

長距離移動性稲ウンカ類の殺虫剤抵抗性

茨城大学農学部応用動物昆虫学研究室 ^{なが}永 ^た田 ^{とおる}徹

1999 年 9 月 3 日に、名古屋大学において文部省科学研究費による国際シンポジウム“Challenges to the Development of Insecticide Resistance”が宮田 正教授の主宰で開催された。海外から招待された 3 名のうち、中国科学院上海昆虫研究所の TANG 博士は、中国における殺虫剤抵抗性研究について、検定方法、酵素レベルでの抵抗性機構、分子遺伝学的研究および集団遺伝学的研究に分けて総括し、今後の研究方向として分子レベルでの解析が重要であることを強調した。タイからカセサート大学の SARNTHOY 博士が名古屋大学とカセサート大学の間で 1987～95 年に行われたコナガの殺虫剤抵抗性に関する共同研究の成果を中心に、モニタリング、室内淘汰試験、地理的変異、BT 剤の交差抵抗性および抵抗性対策を総括した。台湾農業研究所の CHENG 博士は台湾でのコナガの殺虫剤抵抗性問題の近況を総括し、これまでに台湾で登録された 48 種類のコナガ用殺虫剤のうち、最近の薬剤、とりわけアバメクチンあるいは BT 剤などにおける抵抗性問題を紹介した。

日本側は、河野 哲博士（兵庫農試）が兵庫県におけるキャベツのコナガの被害、殺虫剤抵抗性、経済的被害許容水準の設定および被覆資材を用いる防除法の有効性を報告した。本山直樹教授（千葉大学）は、有機リン剤抵抗性イエバエの解毒酵素、グルタチオン-S-トランスフェラーゼについて、酵素活性と抵抗性および性発現機構との関連性、さらに関連遺伝子の染色体上での動向を解説した。河野義明教授（筑波大学）は、殺虫剤抵抗性機構を担うアセチルコリンエステラーゼについて、高度の有機リン剤およびカーバメート剤抵抗性をもつコガタアカイエカにおけるこの酵素の変異を、阻害剤の構造との関係、アミノ酸配列での変異について解説した。

筆者は、我が国およびアジア諸国における 1960 年代以降の長距離移動性稲ウンカ類の殺虫剤抵抗性の変動状況について報告した。本稿は、1999 年 5 月に韓国水原市、農村振興庁農業科学研究所で開催された FAO/RDA 共催ワークショップ Intercountry Forecasting System and Management for Brown Planthopper in

East Asia での報告内容をこれに加えたものである。

は じ め に

トビイロウンカ、セジロウンカの長距離移動が明らかにされたからには、これら海外飛来性稲ウンカの殺虫剤抵抗性問題に対しては常にその移動圏全体を概観した考察と対策が求められる。我が国でもかつては高い関心が払われた問題であるが、1984 年以降卓効を有するブプロフェジンが上梓され、さらにその後ウンカ類に対して残効性の高い育苗箱施用剤があいついで開発されて十分な防除効果を発揮しているため、その関心は低下している。そのせいもあって、1960 年代以降いずれかの機関において常時実施されてきた抵抗性モニタリングも、1990 年代にいたって中断が相次ぎ、今後はデータの空白状態が憂慮される状況にある。

しかし、その間にあっても飛来するウンカの諸形質が年々大きく変化していることは、1987 年ごろからそのバイオタイプが bph 1 から bph 2 に変化していることにも反映されている。殺虫剤抵抗性についても、飛来源と見られる中国、ベトナムでは依然として従来型の殺虫剤も多用されており、また、熱帯アジアでは耐虫性品種の利用が奨励されているものの、薬剤防除も盛んに続けられていることから、これら広い移動圏を持つ稲ウンカ類の薬剤感受性の変化を常に監視していく必要がある。

I 日本における殺虫剤感受性の変動

1 トビイロウンカ

水田害虫の防除に有機合成農薬が普及してまもなく、ニカメイチュウ、ツマグロヨコバイおよびヒメトビウンカなどで殺虫剤抵抗性問題が出現してその対策に忙殺された。しかし、当時としてはその理由は不明のまま、トビイロウンカとセジロウンカについては薬剤抵抗性問題が長期間表面化することなく薬剤防除が実施されてきた。

このような状況に対して、将来的には薬剤抵抗性の発達も考慮すべきであるとの観点で、1967 年にウンカ類を対象とした微量局所施用法が開発された後、薬剤抵抗性の経時的変動のモニタリングが広く行われるようになった（福田・永田, 1969）。

筆者らは、折から問題となったトビイロウンカの

Insecticide Resistance of the Long-Range Migrating Rice Planthoppers. By Toru NAGATA

(キーワード：トビイロウンカ、セジロウンカ、殺虫剤抵抗性、モニタリング)

BHCに対する感受性低下問題に取り組み、ここで確認された特異な季節的変動は、淘汰虫の冬季における死滅と飛来虫による集団の更新であると解釈し、折しも気象庁観測船によるウンカ群の発見以後補強されたこれら稲ウンカの海外飛来説を裏付けた(永田・守谷, 1974)。飛来虫の定着後の条件によっては、BHCのように急速な感受性変動を示すことがある以上は、感受性の年次変動は飛来虫相互の比較によるべきであるとの見地で実施した飛来虫のモニタリングの結果、1976年に有機リン剤での抵抗性発達(NAGATA et al., 1979), 1979年にはカーバメート剤での抵抗性発達を確認した(KILIN et al., 1981)。

飛来量が少ない地域でのモニタリングでは、定着後増殖した世代を検定する例も多い。広島県で行われたモニタリングは、1970年から91年までの22年間にわたり毎年続けられた貴重な資料である(細田, 1983)。この中でも1979年に同様に明らかな感受性低下を認めており、以後しばらくは横ばいの状態が続くが、1984, 85年に最高のピークに達して、その後は1980年代初期のレベルで推移したことを示している(図-1)。このように1967年を起点として全体の傾向を概観すれば、この30年間に薬剤感受性は明らかに低下している。そのなかであってとりわけ特徴的な変化は、供試5薬剤に共通して見られた1984, 85年の顕著なピークである。

このピークは、HIRAI (1993) が同じく広島県で1980~91年に実施したモニタリングでも確認している。

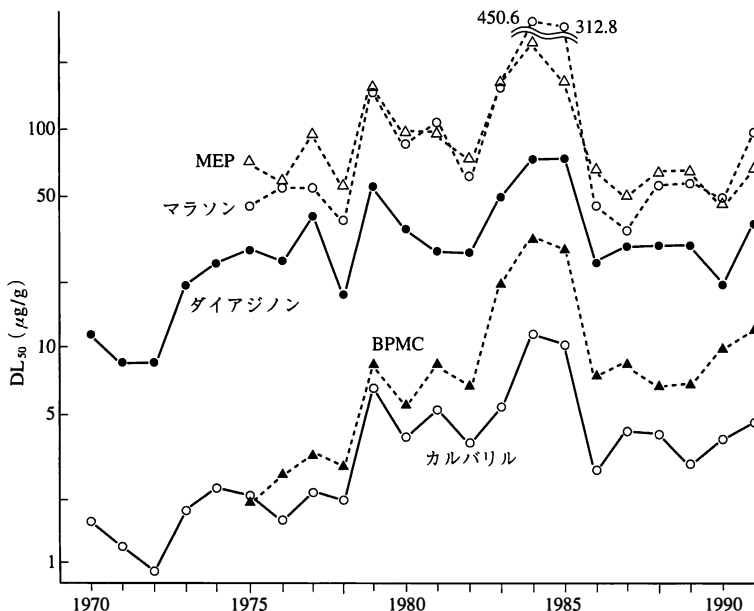


図-1 日本でのトビイロウンカ薬剤感受性の年次変動(細田: 1983に補足)

これらのほか複数の研究機関で行われた検定結果をも併せて概観すると、過去30年間の感受性レベルの推移は、おおよそ次の4時期に大別されるであろう。

- ① 1967~79年にかけての感受性の緩やかな低下
- ② 1980~83年の横ばい状態
- ③ 1984~85年の急激な感受性低下とこれまでの最高のピーク
- ④ 1986年以降の感受性の回復と、②のレベルでの横ばい状態

これらの変動の原因を、中国での殺虫剤使用の変化から推測すれば、1970年代後半から急増し、1979年には500万haに達したハイブリッド品種上でのセジロウンカ、コブノメイガなどの多発に対応した殺虫剤使用量の増大が、まず感受性の低下を引き起こしたと考えられる。1979年以降ハイブリッド品種の普及はいったん停滞したのち、1983, 84年には柱頭露出品種の利用で改良され一挙に1,000万haに達し、これに対してさらに頻繁な薬剤防除が行われて、③で見られた感受性のピークが出現したのであろう。また、このピークには殺虫剤の種類の変化も関係している可能性がある。すなわち、中国では水田でも広く使われたBHCが1983年に生産中止となり、代替薬剤としてメタミドフォスを主体に殺虫剤輸入量が急増した。1983, 84年の輸入は6万トンとそれまでの4倍に一挙に増えている。一方、1986年以降の回復の原因については、耐虫性品種の普及との関係が考えられる。中国でのトビイロウンカ耐虫性品種の普及は、浙江省の場合IR 26, 28,

34などから遺伝子を導入したトビイロウンカ耐虫性品種の普及が1989年以降に始まり、1991年には80%まで拡大した(Cheng, 1999)。さらに中国でも、1990年代からはプロフェジン、さらにはイミダクロプリドも普及し、従来からの有機リン剤、カーバメート剤に置き換わったことも、これら従来型殺虫剤に対する最近の感受性回復の原因と考えられる。一方、1992年以降については、複数の機関から独立に得られたデータを概括すると、今日まで目立った感受性の変化がない状態で推移している。

同じ水田害虫のなかでも、数年にして数百倍に及ぶ抵抗性発達をもたらす定住性の害虫に比べればトビイ

ロウンカの殺虫剤抵抗性の発達速度は緩慢である。これまでに野外で観察された上限以上に抵抗性レベルが上昇する可能性の有無については、室内淘汰試験の結果が参考になる。使用した集団の遺伝的構成によって淘汰試験の結果も異なってくるが、淘汰の効果が顕著に現れた韓国での例としては、BPMCあるいはカルボフランで30世代の淘汰を行い、BPMCでは LD_{50} :155.1 $\mu\text{g/g}$ 、カルボフランでは20.3 $\mu\text{g/g}$ という極めて低感受性の系統の作出に成功しており(Yoo et al., 投稿中)、条件次第では、本種がこのようなレベルまで抵抗性発達を遂げる可能性をもつことを考慮する必要がある。

2 セジロウンカ

セジロウンカの殺虫剤感受性は、1967, 76, 80年までの検定では、ほとんど変化が見られなかった点が、トビロウンカと異なっている(図-2)。しかし、1987年のモニタリングで初めて顕著な感受性低下が認められた(ENDO et al., 1988)。それは1967年を基準値として有機リン剤では70倍、カーバメート剤でも10倍にも達する顕著なものであった。その後、細田(1989)はこの感受性低下がすでに1985年に生じていたことを報告し、さらに平井(1994)はこの変化を1984年に確認したことを報告した。しかし、残念なことは1981~83年のデータがいずれの機関からも出されていないことである。この欠落がなければ、1984, 85年に極めて特徴のある変化を示したトビロウンカの感受性変動との対比ができる。すなわち、トビロウンカでは1982年までの横ばい状態が1983年から上昇に転じ、1984, 85年にピークが出現し、そのあとまた下降に転じているが、このセジロウンカの感受性低下の開始時期がトビロウンカと同時にあったか否かは極めて興味深い問題である。さらにこれら2種の対比で興味が持たれるのは、1986年以降トビロウンカでは感受性レベルが回復しているのに対し、セジロウンカでは全くその傾向は見られないという対照的な相違である。

II アジア諸国における感受性変動の動向

アジア地域では、これら2種の殺虫剤抵抗性についてのモニタリングは、日本ほど組織的に行われていない。しかし、中国、台湾、韓国にはかなりのデータが蓄積されているほか、ウンカを現地から輸入して日本で検定したデータもあり、これら全体を概観してみたい(図-3, 4)。

中国: アジア諸国のなかで最も組織的なモニタリングを実施してきた。まず、南京農業大学のGAO et al. (1987)は、図-5に示した金属製毛細管を利用した簡易

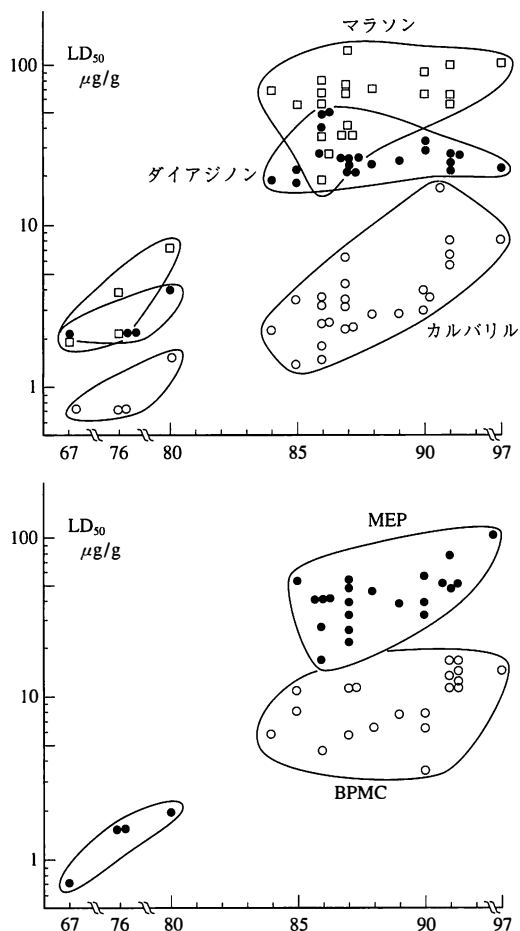
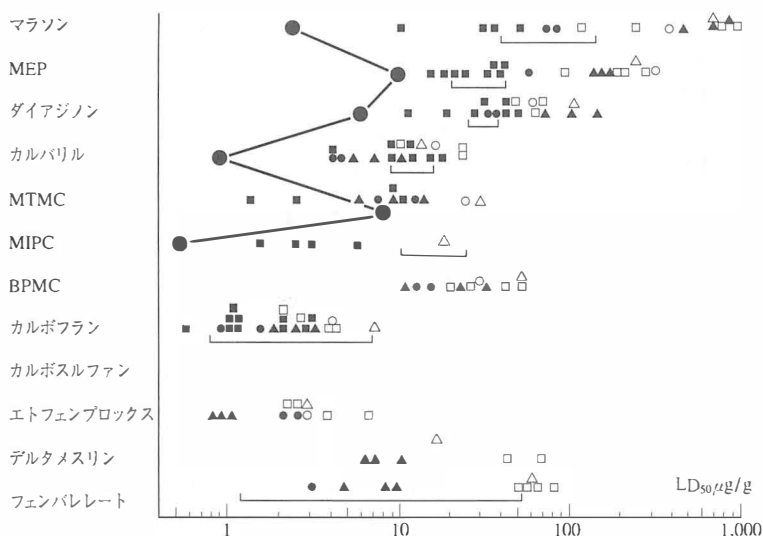


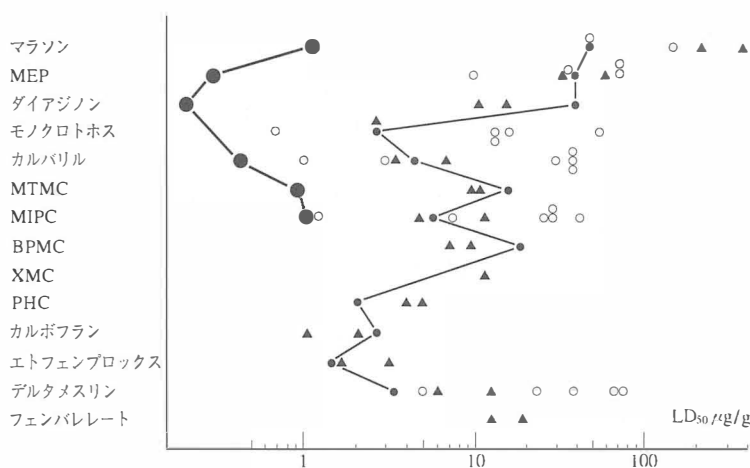
図-2 日本でのセジロウンカ薬剤感受性の年次変動

な局所施用器具を考案して、1985~86年に広西省 Nanning, 福建省 Fuqing, 江蘇省 Yangzhou で18種の薬剤に対するトビロウンカの感受性を調査し、日本で得られたデータ(福田・永田, 1969)と比較して両種とも大幅な感受性低下を認めている。また1987年には湖南省 Chengzhou でこれら2種ウンカの11種の薬剤に対する感受性を調査しており、ここではセジロウンカで同様な比較により感受性低下を確認している(CAO et al., 1987)。

これらの調査はさらに拡大され、農業部直属の抵抗性モニタリング国家訓練センターが付置された南京農業大学で1986年から国家プロジェクトとしてモニタリングが継続された。WANG et al. (1996a)は、トビロウンカについて13種の薬剤に対するモニタリングを1988~95年に安徽省 Anqing 市で継続し、この期間に感受性の回復傾向が見られるとしている。しかし、このモニタリングも日本で特異な感受性ピークが検出された

図-3 アジア諸国のトビイロウンカの局所施用 LD_{50} 値

●：タイ (1977), ■：ベトナム (1987~90), □：ベトナム (1992), △：タイ (1992), ▲：マレーシア (1989~90), ▴：中国 (1988~95, データ多数につき範囲で示す), ●：日本 (1989), ○：日本 (1992).

図-4 アジア諸国のセジロウンカの局所施用 LD_{50} 値

●：タイ (1977), ▲：マレーシア (1989~90) ○：中国 (1987~94), ●：日本 (1989).

1984, 85 年以後に開始されていることが惜しまれる。

WANG et al. (1996 b) は、さらに広西省 Nanning, 湖南省 Chenzhou, 安徽省 Anqing, 江蘇省 Yangzhou の 4 地点で 1987~95 年に 11 薬剤について地域的差異の比較を行い、南部よりも北部で若干感受性が低い傾向を認めた。WANG et al. (1996 c) は、さらに 12 種の薬剤に対する感受性検定を 3 地点で、セジロウンカについて 1987~89, 92 および 94 年、トビイロウンカについて 1992, 94, 95 年に 4 地点で 9 薬剤について検定している。セジロウンカの結果は、平均的に見ればほぼ 1989 年の日本のデータ (遠藤, 投稿中) と同じ水準であるが、7 年間という短い期間にしては LD_{50} の変動範囲が大きいことが注目される。すなわち、モノクロトホスでは約 80 倍、カルバリルおよび MIPC では約 40 倍の最大値/最小値の範囲にデータが分布している。一方、浙江省 Hangzhou の中国稲研究所でも MAO and LIANG (1992) が FAO/IRRI の標準法に従って局所施用法で検定を行い、1987~91 年に浙江省でトビイロウンカに対して 13 薬剤、1987~90 年にセジロウンカの 11 薬剤に対する感受性を検定しており、いずれも 1989 年の日本の数値と近似した結果を得ている。

台湾：熱帯アジアにも近く、ウンカの移動について特異な位置にある

台湾では、ウンカの薬剤抵抗性について早くから関心をもち、1975 年からトビイロウンカの感受性検定を開始している (Ku, 1979) さらに Ku et al. (1977) は、1976~84 年にかけて 14 種の薬剤に対してモニタリングを継続し、この期間ににだいに感受性が低下する傾向を認めている。しかし、いずれの検定もドライフィルム法で行われたために比較が限定される。LIN et al. (1979) が 1977~78 年に行った MIPC, MTMC の感受性調査モニタリングもスプレー法が用いられており、地域間差異の検出に主眼が置かれている。

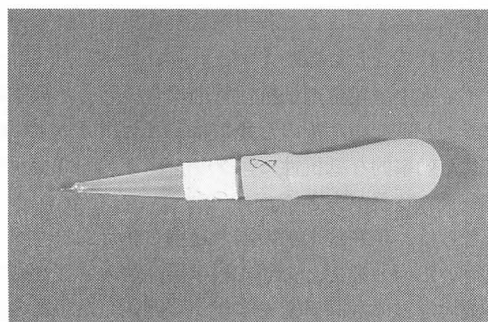


図-5 中国で考案された金属毛細管を用いた局所施用器具

韓国：1982～87 年にかけて 25 地点でトビイロウンカのダイアジノン、BPMC、カルボフランに対する感受性を局所施用法で検定したが (Yoo et al., 投稿中)、我が国で特異なピークが検出された 1984, 85 年にとりわけ顕著な変化を示したマラソンと MEP が調査されておらず、比較できなかった点が惜しまれる。

ベトナム：北部ベトナムは我が国への飛来源として関心が高い地域であるが、1981 年に開始された FAO プロジェクトでトビイロウンカの殺虫剤抵抗性が取り上げられ、筆者が FAO 専門家として 1986, 87 年にかけて参加した経緯がある。ここで得られた 1987～90 年のトビイロウンカのデータでは、この期間に徐々に感受性が低下する傾向が見られ、それらは同時期の日本のデータよりも若干感受性が高い傾向がうかがわれる。さらに 1992 年に日本へ輸入したトビイロウンカの 4 集団 (ハノイ、ハイフン、チエンジアン、ハウジアン) の 12 薬剤に対する検定も行われているが、同年次の日本のデータとほぼ同水準であった (遠藤, 投稿中)。

そのほかの熱帯アジア：最も初期のデータは 1977 年にタイとフィリピンから輸入したトビイロウンカとセジロウンカで行われたものである。全般に同時期の日本での数値に比べて感受性が高く、とりわけ DDT に対する感受性が高かった (NAGATA and MASUDA, 1980)。その後、フィリピンでは IRRI の持田博士が中心となって、1984 年に FAO/IRRI Workshop on Monitoring Susceptibility Levels of Rice Pests to Insecticides が開催され、ウンカ類の殺虫剤抵抗性の標準検定法として局所施用法を採用した。これに基づき IRRI でも 1983～86 年に局所施用法でフィリピン各地のトビイロウンカの検定が頻繁に行われている (MOCHIDA and FABELLAR, 1983～86)。このうち日本のデータと対比できる薬剤として、マラソン、ダイアジノン、BPMC の数値を比較してみると、いずれも LD_{50} は日本の 1/5～1/10 であり、これらフィリピンの集団は、当時我が国に飛来したものとまったく異なることは明らかである。

タイでは自国での検定は活発ではないが、1992 年に輸入したもので日本で行った検定では、前述の 1977 年の数値に比べて大幅な感受性低下が認められた (遠藤, 投稿中)。マレーシアについては、1989～90 年に 3 地点よりトビイロウンカとセジロウンカを輸入して 12 種の薬剤に対する検定が初めて行われた。トビイロウンカでは有機リン剤感受性が日本のものより低く、セジロウンカではほぼ日本と同じであったが、マラソンには極めて感受性が低かった (遠藤, 投稿中)。インドネシアでは 1977 年にカルバリルとダイアジノンでの検定がトビイ

ロウンカで行われ、ほぼ日本と同レベルであった (KILIN, 未発表)。しかし、1988 年に輸入したボゴールの 2 種ウンカは、p, p'-DDT, リンデンを除いて同年の日本のものと同等ないし若干感受性が低く、抵抗性発達の傾向が認められた (遠藤ら, 1989)。

お わ り に

これら稲ウンカ類の長距離移動の全体像はいまでも完全には解明されていない。日本への主な飛来源は中国南部ないし北部ベトナムとしても、そこへはさらに熱帯アジアからの移動が関与していると見られ、この広い移動圏はすべて程度の差こそあれ、殺虫剤抵抗性に関してもリンクしていると見るべきであろう。我が国への飛来虫で見られる感受性変動と中国での農薬使用との密接な関連性は、1980 年代における変動の解析からも明らかであることは既述のとおりである。

熱帯アジアのウンカの殺虫剤感受性に関するデータはまだ少ない。1970 年代には日本で得られるデータよりも全般に感受性が高い傾向があったが、この状況は現在一変している。すなわち、日本、中国のみならず、熱帯アジアでもこの 30 年間に明らかな感受性の低下が生じており、なかにはマレーシアのウンカ類で見られたように極めて低感受性の集団が熱帯アジアにも出現している。したがって、かつて考えられたように、中国での殺虫剤使用による淘汰圧が抵抗性発達の方向に作用するが、熱帯アジアから高感受性の集団が流入することでそれが希釈される、という考えはもはや通用しない。アジアのイネ栽培においても耐虫性品種、生物防除などを軸とした総合防除 (IPM) の推進が長く叫ばれてきたが、現実には殺虫剤の比重は依然として高い。また、これらの国でも日本と同様に米は量から質への転換が求められ、ウンカ感受性品種であっても市場価値の高い高品質品種を殺虫剤使用を前提に栽培する傾向が拡大する動きもある。また、地球温暖化にしてもこれらウンカの越冬圏を拡大する可能性も考えられ、薬剤淘汰を受けた集団の生存率が高まることで殺虫剤抵抗性集団がより速やかに形成されることもありえよう。したがって、これら移動性イネ害虫の殺虫剤抵抗性管理は今後ともその重要性を失うことはない。そのためには、これまで以上に組織化された効率的な抵抗性モニタリングを国際間で平行的に継続する意義が大きい。

筆者らは、現在飛来源の国と連携し並行的モニタリングを行いたいと考え、文部省科学研究費の支援を得て南京農業大学との共同研究を本年から開始した。このなかでは、ウンカの移動経路に沿った 3 地点 (広西省

Nanning, 安徽省 Anqing, 江蘇省 Dantai) でこれら 2 種ウンカについて局所施用法による統一検定を継続的に実施することとしている。日本側は鹿児島農試が飛来虫の検定を担当し、両国間での比較を行う予定である。

近年は、殺虫剤抵抗性研究においても、分子生物学的アプローチによる研究が盛んに行われているが、野外での防除効果そのものの直接の反映であるこれら従来手法による感受性検定も実用的な意義を当分失わないであろうし、いずれかの機関で継続されるべきである。現在トビイロウンカの被害は IGR など新型の卓効薬剤によって十分に抑えられているために、表面化していない。しかし、トビイロウンカが今年は小発生とされた中国においても、モニタリングのために安徽省 Anqing に試験用に設けた 10 a の無防除水田が全滅している光景を見て、その潜在的脅威は依然として大きいものであることを実感した。現在これらの 2 種の飛来源と考えられているベトナム北部の紅河流域あるいは華南に広がる広漠たる水田地帯を見たとき、広大な移動圏をもつこれらウンカ類がどこでいかなる影響を受けその性質が変化するかを単純に予測できない。やはり着実なモニタリングを通してしか実態に迫ることはできないであろう。

引用文献

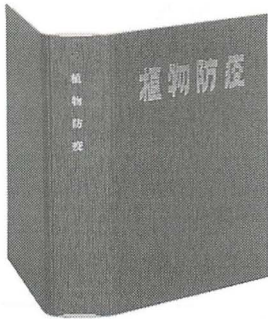
- 1) CAO, C. G. et al. (1987): J. Nanjing Agr. Univ. 4 (Suppl.): 135~138.
- 2) CHENG, J. A. (1999): Proc. Intercountry Forecasting System and Management for Brown Planthopper in East Asia, RDA/FAO, pp. 3~14.
- 3) ENDO, S. et al. (1988): Appl. Ent. Zool. 23: 417~421.
- 4) 遠藤正造ら (1989): 九州病中研報 35: 72~75.
- 5) 福田秀夫・永田 徹 (1969): 応動昆 13: 142~149.
- 6) GAO, H. H. et al. (1987): J. Nanjing. Agr. Univ. 4 (Suppl.): 65~72.
- 7) HIRAI, K. (1993): Appl. Ent. Zool. 28: 339~346.
- 8) ——— (1994): J. Pesticide. Sci. 19: 229~232.
- 9) 細田秋男 (1983): 応動昆 27: 55~62.
- 10) KILIN et al. (1981): Appl. Ent. Zool. 16: 1~6.
- 11) KU, T. Y. (1977): Taiwan Agricultural Quarterly 13(3): 9~18.
- 12) ——— (1979): Sensible Use of Pesticides, FFTC, pp. 49~75.
- 13) LIN, Y. H. (1979): Entomological Society of America 72(6): 901~903.
- 14) MAO, L. X. and T. X. LIANG (1992): Chinese Journal of Rice Science 6(2): 70~76.
- 15) MOCHIDA, O. and L. T. FABELLAR (1983): Insecticide Evaluation for 1983, IRRI, pp. 55.
- 16) ——— (1984): Insecticide Evaluation for 1984, IRRI, pp. 137~143.
- 17) ——— (1985): Insecticide Evaluation for 1985, IRRI, pp. 74~76.
- 18) ——— (1986): Insecticide Evaluation for 1986, IRRI, pp. 123~129.
- 19) 永田 徹・守谷茂雄 (1974): 応動昆 18: 73~80.
- 20) NAGATA, T. et al. (1979): Appl. Ent. Zool. 14: 264~269.
- 21) ——— and T. MASUDA (1980): Appl. Ent. Zool. 14: 264~269.
- 22) WANG, Y. C. et al. (1996 a): J. Nanjing. Agr. Univ. 19 (Suppl.): 1~8.
- 23) ——— et al. (1996 b): ibid: 9~15.
- 24) ——— et al. (1996 c): ibid: 16~21.

人事消息

ノバルティス及びアストラゼネカ両社は、農薬及び種子ビジネス専門会社シンジェンタ (Syngenta) の創設を発表した。シンジェンタ社はノバルティス及びアストラゼネカ両社の農薬・種子部門を分離した後合併させて新発足する。同社は世界初のアグリビジネス専門企業となり、農薬マーケットで世界 1 位、種子マーケ

ットでは同第 3 位となり、1998 年の両社の売上総額は 79 億ドル (農薬 69 億ドル、種子 10 億ドル) となる。スケジュール的には、合併に必要な、株主と監督省庁の承認がすべて取得されて合併が完了する。ノバルティスの株主総会は 2000 年 4 月 12 日に、アストラゼネカの株主総会は 2000 年 5 月 26 日に開催される。この一連の作業の完了は 2000 年下半年になると予想される。

便利にご利用いただけます。『植物防疫』専用合本ファイル



本誌 1 年分 (12 冊) が簡単に製本できます。

〈本誌名金文字〉

定価 733 円 (本体 699 円 + 税)

送料 390 円

- 書棚を飾る美しい外観
- 冊誌を傷めず保存ができる
- 取り外しが簡単に行える
- ビニールクロスで長期保存ができる

ご希望の方は、現金・郵便振替で直接本会へお申し込み下さい