

## 長距離移動性イネウンカ類の被害解析

### III. セジロウンカ幼虫による吸汁加害の定量化<sup>1)</sup>

渡邊 朋也・寒川 一成

九州農業試験場

Growth and Yield Analysis of Rice Plants Infested with Long-Distance Migratory Rice Plant-hoppers. III. Quantitative Evaluation of Vegetative Growth of Rice Plants Infested with White-Backed Planthopper, *Sogatella furcifera* HORVÁTH (Homoptera: Delphacidae). Tomonari WATANABE and Kazushige SOGAWA (Kyushu National Agricultural Experiment Station, Nishigoshi, Kumamoto 861-11, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* **38**: 275-281 (1994)

The effect of feeding by the white-backed planthopper (WBPH) nymphs were assessed by infesting rice plants in a pot with 0 to 200 nymphs per plant. Rice plants at the active tillering and panicle initiation stages were used. WBPH were allowed to feed during the nymphal period and were removed after 11-12 days. The dry weight of the insect, leaf area, and shoot dry weight as well as the photosynthetic rate and leaf color index were decreased by feeding of the nymphs. The proportion of bracypterous females and the dry weight of individual bracypterous females decreased with increasing WBPH density at the active tillering stage. However, at the panicle initiation stage the proportion of bracypterous female was low regardless of the density. The leaf weight ratio and leaf allocation ratio increased with increasing infestation. A linear relationship was observed between the total dry weight of WBPH and loss of shoot dry weight. WBPH nymph feeding reduced the shoot dry weight by about 400% more than the total dry matter removed by insect feeding. WBPH feeding had a direct effect on biomass production by removing phloem sap, and an indirect effect by reducing the photosynthetic rate and other physiological processes.

*Key words*: rice, planthoppers, *Sogatella furcifera*, plant growth analysis, sap feeding

#### 緒 言

セジロウンカの加害が水稻の生育および収量に与える影響は、水稻の生育時期によって異なる (那波, 1991, 1992)。梅雨期におけるセジロウンカのわが国への飛来量は、1970年代後半から増加傾向にあり (渡邊ら, 1994a)、水田内での発生ピークの早期化が報告されている (那波, 1991)。

筆者らは九州北部の普通期水稻 (6月下旬移植) において、セジロウンカの被害解析を行い、1) セジロウンカの加害は、雌成虫の産卵による葉鞘変色と成幼虫の吸汁の2つに大きく分けることができる、2) 飛来侵入世代を想定して7月上旬に雌成虫を放飼した場合、葉鞘変色にともない無放飼区にくらべて分けつ数の減少がみられたが、その後の幼虫の発生を抑えた場合には最高分け

つ期以降にその差は徐々に少なくなった、3) 増殖世代の吸汁加害を幼穂形成期に受けた場合には、籾数の減少を通じて収量に影響した、などを明らかにした (渡邊・寒川, 1994; 渡邊ら, 1994b)。飛来侵入世代の成虫の産卵による葉鞘変色に引き続いて、次世代幼虫の吸汁加害を受けた場合に、穂数あるいは籾数の減少が起こり収量低下の要因となることは清田・奥原 (1990)、那波 (1992) によっても示されている。

このように水稻生育の各段階で異なる加害形態を示すセジロウンカによる水稻の被害を把握するには、各時点における加害量と水稻の被害量を定量化する必要がある。水稻の初期生育は、セジロウンカ雌成虫の産卵による葉鞘変色で抑制されるが、この生育抑制は株当たり1~2頭からすでに現れる (渡邊・寒川, 1994)。筆者らはこの葉鞘変色による影響を取り除き、吸汁加害が水稻の生育

1) 本論文の一部は日本応用動物昆虫学会九州支部第34回講演会 (1993年9月, 佐賀市) で発表した。  
1993年10月14日受領 (Received 14 October 1993)  
1994年5月28日登載決定 (Accepted 28 May 1994)

Table 1. Experiment design<sup>a</sup>

Experiment No.	DAT <sup>b</sup>	Release period	Release density	Experimental conditions
1	21 (Active tillering)	12	0-200	Artificial light (20,000 lux), 25°C
2	18 (Active tillering)	12	0-200	Artificial light (20,000 lux), 25°C
3	34 (Active tillering)	12	0-200	Natural sunlight, 25°C
4	51 (Panicke initiation)	11	0-200	Natural sunlight, 24°-27°C

<sup>a</sup> The rice variety was Reiho.

<sup>b</sup> Days after transplanting at beginning of release.

に及ぼす影響のみを評価する目的で、ポット栽培した水稻にセジロウカの幼虫を放飼し、葉面積や乾物重の変化を測定したので報告する。

本文に先立ち光合成速度の測定を指導いただいた九州農業試験場気象特性研究室山本晴彦博士（現山口大学農学部）、調査に協力いただいた山田礼子氏に深謝の意を表す。

#### 材料および方法

実験は1991年から1993年の稲作期間中に行った。供試品種としてレイホウ（晩生，短稈偏穂数型）を用いた。1/5000 a ワグネルポットに播種後30日の苗を1本ずつ移植し，基肥として化学肥料を1ポット当り窒素成分で0.2 gを与え，最高分げつ期頃に再び同量を追肥した。野外もしくは屋根の部分がガラスの網室内で栽培し，実験開始前日に Table 1 に示した実験条件の場所に移動した。ポットへの移植は実験1, 3, 4が6月下旬，実験2は8月中旬に行い，実験の開始は実験1~4でそれぞれ7月15日，9月2日，7月22日，8月8日であった。

放飼に用いたセジロウカは，稲芽だして累代飼育している系統である。分げつ盛期から幼穂形成期の生育ステージの水稻を，放飼当日にテトロンゴース製の網（遮光率約20%）と支柱を組み合わせたケージで1ポットずつ覆い，2日以内にふ化したセジロウカ幼虫を所定の個体数放飼した。水田内におけるセジロウカ第1世代あるいは第2世代幼虫による加害を想定し，放飼密度は実験1~3では1株当り0, 20, 50, 100, 200頭，実験4では0, 50, 200頭とし，各密度とも5反復とした。ふ化幼虫1株当り200頭は，筆者らの水田内個体数調査（未発表）における最高密度に相当する。実験1~3では放飼後12日目，実験4では11日目に全個体を回収し，80°Cで48時間以上乾燥し重量を測定した。この時点で

80%以上の個体が成虫になっており，しかも雌成虫の産卵がまだ始まっていなかった。

水稻はセジロウカを回収後，当日あるいは翌日に地上部を刈り取り，葉身と葉鞘に分け葉面積を測定し，80°Cで48時間以上乾燥した後重量を測定した。また放飼開始直前に別に5株を刈り取り，葉面積と地上部乾物重の初期値とした。

実験3では放飼個体を回収した翌日に，水稻の光合成能力の変化を測定した。測定は各株の主茎の最上位展開葉について，光合成測定装置（LICOR社製，LI6200）を用い，晴天時の光強度が $1,900 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の時に行った。光合成能力を測定した葉身の葉色を，葉緑素計（ミノルタ社製，SPAD502）で測定した。

#### 結 果

##### 1. セジロウカの乾物重および翅型率の変化

セジロウカの回収時の総乾物重は初期密度に比例して増加したが，実験間では同じ初期密度でも回収時のウンカの総乾物重に違いがみられた。実験1および実験4について，成虫の雌雄翅型別に1個体乾物重を求めたが，実験間で差がみられなかったのでまとめて取り扱った。雌雄および雌の翅型間では乾物重に違いがあった。また雄は初期密度に関係なくほぼ一定の値を示したが，短翅雌はウンカの初期密度の増加とともに減少した（ $r = -0.855$ ,  $d.f. = 4$ ,  $p < 0.05$ , Fig. 1-1）。

雌の短翅率の密度による変化を実験1, 2および4について Fig. 1-2 に示した。放飼期間が分げつ盛期の場合，短翅率は初期密度の増加につれて低下した。しかし幼穂形成期に放飼した場合の短翅率は，初期密度が50頭で約37%，200頭で30%と密度にかかわらず低い値となった。このように，セジロウカ成虫の1個体乾物重は雌雄あるいは翅型により異なり，しかも短翅雌の1

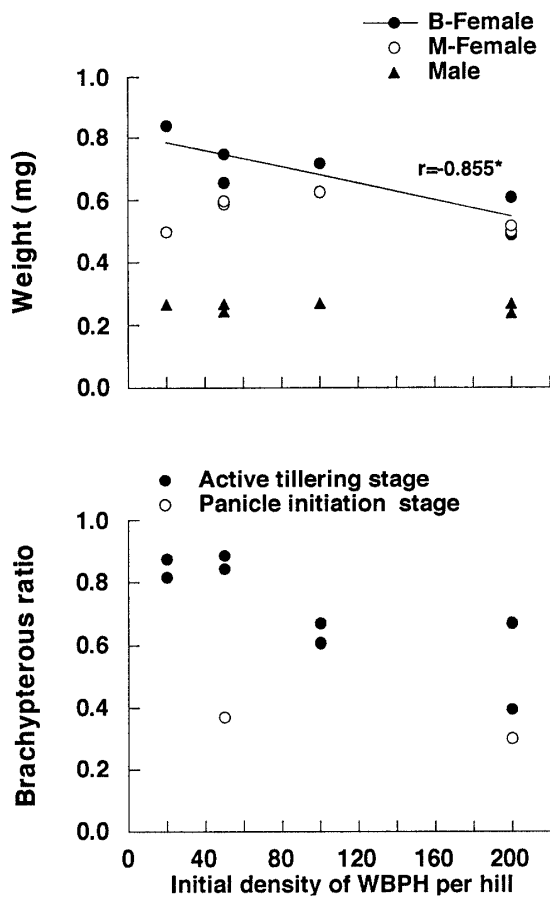


Fig. 1. Effect of release density on dry weight of single adults of white-backed planthopper (WBPH, upper; 1-1) and ratio of brachypterous females (lower; 1-2). B-Female: Brachypterous, M-Female: Macropterous.

個体乾物重や翅型率は、密度および水稻の生育ステージにより変化した。イネウンカ類による篩管液の吸汁量は体重に比例して変化する (KENMORE, 1980; 寒川, 1992)。そのために本実験のように雌雄、翅型の異なる個体が混在した個体群の加害量を定量的に表現するためには、個体数より総乾物重のほうが適当と思われた。そこで本報告では以後、回収時のセジロウンカの総乾物重を加害量の指標として用いることにした。

2. 水稻生育量の変化

セジロウンカ回収後の水稻地上部乾物重および葉面積を Fig. 2-1 および 2-2 に示した。乾物重、葉面積とも各実験ごとの初期値により絶対値は異なるが、セジロウンカの総乾物重の増加に対して直線的に減少する傾向がみられた。分けつ盛期の水稻を用いた場合、水稻の一部が枯死することはなかったが、幼穂形成期に放飼を行った場合、下位葉が一部枯死した。枯死量はウンカの乾物重

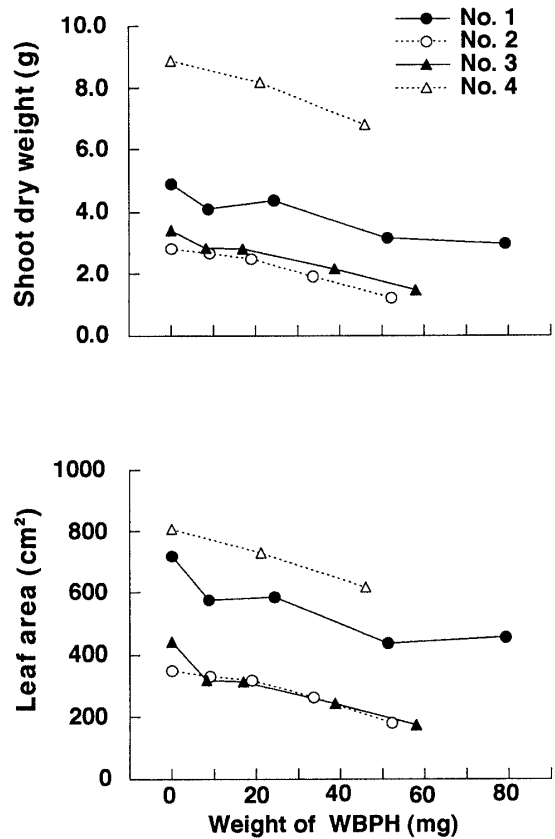


Fig. 2. Relationship between total dry weight of WBPH and rice shoot dry weight (upper; 2-1) and leaf area (lower; 2-2) measured after release period. No. 1-4: Experiment number, see Table 1.

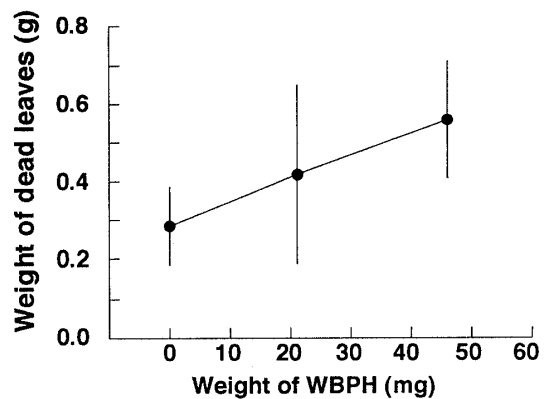


Fig. 3. Relationship between total dry weight of WBPH and dead leaf weight after release period in experiment 4 (panicle initiation stage). Vertical bars indicate the  $\pm 2 \times S.E.$

に対して直線的に増加した (Fig. 3)。

地上部乾物重を葉身部および葉鞘部に分け、葉身部の重量比をウンカの総乾物重に対してプロットした図を Fig. 4-1 に、放飼期間中に増加した総乾物重の葉身部へ

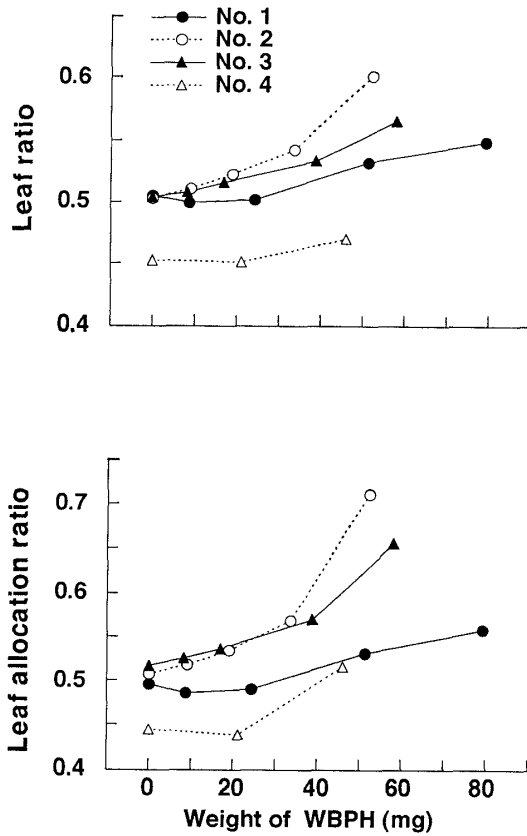


Fig. 4. Relationship between total dry weight of WBPH and leaf ratio of rice (upper; 4-1) and leaf allocation ratio (lower; 4-2) measured after release period. No. 1-4: Experiment number, see Table 1.

の分配率を Fig. 4-2 に示した。分配率は放飼直前の葉身重を  $LW$ 、総乾物重を  $TW$ 、放飼終了後の葉身重、総乾物重をそれぞれ  $LW'$ 、 $TW'$  とすると、 $(LW' - LW) / (TW' - TW)$  で表せられる。無放飼の場合、葉身部の重量比も分配率も分けつ期には 0.5、幼穂形成期には約 0.45 となり、これは通常の水稲における値 (PENNING de VRIES et al., 1989) と同じであった。どちらの値もウンカの乾物重が増加するにつれ増加し、重量比で約 0.6、分配率で約 0.7 に達した場合もみられた。これはウンカの吸汁により、光合成産物の葉身部から他の部分への移行が阻害された結果と考えられ、光合成産物が水稲の生長に利用されていない可能性を示唆する。

セジロウンカの単位乾物重当りの水稲乾物重の減少量を求めるために、各実験条件ごとに無放飼区に対する放飼区の水稲乾物重の差をウンカの総乾物重に対してプロットした (Fig. 5)。幼穂形成期の吸汁加害は、枯死葉の増加にみられるように、被害のかたが分けつ期と異なったが、水稲乾物重の減少量に分けつ期と顕著な差はみ

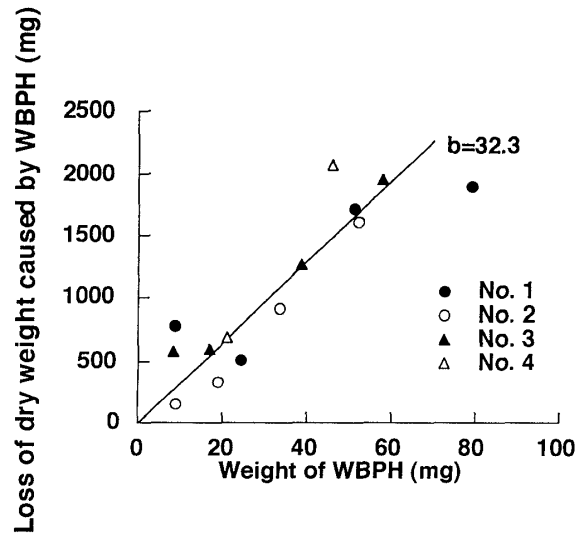


Fig. 5. Relationship between total dry weight of WBPH and loss of dry shoot weight after release period. No. 1-4: Experiment number, see Table 1.

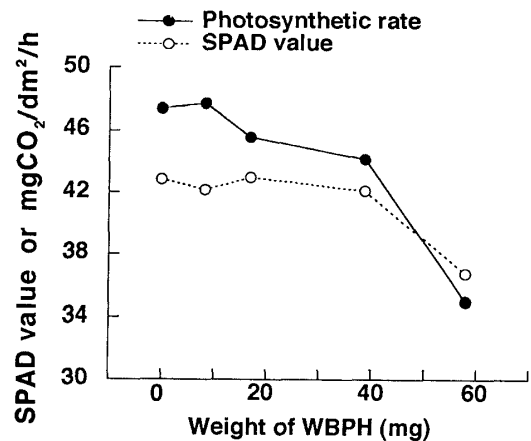


Fig. 6. Relationship between total dry weight of WBPH and photosynthetic rate and leaf color value of top leaf at panicle initiation stage. Photosynthetic rate was measured using the LICOR LI6200, and leaf color was measured using the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter.

られなかったので、ここではすべての結果をまとめて解析した。実験を行った範囲で両者に直線関係がみられ ( $r=0.889$ ,  $p<0.001$ ), 回帰直線の  $Y$  切片の値 (179.7) は  $Y=0$  と有意差はなかった ( $t$ -検定,  $p>0.05$ )。そこで、原点を通る回帰直線を想定して、傾き  $b$  を計算しなおしたところ  $b=32.3$  が得られた。この傾きの値はセジロウンカ 1 mg を生産した際に減少した水稲乾物重が 32.3 mgであることを示している。

分けつ盛期の最上位展開葉における光合成速度および葉色の値を Fig. 6 に示した。光合成速度はセジロウン

カの乾物重が増加するにつれて低下し、とくにウンカの総乾物重が40~60 mg (初期密度が100頭区から200頭区) にかけて急減した。葉色値も同様に低下した。葉色値の低下は葉の黄化を表しており、セジロウンカの加害量の増加により、葉の黄化と光合成速度の低下が同時に起こっていることが示された。

### 考 察

本試験では環境条件を少しずつ変化させた4回の実験のまとめとして、分げつ期から幼穂形成期にセジロウンカの吸汁加害が起こった場合、成虫乾物1 mgを生産するのに32.3 mgの水稲乾物が減少することが明らかになった。直接的被害である水稲篩管液(乾物)の収奪量を求めるためには、セジロウンカの吸汁量を測定する必要がある。KENMORE (1980) は、GUTIERREZ et al. (1981) の計算式を用いて、トビイロウンカの齢期別の日当り吸汁量を虫体の増加量+維持呼吸量+排泄量として求めた。このとき呼吸量は虫体(乾物重) $\times 0.1$ とした。寒川(1992)はトビイロウンカおよびセジロウンカの老齢幼虫と未蔵卵雌成虫の日当り吸汁量を測定した。この値を用いて各齢期の吸汁量は虫体重に比例するとし、1齢から羽化直前までの総乾物吸汁量を計算すると、体重(乾物)1 mg当りトビイロウンカで約7.6 mg、セジロウンカで約5.7 mgであった。羽化後雌成虫1 mg当りの日当り吸汁量は、セジロウンカで約1.3 mgと計算された。このことから、本試験においてポットの水稲からセジロウンカを回収した時点において、平均的に羽化後1日後の成虫になっていたとすると、セジロウンカ1 mg当りの総吸汁乾物重は約7 mgと推定された。この値はさきに示した水稲の乾物減少量(32.3 mg/1 mgウンカ)の約22%に過ぎない。この結果はセジロウンカの吸汁加害が、直接的な乾物収奪だけでなく、水稲の生理的な障害を引き起こしている可能性を示している。

害虫の加害量に対して、作物の被害量が加害量より大きくなる例が知られている。たとえば、BARLOW et al. (1977) はエンドウの幼植物に、エンドウヒゲナガアブラムシ *Acyrtosiphon pisum* を異なる密度で接種し、エンドウとアブラムシの生長をカロリー量で求めている。これによるとアブラムシの密度が高くなると、エンドウの純一次生産量の減少量は吸汁乾物量の1.0~2.38倍に変化した。ムギヒゲナガアブラムシ *Sitobion avenae* はムギ類の穂から吸汁する。このアブラムシの吸汁加害の小麦への影響は、篩管液の収奪による乾物重の減少という直接的な被害の他に、間接的な被害も重要であることが知

られている(RABBINGE et al., 1981; ROSSING et al., 1989など)。RABBINGE et al. (1981) は、アブラムシの甘露を0.1 mg/cm<sup>2</sup>の濃度で小麦の葉に人為的に付着し、光合成能力への影響を調べた。彼らによると葉の上面のみに甘露を付着させた直後で、第1葉の光飽和時の光合成速度および光利用効率が、対照区にくらべてそれぞれ5, 15%減少し、1日の光合成量を計算すると12~21%低下した。この他に甘露の付着は、葉面微生物を繁殖させたり(RABBINGE et al., 1981)、小麦の維持呼吸量を増大させた(ROSSING et al., 1989)。

セジロウンカはトビイロウンカが株元に生息するのに対して、稲の上部にも生息し吸汁する(久野, 1968)。そのためアブラムシ同様に排泄された甘露が下部の葉に付着することによる間接害が考えられる。本実験ではセジロウンカによる甘露の葉への付着量を定量的に調査しなかったが、とくに200頭放飼区では甘露の付着した葉が多くみられた。

那波(1988)は水稲の穂にツマグロヨコバイを放飼した場合、第2節間における貯蔵澱粉含有率が無放飼区にくらべて高くなったことから、吸汁による光合成産物の転流阻害があったとしている。KENMORE (1980) はトビイロウンカに吸汁された葉鞘部で、篩管液の移動が阻害される現象を放射性同位体<sup>14</sup>Cを利用した実験で示している。吸汁性害虫による光合成産物の移行阻害は、マメノミドリヒメヨコバイ *Empoasca sakaii* に加害されたラジノクローバ(内藤, 1977)や、potato leafhopper *Empoasca fabae* に加害されたアルファルファ(NIELSEN et al., 1990)でも認められている。*E. fabae*によるアルファルファの被害については、光合成産物の移行阻害の他に、光合成能力や蒸発量の低下、非構造性炭水化物の葉への蓄積、葉のタンパク質の減少などが明らかにされている(WOMACK, 1984; FLINN et al., 1990)。本試験では移行阻害の有無を直接調べてはいないが、セジロウンカの吸汁期間中の、葉身と葉鞘部の重量比、およびそれぞれへの光合成産物の分配率は、放飼密度が高いほど葉に偏っていた。Fig. 6に示した結果とあわせると、セジロウンカの吸汁により光合成産物の移行阻害、黄化、光合成の低下がほぼ同時に起こっている可能性が示唆された。

分げつ期から幼穂形成期のセジロウンカによる吸汁加害は、穂数や籾数の減少につながることで報告されている(清田・奥原, 1990; 那波, 1992)。本試験の結果から、セジロウンカの加害は篩管液の吸汁による乾物収奪だけでなく、光合成能力等にも影響を及ぼすことに

より、水稻の乾物重および葉面積の増加を抑制し、その結果が穂数や粒数の減少につながると考えられた。

また本試験では、吸汁加害量をセジロウカ乾物増加量として、また水稻生育への影響を乾物重および葉面積の減少量として捉えることで、両者の定量的な関係を表すことができた。この結果は害虫管理技術として作物生育モデルや害虫動態モデルを応用する際のパラメータとして利用できると考えられる。しかし、吸汁加害により生じた乾物重の減少が収穫期までどのように影響するかについては、実測値は得られていない。またウンカ類の篩管液吸汁量は水稻の生育状態やウンカの種類によっても異なる(寒川, 1970, 1992)。イネウンカ類の吸汁による加害の定量化をさらに進めるためには、乾物収奪量に関する種間の差異、あるいはアルファルファと *E. fabae* の系で行われているように、イネウンカ類の吸汁に対する水稻の生理的反応に関する知見を蓄積する必要がある。

### 摘 要

セジロウカの吸汁加害の水稻生育に及ぼす影響を、ポットに栽培した分けつ期から幼穂形成期の水稻に、0~200頭のふ化幼虫を放飼することにより調査した。

1) 放飼から11~12日後に回収したセジロウカ短翅雌成虫の1頭当り乾物重は、放飼密度が高くなるにつれて減少した。雌の短翅率は分けつ期には放飼密度とともに低下したが、幼穂形成期には密度にかかわらず低かった。

2) 放飼終了後の水稻の乾物重、葉面積はセジロウカの乾物生産が増加するにつれて減少した。

3) 葉身の重量比および放飼期間中の葉身への乾物分配率は、セジロウカ乾物重の増加とともに増加した。

4) 水稻乾物重の減少割合は、セジロウカ乾物1mg当り32.3mgと計算された。

5) 分けつ盛期における最上位展開葉の光合成速度およびSPADによる葉色値は、セジロウカ乾物重が増加すると急速に低下した。

6) セジロウカのふ化から成虫羽化直後までの、総乾物吸汁量は約7mgと推定された。この値はセジロウカ単位乾物重当りの、水稻の乾物減少量の約22%であり、吸汁加害は直接的な乾物収奪以外に、水稻の乾物生産過程への阻害作用を引き起こしている可能性が示唆された。

### 引 用 文 献

- BARLOW, C.A., P.A. RANDOLPH and J.C. RANDOLPH (1977) Effects of pea aphids, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae), on growth and productivity of pea plants, *Pisum sativum*. *Can. Entomol.* **109**: 1491—1502.
- FLINN, P.W., A.A. HOWER and D.P. KNEVEL (1990) Physiological response of alfalfa to injury by *Empoasca fabae* (Homoptera: Cicadellidae). *Environ. Entomol.* **19**: 176—181.
- GUTIERREZ, A.P., J.U. BAUMGAERTNER and K.S. HAGEN (1981) A conceptual model for growth, development, and reproduction in the ladybird beetle, *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Can. Entomol.* **113**: 21—33.
- KENMORE, P. (1980) Ecology and outbreaks of a tropical insect pest of the green revolution: the rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* (STAL). Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, USA. 226 p.
- 清田洋次・奥原國英 (1990) セジロウカの被害解析 第1報 水稻生育初期における成虫密度と被害との関係. 九病虫研究会報 **36**: 95—96.
- 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. 九州農試彙報 **14**: 131—246.
- 那波邦彦 (1988) ツマグロヨコバイの吸汁害に関する研究 III. 穂吸汁加害によるイネの生理的反応. 応動昆 **32**: 31—36.
- 那波邦彦 (1991) 近年におけるセジロウカの多発傾向と増殖パターン. 植物防疫 **45**: 41—45.
- 那波邦彦 (1992) 普通期水稻におけるセジロウカの吸汁被害の解析. 広島農技セ研報 **55**: 7—16.
- 内藤 篤 (1977) 農作物、特に飼料作物を加害するヨコバイ類の摂食習性に関する研究 III. 摂食習性と被害—マメノミドリヒメヨコバイの吸害による同化産物の移行阻害. 応動昆 **21**: 1—5.
- NIELSEN, G.R., W.O. LAMP and G.W. STUTTE (1990) Potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) feeding disruption of phloem translocation in alfalfa. *J. Econ. Entomol.* **83**: 807—813.
- PENNING de VRIES, F.W.T., D.M. JANSEN, H.F.M. ten BERGE and A. BAKEMA (1989) *Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops*. Wageningen: Pudoc, 271 p.
- RABBINGE, R., E.M. DREES, M. van der GRAAF, F.C.M. VERBERNE and A. WESSELO (1981) Damage effects of cereal aphids in wheat. *Neth. J. Pl. Path.* **87**: 217—232.
- ROSSING, W.A.H., J.J.R. GROOT and H.J.W. van ROERMUND

- (1989) Simulation of aphid damage in winter wheat; a case study. In: *Simulation and Systems Management in Crop Protection*. (R. RABBINGE, S.A. WARD and H.H. van LAAR eds.), Wageningen, The Netherlands: Pudoc, pp. 240—261.
- 寒川一成 (1970) トビイロウンカの吸汁習性に関する研究. 第1報 窒素欠乏水稻での吸汁. 応動昆 **14**: 101—106.
- 寒川一成 (1992) イネウンカ個体群の吸汁によるイネからの乾物収奪動態のモデル化. 九農研 **54**: 104.
- WOMACK, C.L. (1984) Reduction in photosynthetic and transpiration rates of alfalfa caused by potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) infestation. *J. Econ. Entomol.* **77**: 508—513.
- 渡邊朋也・寒川一成 (1994) 長距離移動性イネウンカ類の被害解析 I. セジロウンカの加害時期および加害量が水稻の生育および収量に与える影響. 応動昆 **38**: 153—160.
- 渡邊朋也・寒川一成・鈴木芳人 (1994a) 九州北部における長距離移動性イネウンカ類の子察灯誘殺数の年次間変動の解析. 応動昆 **38**: 7—15.
- 渡邊朋也・山本晴彦・寒川一成 (1994b) 長距離移動性イネウンカ類の被害解析 II. 分光反射率を利用したセジロウンカ飛来成虫による水稻初期被害の回復過程の測定. 応動昆 **38**: 169—175.
-