むとともに、変動の要因と考えられるイネの生育ステージや施肥の影響を考慮する必要がある。

摘 要

水田におけるトビロウカの翅型の経時的推移を知る目的で、水田から本種の5齢幼虫を約5日間隔で採集し、羽化成虫の翅型調査を行った。その結果、雌の短翅率の推移は各圃場とも類似した傾向を示し、移植40~50日後と75~85日後(出穂5日前~出穂10日後)にピークをもつ双峰型の変動を示した。2回目の短翅率の低下は生息密度の増加を伴うものであったが、1回目の短翅率の低下時期には生息密度が低く、雌の短翅率の変動要因として生息密度以外にイネの生育ステージの影響が重要と考えられた。イネ葉身のSPAD値はイネの生育ステージに伴って変動し、移植30~50日後と移植65~80日後にピークを持つ双峰型の変動を示し、短翅率の変動パターンとよく一致した。このことから、SPAD値で示されるイネの窒素濃度の低下に対応して、短翅率が変動する可能性が示唆された。

引用文献

- Cook, A. G. and T. J. Perfect (1985) Seasonal abundance of macropterous *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* based on presumptive macroptery in fifth-instar nymphs. *Ecol. Entomol.* 10: 249-258.
- Falconer, D. S. and T. F. C. Mackay (1996) *Introduction to Quantitative Genetics* 4th ed. Longman, London. p. 464.

- Heong, K. L. (1982) Population model of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *MARDI Res. Bull.* 10: 195–209.
- 平尾重太郎 (1972) 本田におけるセジロウンカおよびトビロウンカの発生動態と防除適期. *中国農試報* E7: 19–48. [Hirao, J. (1972) Bionomics of the two injurious planthoppers in a paddy field and suitable timing of insecticide application. *Bull. Chugoku Nat. Agric. Exp. Sta. Ser.* E7: 19–48.]
- Holt, J., A. G. Cook, T. J. Perfect and G. A. Norton (1987) Simulation analysis of brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) population dynamics on rice in the Philippines. *J. Appl. Ecol.* 24: 87–102.
- Iwanaga, K., F. Nakasugi and S. Tojo (1987) Wing polymorphism in Japanese and foreign strains of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Entomol. Exp. Appl.* 43: 3–10.
- Iwanaga, K. and S. Tojo (1986) Effects of juvenile hormone and rearing density on wing dimorphism and oöcyte development in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *J. Insect Physiol.* 32: 585–590.
- 城野 晋 (1963) トビロウンカの翅型決定に関する密度効果の分析. *応動昆* 7: 45–48. [Johno, S. (1963) Analysis of the density effect as a determining factor of the wing-form in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 7: 45–48.]
- 北川靖夫・岡山清司・廣川智子 (1987) 葉緑素計によるコシヒカリの葉色と稲体窒素濃度. *富山県農技セ研報* 1: 1–7. [Kitagawa, Y., K. Okayama and T. Hirokawa (1987) Determination of leaf color in rice plant “Koshihikari” with a chlorophyll meter. *Bull. Toyama Agric. Res. Ctr.* 1: 1–7.]
- 岸本良一 (1965) トビロウンカにおける多型現象とそれが個体群増殖の過程で果たす役割. *四国農試報* 13: 1–106. [Kisimoto, R. (1965) Studies on the polymorphism and its role playing in the population growth of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *Bull. Shikoku Agric. Exp. Stn.* 13: 1–106.]
- 岸本良一・竹内 誠 (1978) トビロウンカの水田における逐世代的個体群増殖曲線. *農林水産研究計算セ報* A14: 97–119. [Kisimoto, R. and M. Takeuchi (1978) Emergence and adult population curve generation to generation of the planthopper in a paddy field. *Bull. Computing Ctr. Res. Agric. Forest. Fish.* A14: 97–119.]
- 久野英二 (1968) 水田における稲ウンカ・ヨコバイ類個体群の動態に関する研究. *九州農試集報* 14: 131–246. [Kuno, E. (1968) Studies on the population dynamics of rice leafhoppers in a paddy field. *Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn.* 14: 131–246.]
- 深山政治・岡部達雄 (1984) 水稻の品種特性と最適窒素保有量. *土肥誌* 55: 1–8. [Miyama, M. and T. Okabe (1984) A suitable nitrogen fertilization method for several crop plants based on optimum nitrogen content. I. Differences in optimum nitrogen content among rice varieties. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nurt.* 55: 1–8.]
- Nagata, T. and T. Masuda (1980) Insecticide susceptibility and wing-form ratio of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) and the white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Hemiptera: Delphacidae) of Southeast Asia. *Appl. Entomol. Zool.* 15: 10–19.
- 野田博明 (1988) 1987年のトビロウンカの発生の特徴: 島根県の場合. *植物防疫* 42: 209–212. [Noda, H. (1988) Characteristics of occurrence of the brown rice planthopper in Shimane prefecture in 1987. *Plant Protect.* 42: 209–212.]
- 野田博明 (1989) イネウンカ 3種の発育零点と有効積算温度. *応動昆* 33: 263–266. [Noda, H. (1989) Developmental zero and total effective temperature of three rice planthoppers (Homoptera: Delphacidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 33: 263–266.]
- 岡本正弘・堀野俊郎 (1994) 米の窒素含量の品種間差異および栽培条件による変異と葉色との関係. *育種学会誌* 44: 177–181. [Okamoto, M. and T. Horino (1994) Relationship of varietal and environmental differences of nitrogen content of rice grain to leaf color. *Breed. Sci.* 44: 177–181.]
- Peng, S., F. V. García, R. C. Laza and K. G. Cassman (1993) Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agron. J.* 85: 987–990.
- 坂神泰輔・是永龍二 (1981) 有効積算温度の簡易な新算法 “三角法” について. *応動昆* 25: 52–54. [Sakagami, Y. and R. Korenaga (1981) “Triangle method”, a simple method for the estimation of total effective temperature. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 25: 52–54.]
- Sawada, H., A. Kusmayadi, S. W. G. Subroto, E. Suwardiwijaya and Mustaghfirin (1993) Comparative analysis of population characteristics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål, between wet and dry rice cropping seasons in West Java, Indonesia. *Res. Popul. Ecol.* 35: 113–137.
- 寒川一成 (1992) わが国へ飛来するトビロウンカのバイオタイプ形質の変化とその飛来源地帯の推定. *九病虫研会報* 38: 63–68. [Sogawa, K. (1992) A change in biotype property of brown planthopper populations immigrating into Japan and their probable source areas. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 38: 63–68.]
- 寒川一成・平井剛夫・渡邊朋也 (1988) 1987年のトビロウンカの発生の特徴: 九州を中心として. *植物防疫* 42: 205–208. [Sogawa, K., Y. Hirai and T. Watanabe (1988) Characteristics of the brown rice planthopper occurrence in Kyushu in 1987. *Plant Protect.* 42: 205–208.]
- 寒川一成・渡邊朋也 (1991) イネウンカ類発生予察の現状と将来展望. *植物防疫* 45: 189–194. [Sogawa, K. and T. Watanabe (1991) Advanced systems for rice planthopper management. *Plant Protect.* 45: 189–194.]
- 末永 一 (1963) セジロウンカ・トビロウンカの異常発生機構に関する生態学的研究. *九州農試集報* 8: 1–152. [Suenaga, H. (1963) Analytical studies on the ecology of two species of planthoppers, the white back planthopper (*Sogatella furcifera* Horváth) and the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål), with special reference to their outbreaks. *Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn.* 8: 1–152.]
- 中鉢富夫・浅野岩夫・及川 勉 (1986) 葉緑素計による水稻 (ササニシキ) の窒素栄養診断. *土肥誌* 57: 190–193. [Tyubachi, T., I. Asano and T. Oikawa (1986) The diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants (SASANISHIKI) using chlorophyll meter. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nurt.* 57: 190–193.]
- 和田 學 (1981) 暖地水稻のVegetative Lag Phaseに関する作物学的研究: とくに窒素吸収パターンとの関連. *九州農試報告* 21: 113–250. [Wada, M. (1981) Studies on the effect of nitrogenous nutrition at vegetative lag phase on growth and yield of rice in southern Japan. *Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.* 21: 113–250.]
- Yamada, S. (1990) The relation of adult wing-form in the brown plant-

- hopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) to wing-pad length of last instar nymphs. *Appl. Entomol. Zool.* 25: 439–446.
- Yamada, S. (1991) Dual wing-form determination mechanism in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). *Appl. Entomol. Zool.* 26: 590–592.
- 山中正博・嶽本弘之・藤吉 臨・吉田桂輔 (1989) 水稻移植時期の違いがトビロウンカの発生量に及ぼす影響 . 福岡農総試研報 A-9: 51–56. [Yamanaka, M., H. Takemoto, N. Fujiyoshi and K. Yoshida (1989) The effect of transplanting time of rice plant on population growth of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål). *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* A-9: 51–56.]
-