

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
水稲初期被害の回復過程の測定渡邊朋也・山本晴彦¹⁾・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. II. Measurement of Recovery of Vegetative Growth of Rice Plants Infested with the White-Backed Planthopper, *Sogatella furcifera* HORVÁTH (Homoptera: Delphacidae), by Spectral Reflectivity. Tomonari WATANABE, Haruhiko YAMAMOTO²⁾ and Kazushige SOGAWA (Kyushu National Agricultural Experiment Station, Nishigoshi, Kumamoto 861-11, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* **38**: 169-175 (1994)

The effect of damage to the leaf sheath caused by oviposition of the white-backed planthopper on the vegetative growth of rice paddy was studied in 1989 and 1990. Release levels were changed from 0 to 8 adult females per hill. The number of tillers, top dry weight and leaf area index (LAI) were reduced at the end of the experiment periods in the release plots. The same reduction was observed in non-sprayed plots after immigration. Growth differences among the plots were reduced towards the reproductive stage. A non-contact, non-destructive method for estimating the top dry weight and the LAI using a portable spectroradiometer was tried in 1990. Changes in the spectral reflectivity in the near-infrared range were useful for measuring the recovery of the top dry weight and the LAI when the LAI was less than 5.

Key words: rice, planthopper, *Sogatella furcifera*, plant growth analysis, spectral reflectivity

緒 言

近年作物の生育モデルを利用した、生育診断・生育予測技術が開発されつつある。これらの技術を水稲害虫の被害解析に応用するには、被害の程度を物質生産過程への影響として捉え、光合成量の重要な因子である葉面積やその蓄積の結果である乾物重の変化を通して水稲の生育を調査する必要性が指摘されている(矢島, 1988)。しかし、これらの調査は多くの労力を必要とするとともに、調査した部分の植物を抜き取るため、同じ個体の生育を追跡することが不可能になる。作物体から反射あるいは放射される電磁波を測定し、植物の生理、生態に関する情報を解析するいわゆるリモートセンシング技術は、非破壊、非接触で作物の生育を診断する方法として有効であり、水稲へも応用が試みられている(SHIBAYAMA and MUNAKATA, 1986; SHIBAYAMA and AKIYAMA, 1986a,

b; YAMAMOTO and HONJO, 1993)。さらにこの技術は、作物の生育診断を通して病害虫の被害程度を迅速に把握し、適切な病害虫管理や肥培管理を進めるうえで有効な手段と考えられる。しかし、作物生育モデルとともに病害虫分野への導入に関するわが国での研究は緒についたばかりであり、現在までに基礎的データが若干得られているに過ぎない(秋山ら, 1987; 山本ら, 1991)。なお近年、森林害虫による被害をリモートセンシング技術によりモニタリングする研究がいくつか進められている(AHERN, 1988; 鎌田, 1990; LECKIE et al., 1989; WILLIAMS et al., 1985 など)が、加害程度を量的に把握するには至っていない。

西日本の普通期水稲(6月下旬移植)では、海外から飛来したセジロウンカの産卵によるいわゆる葉鞘変色が著しい。この場合、加害時期から収穫期までに3か月以上の生育期間があり、加害が生育や収量へ与える影響は

1) 現在 山口大学農学部

2) Present address: Faculty of Agriculture, Yamaguchi University, Yamaguchi 753, Japan.

1993年10月23日受領(Received 23 October 1993)

1994年4月9日登載決定(Accepted 9 April 1994)

気象条件や施肥条件により変動することが予想される。そのための確な被害予測や生育に対する影響のモニタリング手法として、リモートセンシング技術が有効と考えられる。また作物生育モデルを利用した被害の評価を導入するためには、葉面積や乾物重の推移を調べる必要がある。

筆者らはセジロウンカの飛来雌成虫の加害を想定した放飼試験を行い、葉面積や乾物重の測定および分光反射率の測定により、初期にみられた生育の遅れが出穂期前後までにほとんど回復する過程を追跡したので報告する。

本文に先立ち、労力の多い圃場調査に協力いただいた九州農業試験場の原口平八郎技官、田中美津子氏、中村成美氏に深謝の意を表す。

材料および方法

1. 水稻品種および栽培条件

試験は1989年および1990年に九州農業試験場(福岡県筑後市)内の水田約2aで行った。品種はレイホウ(晩生、短稈偏穂数型)を用い、育苗期間約30日の中苗を条間25cm×株間21cmとして1株3本ずつ手植えた。移植日は1989年は6月20日、1990年は6月18日であった。肥料は、くみあい尿素硫加磷安48号(アンモニア性窒素、可溶性リン酸、水溶性カリそれぞれ16%)を用いた。施肥量は窒素を基準として基肥として代かき時に10a当り5kgN、追肥として7月中旬、8月中旬、9月中旬にそれぞれ10a当り2, 3, 2kgNを施用した。ウンカ類以外の病害虫については、コブノメイガに対してカルタップ(cartap)水溶剤(1,000倍液)を8月中旬に、紋枯病に対してバリダシン(validamycin A)粉剤(3kg/10a)を8月下旬に散布することにより防除を行った。

2. 水稻に対するセジロウンカの加害方法とその後の処理

放飼密度および放飼期間をTable 1に示した。1989年には4条7株を、1990年には3条6株を1区とした。各区を白色寒冷紗(遮光率22%)を用いた幅1.2m、長さ1.4m、高さ0.9mの網で覆った。供試虫としては、イネ芽だし苗で室内飼育中のセジロウンカの長翅型蔵卵雌成虫を用いた。放飼密度は0~8頭/株の範囲に4ないし5段階を設定した。雄成虫は雌成虫と同数を放飼した。放飼開始は1989年は7月4日、1990年は6月26日で、放飼期間はいずれも7日間とした。各区の間隔は、1989年は条方向に1m、株方向に1.25m、

Table 1. Experimental design on effect of damage caused by the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*

| Year | Date of transplanting | Release period | No. of females released per hill |
|------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1989 | June 20 | July 4-July 11 (14-21) ¹⁾ | 0, 1, 2, 4, 8 |
| 1990 | June 18 | June 26-July 3 (8-15) | 0, 2, 4, 8 |

1) Days after transplanting are shown in parentheses.

1990年は条方向に1m、株方向に4mとした。各区の設置は乱塊法によった。

いずれの年も放飼期間終了後は寒冷紗を取り払い、エトフェンプロックス(etofenprox)乳剤1,000倍液を用いて残存個体および次世代の発生を抑えるとともに、7月下旬にブプロフェジン(buprofezin)粒剤を3kg/10aの割合で全面に散布することにより、次世代以降のウンカ類の発生を抑制した。なお1990年は7月2, 3日の多飛来により雌虫の密度がピーク時に株当たり約7頭に達した。そこで上記の放飼区以外にエトフェンプロックス乳剤1,000倍液を用いて、飛来成虫を防除した区(防除区1:7月3日および9日の2回散布, 防除区2:7月9日のみ散布)および無防除区を設け、いずれも寒冷紗による被覆を行わなかった。

3. 水稻の生育調査

1990年に草丈および茎数について各区9株を抽出し、栄養成長期間中は週1回測定した。また葉面積および地上部乾物重を、生育期間中に1989年は4回、1990年は3回測定した。各区から6株(1989年)もしくは9株(1990年)を抽出して抜き取り、その一部の葉面積を葉面積計(林電工製, AAM-7)により測定した。さらに株ごとに葉身とその他の部位に分けた後、80°Cで48時間以上乾燥し重量を測定した。葉面積を測定した葉身の乾物重から比葉面積(単位乾物重当りの葉面積)を求め、全株の葉面積を推定した。

4. 分光反射率の測定

各区の分光反射エネルギーの測定は、YAMAMOTO and Honjo (1993)に従った。すなわち携帯用分光光度計(阿部設計製, 2703型)を用い、晴天日の午前11~12時に直達光のもとで供試群落(3条3株, 計9株)に対して、高さ3.5mから伏角45度、視野角10度で太陽を背にしながら測定した。測定波長は、450nmから100nmごとに1,050nmまでの7波長帯とした。供試群落の分光反射率は、標準白色板からの分光反射エネルギーを100%としたときの相対値($R_{xnm}\%$, $x=450\sim1050$)と

して求めた。各区について1990年7月30日, 8月7日, 13日, 21日, および31日の計5回測定した。また7月30日および8月21日には分光反射率を測定した後に, その場所の株を採集し, 葉面積および地上部乾物重を上記の方法で調査した。

結 果

1. 生育調査

1990年の各区における株当り茎数の変化を Fig. 1 に示した。放飼期間終了直後からすでに無放飼区とそれ以外の区で茎数に差がみられ, 放飼区の最高分げつ期が無放飼区にくらべて遅れたが, この茎数の違いは8月中旬以降少なくなった。防除区1, 2および無防除区の茎数の推移も無放飼区および放飼区と同様な結果となったが, 防除区での最高分げつ数は無放飼区にくらべて少なく, 無防除区ではほとんど無効分げつがない生育を示した。Fig. 2 に防除区および無防除区におけるセジロウンカ雌成虫の密度推移を示した。無防除区では最高密度が

6.8頭/株, 7月2日~13日までの平均密度が4.7頭となり, 放飼区の8頭区と同程度の密度になっていた。殺虫剤散布を1回しか行わなかった防除区2における密度推移は, 7月9日までは無防除区と差はなかったが, 防除区2の茎数の推移は無防除区とは異なった。これは殺虫剤の散布によりセジロウンカの産卵が妨げられたことによると考えられた。

Table 2 および Table 3 に1989年, 1990年の各試験区の葉面積指数(LAI) および地上部乾物重(g/m²)の推移を示した。生育量については年次による違いがみられるが, 両年とも最高分げつ期(移植後42日)までは, 葉面積, 乾物重とも, 放飼密度が高まるにつれて低下する傾向があった。とくに8頭区では葉面積や乾物重が無放飼区にくらべて22~28%低下した。放飼区と無放飼区における生育量の差は, 茎数の変化と同様にその後の生育とともに小さくなり, 出穂前10日(移植後63日, 1990年)あるいは出穂直後(移植後78日, 1989年)には有意差はみられなくなった。1990年の防除区では茎数の変化は明瞭ではなかったが, 防除区1と区2の間で初期生育に違いがみられた。すなわち防除区2の初期生育量は防除1区と無防除区の中間の値になった。しかし, 放飼区や無放飼区と同様に移植後63日目の生育量の違いはわずかであった。Table 4 に各区の葉身乾物重比(葉身重/総乾物重)を示した。どちらの年も移植後42日目に放飼密度が高いほど葉身重の割合が高くなる傾向がみられた以外は, 放飼密度による違いはなかった。

2. 分光反射率

Fig. 3 に分光反射率の推移を無放飼区と8頭区を代表として示した。1990年7月30日(移植後42日)には,

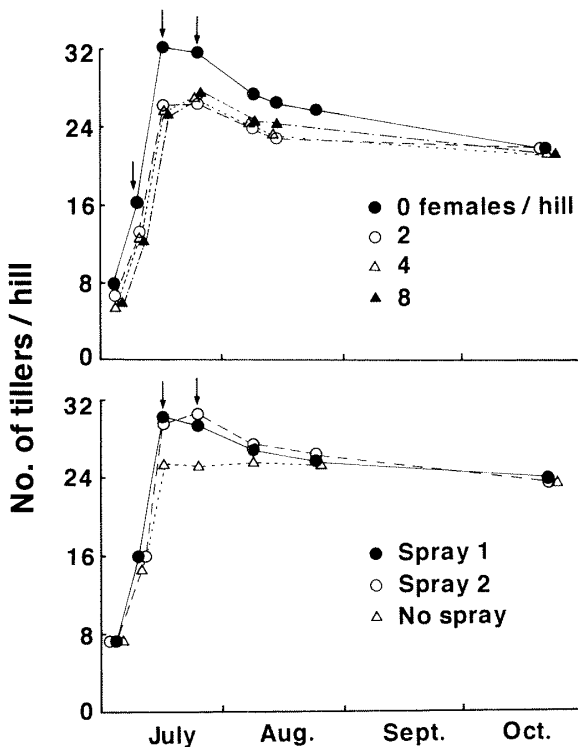


Fig. 1. Fluctuations in number of tillers on each plot in 1990. Upper: Release plots, Lower: Insecticide-sprayed plots. Spray 1: Insecticide (etofenprox) was sprayed on 3 and 9 July 1990. Spray 2: Insecticide was sprayed on 9 July. Arrows indicate the date when the *F*-values were significantly large ($p < 0.05$) by single factor ANOVA.

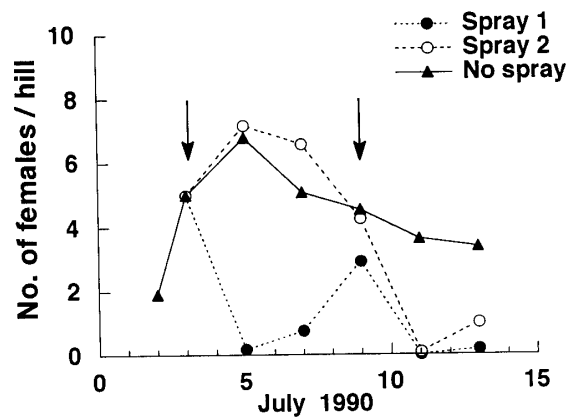


Fig. 2. Fluctuations in number of adult females per hill by direct counting method on insecticide-sprayed plots. Arrows indicate insecticide spray date.

近赤外領域 (750~1050 nm) で無放飼区と8頭区との間に差がみられたが、8月7日(移植後50日)以降は両区の分光反射率はどの波長でもほぼ同じ値を示した。近赤外領域の反射率は水稻の生育とともに上昇した。可視域

の反射率は550 nmにおいて8月7日までは8頭区が無放飼区よりわずかに低いが、その後は差はなくなった。どの測定日においても被害を特徴付けるスペクトルはみられなかった。

Table 2. Effects of infestation by adult females of *Sogatella furcifera* on leaf area index (LAI)

| Year | No. of adult females released | No. of hills | Leaf area index (LAI) | | | | |
|------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|--------------|-------------------|
| | | | 22 | 28 | 42 | 78 | DAT ¹⁾ |
| 1989 | 0 | 6 | 0.40 (100) ab ²⁾³⁾ | 1.20 (100) a | 4.11 (100) a | 6.38 (100) a | |
| | 1 | 6 | 0.41 (103) a | 1.09 (91) a | 3.97 (97) a | 6.43 (101) a | |
| | 2 | 6 | 0.43 (108) a | 1.06 (88) a | 3.83 (93) a | 6.50 (102) a | |
| | 4 | 6 | 0.43 (108) a | 1.08 (90) a | 3.63 (88) ab | 5.93 (93) a | |
| | 8 | 6 | 0.31 (78) b | 0.96 (80) a | 3.35 (82) b | 6.56 (103) a | |
| | | | | 30 | 42 | 63 | DAT |
| 1990 | 0 | 9 | | 2.06 (100) a | 4.62 (100) a | 5.01 (100) a | |
| | 2 | 9 | | 1.50 (73) ab | 4.29 (93) b | 5.09 (102) a | |
| | 4 | 9 | | 1.65 (80) ab | 4.44 (96) b | 4.55 (91) a | |
| | 8 | 9 | | 1.49 (72) b | 3.90 (84) b | 5.34 (107) a | |
| | Spray 1 ⁴⁾ | 9 | | 2.06 (100) a ⁵⁾ | 4.67 (100) a | 5.78 (100) a | |
| | No spray | 18 | | 1.61 (78) b | 3.93 (84) b | 5.56 (96) a | |

1) Days after transplanting.

2) Values followed by the same letters are not significantly different by TUKEY's Multiple Range Test ($p > 0.05$).

3) Values in parentheses indicate percentage of control or Spray 1.

4) Spray 1: insecticide (etofenprox) sprayed on 3 and 9 July 1990. Spray 2: insecticide sprayed on 9 July 1990.

5) Values followed by the same letters are not significantly different by SCHEFFE's Multiple Range Test ($p > 0.05$).

Table 3. Effects of infestations by adult females of *Sogatella furcifera* on biomass and top dry weight per m²

| Year | No. of adult females released | No. of hills | Top dry weight (g/m ²) | | | |
|------|-------------------------------|--------------|------------------------------------|---------------------------|--------------|----------------------|
| | | | 22 | 28 | 42 | 78 DAT ¹⁾ |
| 1989 | 0 | 6 | 30 (100) a ²⁾³⁾ | 92 (100) a | 330 (100) a | 1,100 (100) a |
| | 1 | 6 | 30 (100) a | 81 (88) a | 314 (95) ab | 1,060 (96) a |
| | 2 | 6 | 30 (100) a | 82 (89) a | 302 (92) ab | 1,048 (95) a |
| | 4 | 6 | 29 (97) a | 81 (88) a | 282 (85) bc | 1,011 (92) a |
| | 8 | 6 | 22 (73) b | 74 (80) a | 260 (79) c | 1,044 (95) a |
| | | | | 30 | 42 | 63 DAT |
| 1990 | 0 | 9 | | 145 (100) a | 373 (100) a | 780 (100) a |
| | 2 | 9 | | 107 (74) b | 331 (89) b | 777 (100) a |
| | 4 | 9 | | 119 (82) ab | 335 (90) b | 718 (92) a |
| | 8 | 9 | | 106 (73) b | 308 (83) b | 829 (106) a |
| | Spray 1 ⁴⁾ | 9 | | 144 (100) a ⁵⁾ | 377 (100) a | 764 (100) ab |
| | No spray | 18 | | 109 (76) b | 297 (79) b | 732 (96) b |

1) Days after transplanting.

2) Values followed by the same letters are not significantly different by TUKEY's Multiple Range Test ($p > 0.05$).

3) Values in parentheses indicate percentage of control or Spray 1.

4) Spray 1: Insecticide (etofenprox) sprayed on 3 and 9 July 1990. Spray 2: Insecticide sprayed on 9 July 1990.

5) Values followed by the same letters are not significantly different by SCHEFFE's Multiple Range Test ($p > 0.05$).

Table 4. Effects of infestations by adult females of *Sogatella furcifera* on leaf weight ratio (= leaf weight/total weight)

| Year | No. of adult females released | Replication (hill) | Leaf weight ratio | | | |
|------|-------------------------------|--------------------|-------------------|------|------|----------------------|
| | | | 22 | 28 | 42 | 78 DAT ¹⁾ |
| 1989 | 0 | 6 | 0.48 | 0.48 | 0.42 | 0.26 |
| | 1 | 6 | 0.48 | 0.47 | 0.42 | 0.27 |
| | 2 | 6 | 0.49 | 0.48 | 0.43 | 0.28 |
| | 4 | 6 | 0.50 | 0.48 | 0.43 | 0.26 |
| | 8 | 6 | 0.48 | 0.49 | 0.44 | 0.28 |
| 1990 | | | | 30 | 42 | 63 DAT |
| | 0 | 9 | | 0.51 | 0.45 | 0.37 |
| | 2 | 9 | | 0.50 | 0.48 | 0.37 |
| | 4 | 9 | | 0.50 | 0.49 | 0.36 |
| | 8 | 9 | | 0.50 | 0.47 | 0.37 |
| | Spray 1 ²⁾ | 9 | | 0.50 | 0.47 | 0.37 |
| | Spray 2 | 9 | | 0.51 | 0.48 | 0.37 |
| | No spray | 18 | | 0.52 | 0.50 | 0.36 |

1) Days after transplanting.

2) Spray 1: Insecticide (etofenprox) sprayed on 3 and 9 July 1990. Spray 2: Insecticide sprayed on 9 July 1990.

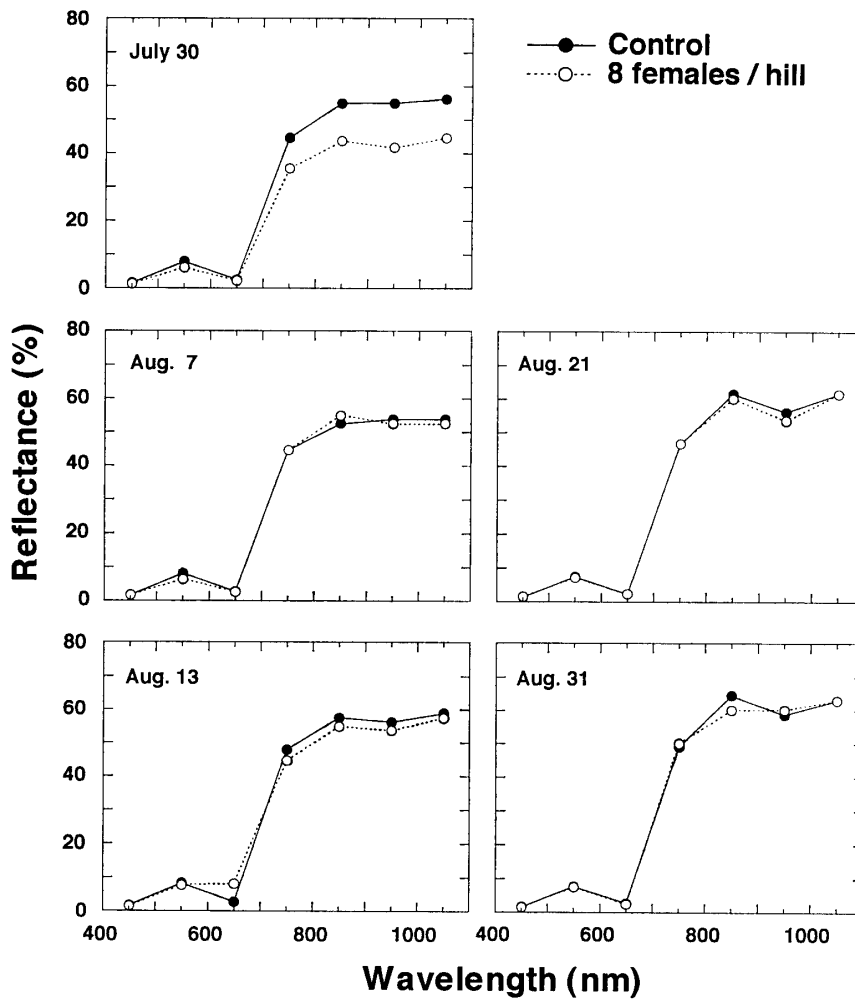


Fig. 3. Spectral reflectance of rice canopies measured by portable spectroradiometer in 1990.

YAMAMOTO and HONJO (1993) は、出穂までの LAI の推定には 950 nm と 550 nm の分光反射率の差 ($R_{950nm} - R_{550nm}$) が、また地上部乾物重の推定には 1,050 nm と 550 nm の分光反射率の差 ($R_{1050nm} - R_{550nm}$) の値が有効であると報告しており、回帰式も示している。彼らの回帰式にもとづいて計算した LAI の推定と実測値との相関係数は、移植後 42 日目が 0.607 ($d.f.=6, p>0.10$), 63 日目が -0.563 ($p>0.10$) を示した。乾物重の実測値と推定値との相関係数を計算したところ、移植後 42 日目が 0.862 ($p<0.05$), 63 日目が 0.523 ($p>0.10$) を示した。

考 察

九州北部の普通期水稻 (6 月下旬移植) では、活着から分けつ盛期がセジロウカ雌成虫の飛来盛期にあたる。この時期のセジロウカ雌成虫の産卵による葉鞘変色は肉眼で容易に確認できるため、被害程度の指標とされることが多いが、変色を起こしやすい品種ではセジロウカの卵の孵化率が低く、次世代の発生が抑えられている可能性が寒川 (1991) により指摘されている。渡邊・寒川 (1994) は、株当たり 10 頭程度の加害では、次世代以降の発生を抑えると出穂期頃までに無放飼区との間に分けつ数の有意差は認められなくなることを示しているが、今回の筆者らの調査では葉面積や乾物重の面からも、初期加害の影響は水稻生育とともに少なくなることが明らかとなった。

水稻の生育初期に加害するイネミズゾウムシやイネクビソハムシに関する被害解析は、東日本で行われた試験が多い (都築ら, 1983 a, b; 小山, 1978; 小嶋・江村, 1979 など)。それらの例では初期加害の収量への影響は、穂数の減少として現れることが多いが、被害区での有効茎歩合や一穂穂数の増加など、いわゆる補償作用が生じることも知られている (都築ら, 1983 a)。本試験では生育が進むにつれて、放飼区と無放飼区における葉面積や乾物重の差が小さくなることを示したが、このような被害の回復過程の要因については明らかにできなかった。

YAMAMOTO and HONJO (1993) は 750~1,050 nm の分光反射率と LAI および地上部乾物重との間に高い相関をみだしている。Table 2 および 3 に示したように、移植後 42 日目にみられた無放飼区と 8 頭区の生育の差は移植後 63 日目にはみられなくなった。このことから本試験における近赤外領域の分光反射率の差は、LAI や地上部乾物重の差を示していると考えられた。筆者らの

今回の調査では分光反射エネルギーの測定と同時に刈り取った例が少ないため、有効な回帰式を求めるために必要な広範囲の測定値が得られなかった。また移植後 63 日目で 42 日目に比べて相関係数が低い原因は、実測の LAI や乾物重が YAMAMOTO and HONJO (1993) が推定式を作成するのに用いた実測値の上限付近、すなわち LAI が 5~6、乾物重が 700~800 g/m² になっており、稲株の相互遮蔽により推定が困難になる範囲に達していたためと考えられた。

山本ら (1991) はハスモンヨトウに食害されたダイズおよびコブノメイガに食害された水稻について、個葉における食害面積を推定するために有効な波長を求めている。また病害に関しては、秋山ら (1987) が水田におけるいもち病感染株と健全株の分光反射特性を調査し、感染株を特徴付ける波長として 500 および 680 nm を得ている。ウンカ類のような吸汁性害虫は、食葉性害虫やいもち病のように作物の葉の表面に何らかの特徴的な被害を与えないため、筆者らの試験でもセジロウカの加害区を特徴付けるスペクトルを検出するに至らなかった。しかし、今回検討したセジロウカの産卵による水稻の初期生育の抑制は、葉面積や乾物重の変化として現れるため、分光反射特性を利用して検出することが可能であった。今後さらに多くの病害虫に対して分光反射特性の基礎データの蓄積が期待される。

摘 要

九州北部普通期水稻 (6 月下旬移植) において、セジロウカ雌成虫の産卵による水稻の葉鞘変色が、水稻の生育に及ぼす影響について調査した。1989, 1990 年に移植後 8, 14 日目の水稻に、雌成虫を 0~8 頭/株、7 日間放飼した。放飼期間終了後、薬剤を用いて残存成虫および次世代の発生を抑えた。1990 年には放飼区とは別に飛来成虫を防除した区と無防除区を設けた。

1) 放飼終了直後から最高分けつ期にかけて、放飼区では無放飼区にくらべて、また無防除区では防除区にくらべて生育が劣り、茎数、葉面積、乾物重とも低くなった。しかし、最高分けつ期以降、各区間の生育の差は小さくなり、出穂期頃には区間の差はみられなくなった。

2) 分光反射率の測定から、近赤外領域の反射率の変化は、LAI が 5 以下の範囲では、加害を受けた区の葉面積や乾物重の回復過程をよく表すことが明らかとなった。

引用文献

- AHERN, F.J. (1988) The effects of bark beetle stress on the foliar spectral reflectance of lodgepole pine. *Int. J. Remote Sensing* **9**: 1451—1468.
- 秋山 侃・芝山道郎・山形与志樹・加藤 肇 (1987) 圃場用分光センサによる作物の各種ストレスの検出 I. イネいもち病の病勢進展と分光反射スペクトルの経時変化. *日作紀* **56** (別 1): 190—191.
- 鎌田直人 (1990) 森林食葉性害虫の管理に対する衛星データの利用. *日本リモートセンシング学会誌* **10**: 397—403.
- 小嶋昭雄・江村一雄 (1979) イネクビホソハムシの要防除密度推定に関する研究 II 被害許容密度の推定. *応動昆* **23**: 1—10.
- 小山重郎 (1978) イネクビホソハムシの被害解析. *応動昆* **22**: 255—259.
- LECKIE, D.G., D.P. OSTAFF, P.M. TEILLET and G. FEDOSJEVS (1989) Spectral characteristics of tree components of balsam fir and spruce damaged by spruce budworm. *Forest Science* **35**: 582—600.
- SIBAYAMA, M. and T. AKIYAMA (1986a) A spectro radiometer for field use VI. Radiometric estimation for chlorophyll index of rice canopy. *Jpn. J. Crop Sci.* **55**: 433—438
- SIBAYAMA, M. and T. AKIYAMA (1986b) A spectro radiometer for field use VII. Radiometric estimation of nitrogen levels in field rice canopies. *Jpn. J. Crop Sci.* **55**: 439—445.
- SIBAYAMA, M. and K. MUNAKATA (1986) A spectro radio-
- meter for field use III. A comparison of some vegetation indices for predicting luxuriant paddy rice biomass. *Jpn. J. Crop Sci.* **55**: 47—52.
- 寒川一成 (1991) 日印交雑水稲にみられるセジロウンカに対する超感受性現象について. *九州農業研究* **53**: 92.
- 都築 仁・浅山 哲・大石一史・上林 譲 (1983a) イネミズゾウムシの被害解析 I. イネの生育ならびに収量に及ぼす成虫放飼密度の影響. *応動昆* **27**: 211—218.
- 都築 仁・浅山 哲・滝本雅章・下畑次夫・粥見惇一・小林荘一 (1983b) イネミズゾウムシの被害解析 II. 成虫および幼虫による被害と被害許容密度の推定. *応動昆* **27**: 252—260.
- 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稲の生育および収量に与える影響. *応動昆* **38**: 153—160.
- WILLIAMS, D.L., R.F. NELSON and C.L. DOTTAIO (1985) A georeferenced LANDSAT digital database for forest insect-damage assessment. *Int. J. Remote Sensing* **6**: 634—656.
- 矢島正晴 (1988) 水稲の生育診断・予測—その現状と今後の課題—. *農業および園芸* **63**: 1013—1018.
- 山本晴彦・寒川一成・渡邊朋也・樋口博也 (1991) 分光反射特性を用いた食葉性害虫による被害葉面積率の推定. *農業気象* **47**: 15—20.
- YAMAMOTO, H. and H. HONJO (1993) Evaluation of the leaf area index and the biomass of crop canopies by spectral reflectivity. *J. Agric. Met.* **48**: 871—874.