

原著論文

奈良県のイチゴにおけるナミハダニ黄緑型の薬剤感受性と抵抗性リスク解析について

山口貴大・井村岳男・今村剛士*

Toxicities of Some Insecticides and Resistance Risk Analysis of Two-spotted Spider Mite on Strawberry in Nara

Takahiro YAMAGUCHI, Takeo IMURA and Tsuyoshi IMAMURA

Summary

We analyzed risks of two-spotted spider mites that had developed high insecticide resistance on strawberry in Nara, Japan. Our study produced two important results. First, bifenthrin and acequinocyl were effective against two-spotted spider mites. By contrast, cyenopyrafen, cyflumetofen, pyflubumide, and pyflubumide + fenpyroximate were ineffective. Second, the types of effective low-risk insecticides have decreased. Those results indicate that control of two-spotted spider mites with chemical insecticides is difficult. We suggest that two-spotted spider mite management should be changed from chemical control to biological and physical control.

Key Words: biological control, insecticide resistance, strawberry, two-spotted spider mite

緒言

イチゴは奈良県農業において、リーディング品目に位置づけられている主要な品目で、主な作型は促成栽培である。本県のイチゴ栽培ではナミハダニ黄緑型 *Tetranychus urticae* Koch.(以下、ナミハダニ) による被害が多く、問題となっている。ナミハダニは寄主範囲が極めて広く、果樹、野菜、花きにおける重要害虫となっている。本種は世代サイクルが短く、化学農薬に対する薬剤感受性が低下しやすい(高藤, 1998)。このため、全国で本種の薬剤感受性の低下が報告されており(例えば、春山・松本, 2013; 今村・國本, 2016; 関根・鈴木, 2016; 柳田ら, 2013), 化学農薬による防除が難しくなっている。

2014年より農林水産省委託プロジェクト「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」が実施された。このプロジェクトにおいてナミハダニを含めた6種の害虫について薬剤抵抗性遺伝子の診断技術が開発され、「薬剤抵抗性のレベルに応じた適切な防除体系を構築するための薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案」(以下、ガイドライン案)が作成・公開された(農研機構, 2019)。このガイド

ライン案では、抵抗性発達状況を判断するために、3段階のリスクレベルを設定し、薬剤ごとの使用の可否や農薬代替技術導入の判断基準を提案している。

そこで、本研究では、2018年に調査した奈良県内のイチゴで発生するナミハダニの薬剤感受性の現状をまとめ、さらに、その結果と2014~2015年の薬剤感受性検定結果(今村・國本, 2016)により、上記ガイドライン案に従ったリスク解析を行ったので報告する。

材料および方法

1. 薬剤感受性

2018年4月~11月(以下、2018年)に、第1表に示す県内のイチゴを栽培する13圃場からナミハダニを採集し、薬剤感受性検定を行った。検定に用いた8剤は、いずれも栽培現場で頻繁に使用される薬剤である。検定法は國本ら(2017)の方法に準じた。各イチゴ圃場から採集した雌成虫約20頭を、インゲン(品種:長鶏菜豆)リーフディスクに接種し、常用濃度に希釈した薬剤を散布した。その後25°C16L8Dの恒温

*現奈良県市町村振興課

この研究の一部は農林水産省委託研究プロジェクト「ゲノム情報等を活用した農産物の次世代生産基盤技術の開発」のうち「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発 (PRM05)」により実施した。

室内で飼育して 48 時間後に生死を判定した。生死の判定は、実体顕微鏡下において小筆で雌成虫に触れて、正常個体と同様の動きのものを生虫、動かないものや異常行動を示したものを死虫と判定した。処理は各薬剤とも 3 反復とした。また、水道水処理を対照として、補正死亡率 (Abbott, 1925) を算出した。

2. リスク解析

1) 薬剤ごとのリスクレベル解析

上述の薬剤感受性検定の結果、および 2014 年 3 月～2015 年 3 月の期間 (以下、2014 年) と 2015 年 4 月～2016 年 3 月の期間 (以下、2015 年) に本県で実施した薬剤感受性検定の結果 (今村・國本, 2016) を用いて、各薬剤の抵抗性リスクレベルをガイドライン案 (農研機構, 2019) に従って圃場ごとに判定した。そして、薬剤ごとにそれぞれのリスクレベルに判定された圃場数の割合を年ごとに算出し、リスクレベルの程度を薬剤間および年間で比較した。

なお、各薬剤の抵抗性リスクレベルは補正死虫率によって判定し、補正死虫率 100% はリスクレベル 1、補正死虫率 95% 以上 100% 未満はリスクレベル 2、補正死虫率 95% 未満はリスクレベル 3 とした。

2) 年間のリスクレベルの推移

上述の抵抗性リスクレベル判定において、リスクレベル 1 と判定された薬剤を含む薬剤系統数 (以

下、リスクレベル 1 の薬剤系統数) を圃場ごとに算出し、リスクレベル 1 の薬剤系統数が 0 であった圃場数、1 つの圃場数、2 つの圃場数、および 3 つの圃場数の割合を年ごとに算出した。そして、リスクレベル 1 に含まれる薬剤系統数の変化を年間で比較した。

なお、ここで言う薬剤系統とは作用機作に基づく分類であり、今回用いた薬剤について、ピフェナゼートとアセキノシルはミトコンドリア電子伝達系複合体III阻害剤 (以下、METI-III)、エマメクチン安息香酸塩とミルベメクチンはマクロライド系剤 (以下、マクロライド系)、シエノピラフェン、およびピフルブミドはミトコンドリア電子伝達系複合体II阻害剤 (以下、METI-II) の 3 系統に類別した。また、ピフルブミド + フェンピロキシメートは METI-II とミトコンドリア電子伝達系複合体I阻害剤の混合剤であるが、過去の薬剤感受性検定の結果から防除効果に寄与している成分はピフルブミドであると考えたため、METI-II に分類した。

結果

1. 薬剤感受性

第 1 表に薬剤感受性検定の結果を示した。ピフェナゼートは全ての個体群で補正死虫率が 100% と効

第 1 表 奈良県のイチゴで採集したナミハダニの薬剤感受性検定結果 (2018年)

Table 1. Insecticide susceptibility of two-spotted spider mite from strawberry in Nara Prefecture in 2018

| 採集日 | 採集地 | 供試薬剤 | | | | | | | |
|---------|-------|------------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|
| | | METI-III | | マクロライド系 | | METI-II | | | |
| | | ピフェナゼート フロアブル | アセキノシル フロアブル | エマメクチン 安息香酸塩 乳剤 | ミルベメクチン 乳剤 | シエノピラ フェン フロアブル | シフルメト フェン フロアブル | ピフルブミド + フェンピロキ シメート フロアブル | ピフルブミド フロアブル |
| ×1000 | ×1000 | ×2000 | ×1000 | ×2000 | ×1000 | ×2000 | ×3000 | | |
| 4月 25日 | 平群町1 | 100 | 58.6 | 32.5 | 30.7 | 10.7 | 0.2 | 15.9 | - |
| 5月 17日 | 桜井市1 | 100 | 100 | 100 | 95.5 | 30.4 | 13.6 | 7.8 | - |
| 7月 23日 | 平群町2 | 100 | 100 | 13.6 | 44.8 | 7.1 | - | 7.8 | - |
| 8月 13日 | 明日香村1 | 100 | 100 | 98.2 | 100 | 1.5 | - | 47.8 | 50.8 |
| 8月 13日 | 明日香村2 | 100 | 100 | 100 | 93.2 | 7.3 | - | 40.0 | 18.9 |
| 8月 13日 | 橿原市1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 76.2 | 20.6 | 41.5 | 56.1 |
| 8月 13日 | 橿原市2 | 100 | 100 | 92.9 | 85.2 | 16.0 | 37.1 | 77.8 | 40.3 |
| 8月 13日 | 大和高田市 | 100 | 72.7 | 77.2 | 66.9 | 98.4 | - | 100 | 100 |
| 8月 13日 | 天理市 | 100 | 100 | 95.2 | 87.8 | 81.4 | - | 78.1 | 91.4 |
| 8月 23日 | 桜井市2 | 100 | 98.2 | 98.6 | 55.4 | 84.2 | 94.4 | 100 | - |
| 9月 14日 | 桜井市3 | 100 | 100 | 100 | 98.2 | 8.6 | - | 30.1 | 17.9 |
| 10月 17日 | 橿原市3 | 100 | 100 | 100 | 55.4 | 22.2 | - | 32.8 | 13.9 |
| 11月 15日 | 橿原市4 | 100 | 100 | 100 | 72.1 | 16.0 | - | 66.7 | 40.0 |

* データは 48 時間後の補正死虫率 (%) を表す

果が高かった。また、アセキノシルも 13 圃場中 11 圃場で補正死虫率が 98%以上と総じて効果が高かった。これに対し、エマメクチン安息香酸塩とミルベメクチンは複数の圃場で補正死虫率 100%となったが、その圃場数はアセキノシルよりも少なかった。また、補正死虫率 95%以下の圃場もエマメクチン安息香酸塩で 4 カ所、ミルベメクチンで 9 カ所認められた。一方、補正死虫率が 20%以下の圃場は、エマメクチン安息香酸塩における 1 カ所しかなかった。シエノピラフェン、ピフルブミド+フェンピロキシメートおよびピフルブミドは補正死虫率 100%の圃場数はピフルブミド+フェンピロキシメートの 2 カ所とピフルブミドで 1 カ所認められた。また、補正死虫率が 20%以下の圃場はシエノピラフェンで 7 カ所、ピフルブミド+フェンピロキシメートで 3 カ所、ピフルブミドで 3 カ所確認された。シフルメトフェンは検定圃場数が他より少ないが、ほとんどの圃場で補正死虫率が 40%以下と低かった。

を、薬剤感受性検定を実施した年ごとに示した。ビフェナゼートは、2014 年はリスクレベル 1 の割合が 16%程度と低い一方で、リスクレベル 3 の割合が 60%を超えていた。しかし、2015 年にはリスクレベル 1 の割合が 50%となり、2018 年には全ての圃場でリスクレベルが 1 と判定された。アセキノシルも 2014 年と比較すると 2018 年はリスクレベル 1 の圃場の割合が 5%から 77%程度に増加した。エマメクチン安息香酸塩は 2014 年と 2015 年のリスクレベル 1 の圃場の割合はいずれの年も 20%以下と低かったが、2018 年にはリスクレベル 1 の圃場の割合が 46%程度に増加した。一方で、ミルベメクチンは 2014 年にリスクレベル 1 の圃場の割合が 20%程度と低かったが、2015 年にはその割合が 44%程度に増加し、2018 年には 15%程度に減少した。シエノピラフェン、シフルメトフェンおよびピフルブミド+フェンピロキシメートは、すべての調査年においてリスクレベル 3 の圃場の割合が 60%以上であった。

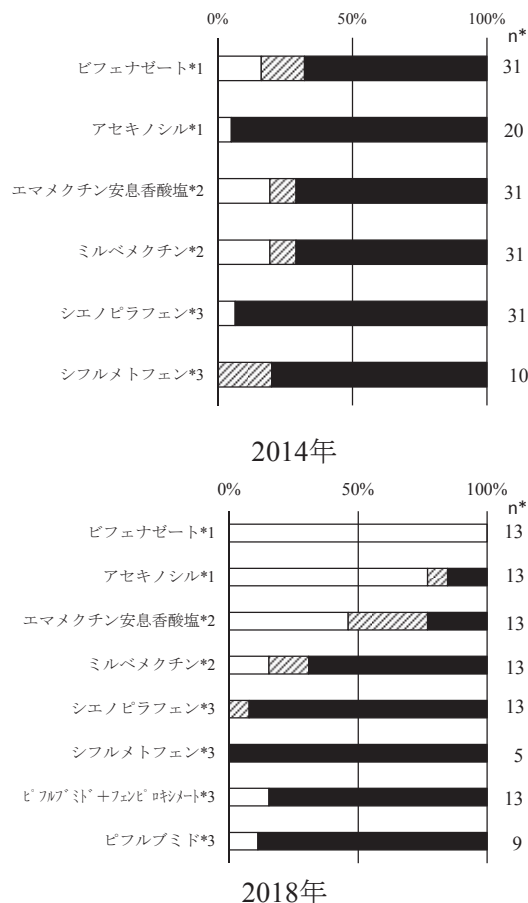
2. リスク解析

1) 薬剤ごとのリスクレベル解析

第 1 図に、各薬剤のリスクレベル別の圃場数の割合

2) 年間のリスクレベルの推移

次に、圃場ごとにリスクレベル 1 の薬剤系統数を算出し、その圃場数の割合を年ごとに示した(第 2 図)。

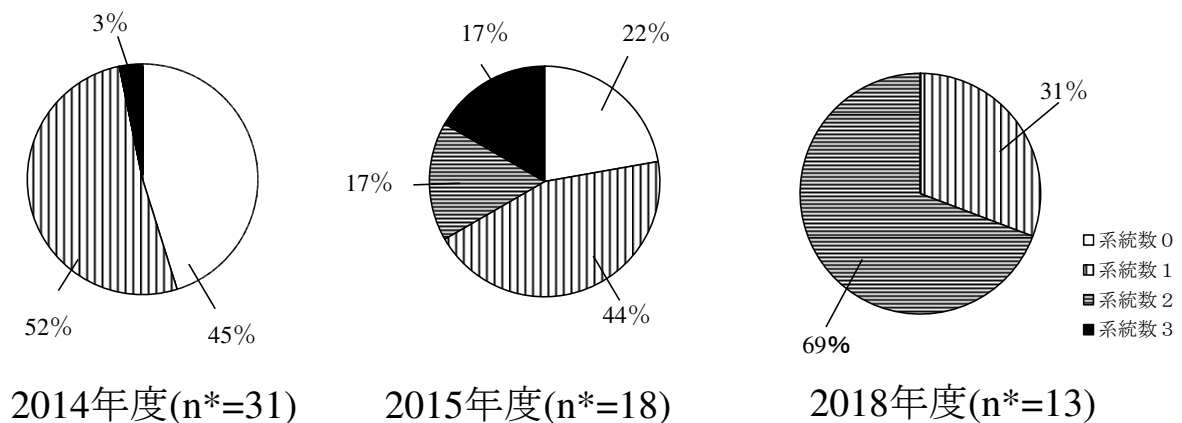


第1図 各薬剤のリスクレベル別圃場数の割合

Fig. 1. Ratio of the number of the field at insecticides' resistance risk levels in 2014, 2015, and 2018

*nは、検定を行った圃場数を示す

*1: METI-III、*2: マクロライド系、*3: METI-II に分類されることを示す



第2図 リスクレベル1の薬剤を含む系統数別における圃場数の割合
 Fig. 2. Ratio of the number of the fields at risk level 1 insecticides in 2014, 2015 and 2018
 ※nは検定を行った圃場数を示す

リスクレベル 1 の薬剤系統数が 1 つ以下であった圃場数の割合は、2014 年には 97%に達したが、2015 年には 66%に、2018 年には 31%に減少した。なお、2018 年の調査では、上述のようにピフェナゼートが全ての圃場で補正死虫率 100%を示したため、リスクレベル 1 の薬剤系統数が 0 の圃場は無かった。リスクレベル 1 の薬剤系統数が 2 つの圃場数の割合は 2014 年には 0%だったが 2015 年には 17%に、2018 年には 69%に増加した。リスクレベル 1 の薬剤系統数が 3 つの圃場は 2014 年と 2015 年には確認されたが 2018 年では確認されなかった。

考察

2018 年に実施した薬剤感受性検定の結果より、本県のイチゴ栽培で発生しているナミハダニに対して、METI-IIIの効果は発生地点を問わずおおむね高かった。このことから、これらの薬剤はナミハダニ防除に使用可能であると考えられた。マクロライド系は、感受性の高い圃場と低い圃場があったため、生産現場では、感受性検定の結果をふまえて、使用の可否を判断する薬剤であると考えられた。METI-IIはほぼすべての圃場で感受性が低下しており、ナミハダニに対する防除薬剤としての使用は困難であると考えられた。

第 1 図に示した各薬剤のリスクレベル別の圃場数の割合において、2014 年にリスクレベル 1 を示した圃場の割合は全ての剤で低く、METI-IIは、2015 年、

2018 年にも大きな変化は確認できなかった。一方、METI-IIIは年を追ってリスクレベル 1 の圃場の割合が増加しており、感受性の回復を示唆する結果となった。METI-IIIの感受性が回復した原因は不明で、今後の検討課題である。なお、マクロライド系は薬剤によって傾向が異なった。第 2 図においてリスクレベル 1 の薬剤系統数が 1 つ以下の圃場の割合が年を追って減少した原因は、METI-IIIの感受性の回復にあると考えられた。しかし、リスクレベル 1 の薬剤系統数が 3 つの圃場は 2018 年には認められなかったことから、奈良県のイチゴ栽培におけるナミハダニの薬剤抵抗性発達は総じて化学農薬によるローテーション防除が困難な状況になっていると考えられる。ガイドライン案（農研機構、2019）によると、リスクレベル 1 の薬剤系統数が 1 つの圃場は化学農薬のローテーションによる抵抗性管理が不可能であるため、生物的防除、物理的防除による抵抗性管理法を本格的に導入する必要があるとされる。また、薬剤系統数が 2 つである圃場においても、使用可能な薬剤の減少を防ぐため抵抗性管理への早期の移行を図ることとされる。今回の結果から、奈良県のイチゴ栽培で発生しているナミハダニの化学的防除が困難な状況となっており、生物的防除および物理的防除体系を普及させる必要があると考えられた。本県では、ナミハダニの天敵であるカブリダニ製剤を用いた生物的防除をイチゴで検討し、薬剤散布による化学的防除に代わる有望な防除手段であるという結論を得ている（井村・米田、2017）。また、今回感受性が回復していたピフェナゼートとアセキノシルは天敵カブリダニ製

剤に使用されるカブリダニ類に対する影響が小さい（片山ら，2012）とされるため，天敵製剤の効果を補完する剤として使用できると考えられた．現在奈良県では，天敵を使用した生物的防除法と気門封鎖剤等の物理的防除法にリスクレベル 1 の薬剤による化学的防除法を組み合わせた防除体系を推進しており，今後一層の普及を進める必要があると考えられる．

これまで，我が国の農業生産現場における害虫防除は，殺虫剤散布を中心とする化学的防除が主流であり，これが様々な害虫の抵抗性発達を招いたとされる（白石，2017）．このような状況において，高度抵抗性害虫の対策は，薬剤感受性検定による有効薬剤の選抜と，系統ローテーション散布による抵抗性発達遅延が推奨されてきた（農研機構，2019）．しかし，抵抗性害虫対策として有効薬剤を提案することは，化学的防除への依存を強化すると同時に，限られた有効薬剤の集中的使用による抵抗性発達の加速を招いた点是否めない．こういった事態への反省から，近年，化学的防除に代わる代替技術として生物的防除や物理的防除の導入が拡大しつつある（例えば，伊藤，2014；国本ら，2009；下元，2011）．しかし，これまで化学的防除中心で防除体系を組み立ててきた生産者に対して，普及指導において，単に補正死亡率を提示するだけでは有効薬剤に依存した従来どおりの化学的防除を脱却するのは困難であると考えられる．今回実施した抵抗性リスクレベル解析は，客観的な指標に基づいて抵抗性リスクの程度を評価するとともに，異なる防除法導入の必要性を判断するものであり，リスク評価により代替技術導入の必要性に関する客観的評価を提示することで，化学的防除に対する代替技術への移行の動機付けを行うことが可能だと考えられる．また，今回実施したように，地域全体のリスクレベルの状況や推移を解析することによって，産地全体における代替技術導入への動機付けや，これを行政施策に位置づけるに際しての根拠にもできると考えられる．

また，今回利用したガイドライン案には，ナミハダニだけでなく，コナガ，チャノコカクモンハマキ，ワタアブラムシ，ネギアザミウマ等の主要な抵抗性害虫も含まれている．今後はこういった取り組みを他の品目や害虫にも広げていくことで化学的防除に依存しない，実効性のある抵抗性管理が可能になると考えられた．

摘要

本県の促成イチゴ栽培において問題となるナミハダニ黄緑型について，薬剤感受性検定を行ったところ，ビフェナゼートとアセキノシルの効果が高かった．また，シエノピラフェン，シフルメトフェン，ピフルブミドおよびピフルブミド+フェンピロキシメートは感受性が低下していた．さらに，2014年，2015年および2018年に実施した薬剤感受性検定の結果から，ビフェナゼートとアセキノシルの感受性が回復している可能性が示唆された．ガイドライン案による抵抗性リスクレベル解析を行ったところ，リスクレベル 1 の薬剤系統数が 3 つの圃場数は減少しており，本県で化学農薬によるナミハダニ黄緑型の防除が困難になっている状況が示唆された．このことから，今後，生物的防除や物理的防除によるナミハダニの防除体系をより普及させていく必要があると考えられた．

謝辞

本研究に際して京都大学の刑部正博博士には試験に対する指導およびアドバイスを頂いた．また静岡県農林技術研究所の土井誠博士，斎藤千温上席研究員には様々な情報を頂いた．すべての方に深甚の謝意を表す．

引用文献

- Abbott, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 1925, 18, 265-267.
- 春山直人，松本華苗．栃木県の園芸作物に発生したナミハダニに対する各種薬剤の殺虫効果．*関東病虫研報*．2013, 60, 99-101.
- 今村剛士，國本佳範．奈良県内のイチゴに寄生するナミハダニ黄緑型の薬剤感受性．*奈良農研セ研報*．2016, 47, 34-36.
- 井村岳男，米田祥二．奈良県の促成イチゴ栽培におけるカブリダニ製剤を利用したナミハダニ黄緑型の防除体系の検討．*奈良農研セ研報*．2017, 48, 1-6.
- 伊藤貴啓．日本における総合的病虫害管理の空間的展開．*地理学報告*．2014, 116, 5-23.

- 片山晴喜, 多々良明夫, 土井誠, 金子修治, 西東力.
静岡県のカンキツ園に発生するミヤコカブリダニの薬剤感受性. 関西病虫研報. 2012, 54, 187-189.
- 国本佳範, 小山裕三, 印田清秀. キクのタバコガ類防除のための超簡易露地ネット被覆法. 農及園. 2009, 845, 540-545.
- 国本佳範, 今村剛士, 土井誠, 中野亮平, 刑部正博.
回転式散布塔に代わる散布装置の構築. 応動昆. 2017, 61, 192-194.
- 農研機構. “薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案”. 農研機構. 2019-3-20.
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/121745.html, (参照 2019-8-15) .
- 関根崇行, 鈴木香深. 宮城県におけるイチゴのナミハダニに対する殺ダニ剤の効果. 北日本病虫研報. 2016, 67, 169-172.
- 高藤晃雄. ハダニの生物学—基礎研究から応用へ—. 初版, シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社, 1998, 214p.
- 下元満喜. 高知県における IPM の推進. 植物防疫. 2011, 65, 400-403.
- 白石正美. 農林水産省における薬剤抵抗性対策に向けた取組状況. 植物防疫. 2017, 71, 269-277.
- 柳田裕紹, 森田茂樹, 園丸謙二. 福岡県内の促成栽培イチゴで発生するナミハダニ黄緑型 *Tetranychus urticae* Koch (green form) に対する数種薬剤の殺虫効果. 福岡農総試研報. 2013, 32, 33-36.