

特集：ネギアザミウマが媒介するアイリス黄斑ウイルス (IYSV) 防除対策

## 画像処理によるネギアザミウマの自動識別

徳島県立農林水産総合技術支援センター <sup>なか</sup>中 <sup>の</sup>野 <sup>あき</sup>昭 <sup>お</sup>雄  
 国立大学法人 徳島大学大学院 <sup>に</sup>新 <sup>か</sup>馬 <sup>て</sup>寺 <sup>けん</sup>賢 <sup>じ</sup>治  
 香川県農業試験場 <sup>わた</sup>渡 <sup>な</sup>邊 <sup>た</sup>丈 <sup>お</sup>夫

### はじめに

ネギアザミウマは生殖様式を異にする二つのタイプの存在が知られている (ZAWIRSKA, 1976)。単為生殖の結果、雄が生じる産雄単為生殖系統 (以下、産雄系) と、雌のみで世代を重ねて雄が生じない産雌単為生殖系統 (以下、産雌系) である。日本では従来、産雌系のみが生息すると考えられていたが (今井ら, 1988), MURAI (1990) が島根県のタマネギで、菊地・宮崎 (1993) が宮城県の実メジョオンでそれぞれ雄の存在を確認し、産雄系の存在が明らかになった。また、TODA and MURAI (2007) によって、産雄系と産雌系の間には遺伝的差異があることも認められている。

伊藤ら (2013) は高知県のニラ施設と徳島県南部のネギ施設でネギアザミウマ個体群を採集し、生殖型を調査した結果、産雄系が多く地域で発生し、特に高知県中央部で発生割合の高いことを確認した。

一方、十川ら (2013) は高知県と徳島県南部で採集した産雄系と産雌系が混在する個体群の中から、個体飼育によって両系統を識別した後、別々に薬剤感受性を調査した結果、産雌系は多くの薬剤に対して高感受性であるが、産雄系はシベルメトリン、MEP とベンフラカルブに対して低感受性を示すことを明らかにした。

以上のように、四国内の高知県や徳島県南部においてアイリス黄斑ウイルスの発生が懸念されるニラやネギの生産現場では、産雌系と産雄系が混在していることから、防除対策上、薬剤感受性の低い産雄系の存在は重要である。

そこで、筆者らはこれまで開発してきた画像処理による微小害虫の自動識別技術を応用 (中野ら, 2011) し、粘着シートで捕獲した様々な害虫の中から、ネギアザミウマ、特に同虫の産雄系などの生殖型を識別する技術を開発した。

Automatic Method for Identifying Thrips tabaci Using Image Processing Technology. By Akio NAKANO, Kazuma NITTA, Kenji TERADA and Takeo WATANABE

(キーワード：画像処理, ネギアザミウマ, 産雄単為生殖系統, 粘着シート, 自動識別)

開発したので紹介する。なお、生殖型を識別するうえでは後述するように体色の差異が重要であるが、ここではネギアザミウマを捕獲した粘着シート画像の作成、対象画像の抽出および識別とコンピュータープログラムを構築した順に述べる。

### I 粘着シート画像の作成

今回の研究では、粘着シート (以下、シート) の画像を取得するために、ハンディスキャナ (3R 社製, Anyty HSA651BT) を用いた。このスキャナで撮影した画像から背景領域を除去し、粘着シート (青色) 領域のみを切り出し、シート画像を作成する。まず、画像の RGB を HSV 表色系に変換する。HSV 表色系とは、色相 (Hue)、彩度 (Saturation)、明度 (Value) の三つの成分からなる色空間のことであり、これを用いることで特定の色の抽出が容易になる。この HSV 変換によりシート部分の青色画素を抽出する。次に、抽出した画素に対してラベリング処理を行う。ラベリング処理とは、各画素にラベル (番号) 付けを行い連結画素に同じラベルを付加することで複数の領域をグループとして抽出する手法のことである。ラベル付けされた領域の中より最大のものを残すことで、シート部分を抽出することができる。さらに、抽出した領域の縦幅、横幅を行、列ごとに計算する。算出したそれぞれの値の最大値をシートの縦幅、横幅として画像を切り出し、その画像を以降の処理で用いるシート画像とする。

### II ネギアザミウマ候補領域の抽出

シート画像からシートに付着したネギアザミウマを抽出するため、背景部分であるシートとネギアザミウマ候補領域 (以下、候補領域) を分ける必要があり、その分割に HSV 変換を用いる。

はじめに、シート中におけるネギアザミウマ以外の虫やシート状の文字等のノイズを除去する。そのために、識別分析法を用いた二値化により画像の二値化を行う。二値化の基準になる値として HSV の明度 (V) を用いる。画素ごとに求めた V を輝度値として画像を変換し、こ

の画像に対して二値化を行う。これによりシート部分以外の領域を抽出することができる。抽出した領域に対してラベリング処理を行い、それぞれの領域の大きさを算出する。ネギアザミウマはほぼ一定の大きさであるため、領域の大きさが一定未満または一定以上の領域をノイズとして除去することができる。

次に、シート部分の除去を行う。そのために画素ごとに色相 (H)、彩度 (S) を算出し、H のヒストグラムを作成する。H の値の範囲は 0 ~ 360 となっており、その範囲で最も頻出する H の値を算出する。画像中において、シートの青色部分が多いことから最も頻出する H の付近が背景の色である。そのため、H のヒストグラムの最大値になる値から ± 10 の範囲に含まれる画素を除去することで大まかな背景領域を除去することができる。

前処理でシート領域を除去し、付着した物体である候補領域のみを抽出することが可能となった。しかし、この候補領域ではネギアザミウマとノイズとの識別は困難である。形状などの特徴量を用いてネギアザミウマとノイズとを識別するためには、候補領域に対して正確な領域抽出を行う必要があり、そのために RGB 勾配値などを用いて候補領域に対し画素補間を行った (具体的な手法は省略する)。

この補間処理は、候補領域と背景画素の RGB 勾配値にはっきりした差がある個体、つまりネギアザミウマの褐色系 (ここでは従来から野外で一般的に見られる産雌系雌成虫) には有効であった。しかし、ネギアザミウマの淡黄色系 (ここでは従来から野外で一般的に見られる産雌系雌成虫) は背景画素との差分値がはっきりしておらず、同処理では正確な領域補間が行うことができなかった。そこで、ネギアザミウマの淡黄色系では、色特徴が少ないという特徴を用い、補間対象画素と候補領域とで SAD (画像の濃淡値の差で画像間の類似度を計算する) を比較することで候補領域の補間処理を行った。

### III ネギアザミウマの判定

#### 1 形状特徴による判定

シートに付着したネギアザミウマは、その形状の多くは楕円形状 (口絵①) であることから、候補領域に対して領域の形状が楕円であるかの判定を行い、ノイズと識別する。

はじめに、候補領域に当てはめる楕円の傾き、長軸と短軸を算出する。領域の傾きは次式 (1)、(2) により算出することができる。式中の  $i$  は画像上における候補領域内の画素の  $y$  座標、 $j$  は画素の  $x$  座標をそれぞれ表している。また、 $(ic, jc)$  は、候補領域の重心座標を、 $f(i,$

$j)$  は候補領域の 2 値化を表している。この場合、画像上に候補領域がある場合に 1、ない場合に 0 を与える。算出した候補領域の主軸の傾きを楕円の傾きとする。

$$M_{pq} = \sum_i \sum_j (i - ic)^p (j - jc)^q f(i, j) \quad (1)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{2 M_{1,1}}{M_{2,0} - M_{0,2}} \right\} \quad (2)$$

次に、楕円の長軸と短軸の算出を行う。長軸は候補領域の重心座標から最も遠くにある画素間の長さとし、短軸は領域の主軸上にある画素と重心との角度が一定範囲内に収まる画素の中で最も近くにある画素間の長さとする。

最後に、算出した傾き、長軸と短軸より描画した楕円を用いて形状判定を行う。そのためには、まず楕円内に含まれる画素の内包率を調べる。これは候補領域が楕円形状であるため描画した楕円内に多くの候補領域の画素が含まれるのに対し、ノイズ領域は形状が楕円形状ではないことが多くなることから、楕円外にはみ出す画素が多くなるためである。識別の閾値は 2 パターンあり、一つ目は候補領域の境界画素と描画した楕円との一致率が 6 割以上であり、楕円内に含まれる候補領域の画素の内包率が 8 割以上であればその候補領域をそのままネギアザミウマ候補として判定する。二つ目は、候補領域の境界画素と描画した楕円との一致率が 4 割以上であり、楕円内に含まれる候補領域の画素の内包率が候補領域の画素に対して 7 割以上、背景画素に対して 3 割以下で構成されていた場合、その候補領域をそのままネギアザミウマ候補として判定する。

以上の楕円形状による領域識別によりある程度のノイズを除去することができるが、完全なノイズの除去は困難である。除去できないノイズの特徴は、画素の境界が波打っているような領域や領域の形状が楕円に近い領域である。このようなノイズを除去するために領域ごとの境界画素から円形度と複雑度を算出し、その値によってノイズとの識別を行った (具体的な手法は省略する)。

#### 2 色分布による判定

前述したようなノイズ除去を行った後、残った候補領域に対して色分布を調べて分類を行う。ネギアザミウマの色特徴として頭部と腹部の色が異なる個体が多い。褐色系は一方が黒領域、もう一方が茶色領域になるような色分布を持つ個体が見られる。また、この茶色領域が暗くなっている個体も存在する。逆に、頭部と腹部の違いがあまり見られない個体は頭部から腹部にかけて茶色である個体が多い。これらの色分布特徴を候補領域が満たしているかどうかを調べることでネギアザミウマの褐色系 (口絵①右) の判定を行う。

はじめに、候補領域に対して領域の主軸を算出する。領域端の画素は色がばやけており特徴の算出には適さないため、領域の主軸を中心として  $3 \times 3$  の範囲の画素の色分布を調べ判定を行う。探索範囲内の画素において算出する画素の RGB の範囲は口絵②に示す通りである。判定条件として黒・茶色型と暗褐色型は画素の連続性、茶色型は画素の割合をそれぞれ用いる。

黒・茶色型と暗褐色型に属する褐色系を判定する条件は以下の通りである。口絵③の a, b に示すように両タイプは二つの色パターンを領域内で算出する。それぞれの色領域を色領域 1, 2 とする。この両タイプの褐色系はこれらの色領域が隣接するように分布する個体が多い傾向がある。そこで、算出した色領域同士が隣接しているかを調べ、隣接していれば色が連続していることから褐色系であると判定する。

次に、茶色型に属する褐色系を判定する条件は以下の通りである。まず薄茶色領域を算出し、算出した領域内でさらに濃茶色領域を算出する。このタイプの褐色系は薄茶色領域内における濃茶色領域の割合が高い傾向がある。そこで、薄茶色領域内において濃茶色領域が占める割合を算出し、その値が高ければ褐色系と判定する。

最後に、ネギアザミウマの淡黄色系（口絵①右）を識別する場合、対象とする領域の条件として候補領域内の画素の RGB がすべて  $R \geq 80$ ,  $G \geq 80$ ,  $B \geq 80$  を満たしている領域とする。判定に用いる特徴量として画素の色、薄さ、明るさを表す HSV の H, S, V の値を用いる。

#### IV 生殖型の識別

筆者らは夏期に採取した産雄系雌成虫は黒色を呈しており、産雌系雌成虫はその時期には淡黄色を呈していることから、体色の違いによって識別が可能であることを

見いだした（口絵④）。実際、 $24^{\circ}\text{C}$  下で飼育した産雄系と産雌系のそれぞれ成虫を実体顕微鏡下でデジタルカメラを用いて撮影し、画像を簡易な画像処理でグレースケールに変換すると腹部の黒色比率は産雄系雌成虫、冬期に採取した産雌系雌成虫と  $18^{\circ}\text{C}$  下で飼育した産雌系雌成虫間で差異は認められず、 $24^{\circ}\text{C}$  下で飼育した産雌系雌成虫や産雄系雄成虫とは異なっていた（表-1）。

この点に着目すると、前述の III 章 2 節によっても生殖型の識別は可能であるが、より高精度に識別することを目的に、イメージスキャナ（キャノン社製、PIXUS MG8130）で画像を取得しプログラムの再構築を行った。

##### 1 形状特徴による識別

ネギアザミウマの産雌系雌成虫、産雄系雌成虫と産雄系雄成虫の体長、体幅を比較した場合、前者が長いという特徴が見られる。このことから、ネギアザミウマの体長、体幅と面積を算出する（口絵⑤）。まず、領域の重心と最も遠くなる端点 1, 2 を算出する。それぞれの端点と重心間の長さ A, B を合わせた長さを領域の体長とする。体幅は領域の境界画素と重心、端点の三点でできる角度が  $100 \sim 110^{\circ}$  になる境界画素を算出する。算出した画素の中で重心との距離が短くなる端点 3, 4 を算出し、それぞれの端点と重心間の長さ C, D を合わせ長さを領域の体幅とする。面積は領域内の画素数とする。

##### 2 色特徴による識別

6 ~ 10 月における産雌系雌成虫の体色は淡黄色であることから、領域内に黄色い画素がどれだけ含まれているかをこの時期の産雌系の特徴量とする。黄色い画素の算出には HSV 色相空間の H 値（Hue）を用いる。H 値の範囲に一定の幅を持たせその範囲内に含まれる画素を抽出し、抽出した画素の数、虫領域内に含まれる黄色い画素の割合を算出する。算出した画素数と割合を以後の判定に用いる特徴量とする（以上、A 法）。

表-1 ネギアザミウマ産雌系と産雄系との体色比較 (2011)

採集地	生殖型	飼育温度	日長	性別	グレースケールにおける黒色比率 (%)			
					眼	頭部	胸部	腹部
高知県南国市	産雄系	$24^{\circ}\text{C}$	18L6D	雌	$89.0 \pm 0.87$	$79.9 \pm 1.49$	$83.1 \pm 1.12$	$91.0 \pm 1.02$ a
高知県南国市	産雄系	$24^{\circ}\text{C}$	18L6D	雄	$89.5 \pm 1.00$	$67.4 \pm 1.82$	$66.4 \pm 2.06$	$68.6 \pm 1.44$ b
高知県南国市	産雌系	$24^{\circ}\text{C}$	18L6D	雌	$90.3 \pm 0.58$	$67.1 \pm 1.15$	$65.2 \pm 0.98$	$67.1 \pm 0.84$ b
香川県観音寺市	産雌系	2012年1月に 採集し、供試		雌	$92.9 \pm 0.42$	$89.2 \pm 1.11$	$91.1 \pm 1.13$	$93.5 \pm 0.55$ a
香川県綾歌郡綾川町	産雌系	$18^{\circ}\text{C}$	自然日長	雌	$92.2 \pm 0.47$	$86.9 \pm 1.17$	$87.7 \pm 1.08$	$93.5 \pm 0.57$ a

<sup>1)</sup> 表中の数値は平均値  $\pm$  標準誤差を示す。

<sup>2)</sup> 腹部体色の同一英小文字は、 $\alpha = 0.05$  で有意差がないことを示す。

6～10月における産雄系雌成虫は暗褐色であり、特に腹部が黒くなることが多く、これにより頭部と色の差が出るのが特徴である。このことから領域内に黒い画素がどれだけ含まれているか、また頭部と腹部における色の違いを産雄系雌成虫の特徴量とする。黒い画素は画素の輝度値が低いいため輝度値に閾値を設定することで抽出し、抽出した画素の数の特徴量として用いる。また、頭部と腹部の色の違いを求める方法は、形状特徴量を算出する際に求めた端点のうち端点3、4を境に領域を分割する。腹部は変色することから黒い画素が多くRGBが低い画素が多くなるため、分割した領域ごとに領域内の画素でRGBの値がすべて90未満になる画素数を算出し、算出した画素数が多い領域を腹部とする。求めた頭部と腹部において色の明るさを調べるためにHSV色相空間のV値を算出する。分割した頭部と腹部ごとにV値を求めその平均値を特徴量とする（以上、B法）。

なお、産雄系雄成虫は雌成虫とは異なり、常時淡黄色である。12月～4月において、産雌系と産雄系の雌成虫は黒褐色であることから、両者が混在した場合は両系統を見分けられないが、体色の異なる産雄系雄成虫を見分けることで、産雄系の発生が確認できる。

### 3 形状特徴量と輝度値を用いた仮判定

形状特徴量と輝度値を用いて産雌系と産雄系の仮判定を行う。まず、領域の体長と輝度値で大まかに識別する。つまり、領域の体長に閾値を設定し、閾値未満の個体を産雄系の雄（仮）と分類する。また、全体的に体色が褐

色（輝度値が低い）の個体は6～10月における産雄系の雌であることから、輝度値にも閾値を設定し閾値未満になる画素が占める割合が高ければその個体を産雄系の雌（仮）と分類する。仮に体長が短くても輝度値の上記条件を満たした場合には産雄系の雌（仮）と分類する。淡黄色の個体はさらに体幅と面積の閾値を設定し、閾値以上の場合には産雌系（仮）、未満の場合は産雄系の雄（仮）と判定する。

### 4 色特徴量を用いた生殖型の決定

仮判定した個体に対して色特徴量を用いて産雌系と産雄系の判定を行う。産雌系（仮）と産雄系の雌（仮）と判定した個体は上記IV章2節のA法とB法の色特徴量を用いて判定を行い、両方による値がいずれも産雌系の条件を満たしていれば産雌系と判定し、いずれかを満たしていないのであれば、産雄系雌成虫と判定する。産雄系の雄（仮）と判定した個体はB法により頭部と腹部ごとに算出したVの平均値の差を用いて判定を行う。つまり、差が設定したある閾値よりも低い場合には体色が褐色でないことから、産雄系雄成虫、高い場合にはノイズと判定する。

### V 識別の精度

これまで構築してきたプログラムを用いて、シートで捕獲した様々な昆虫の中からネギアザミウマを識別した。まず、ハンデイスキャナで取得した8つの画像に対して識別、計数した結果を示す（表-2）。シートによっ

表-2 ハンデイスキャナで取得した画像に対するネギアザミウマの識別、計数

シート No.	捕獲数 (頭) <sup>1)</sup>	検出数 (頭) <sup>2)</sup>	誤検出数 (頭) <sup>3)</sup>	未検出数 (頭) <sup>4)</sup>	検出率 (%) <sup>5)</sup>	誤検出率 (%) <sup>6)</sup>
1	136	123	12	13	90.4	8.8
2	139	128	28	11	92.1	20.1
3	9	8	5	1	88.9	55.6
4	108	104	5	4	96.3	4.6
5	165	141	2	24	85.5	1.2
6	221	193	12	28	87.3	5.4
7	20	18	9	2	90.0	45.0
8	43	40	4	3	93.0	9.3
平均値					90.4	18.8

<sup>1)</sup> 褐色系と淡黄色系の両方が混発した条件下で捕獲した。

<sup>2)</sup> ネギアザミウマのデジタル画像をネギアザミウマと正しく判定し、検出した個体数を示す。

<sup>3)</sup> ネギアザミウマでないデジタル画像をネギアザミウマと判定し、検出した個体数を示す。

<sup>4)</sup> ネギアザミウマのデジタル画像をネギアザミウマと判定できず、検出できなかった個体数を示す。

<sup>5)</sup> 検出率 = 検出数 / 捕獲数 × 100。

<sup>6)</sup> 誤検出率 = 誤検出数 / 捕獲数 × 100。



表-3 イメージスキャナで取得した画像に対するネギアザミウマの識別, 計数

シート No.	付着数 (頭) <sup>1)</sup>	産雌系 (判定成功数 <sup>2)</sup> /総数, 成功率(% <sup>3)</sup> )	産雄系 (判定成功数 <sup>2)</sup> /総数, 成功率(% <sup>3)</sup> )	生殖型判定 成功数(頭)	生殖型判定 失敗数(頭)	未検出数 (頭)	精度 <sup>4)</sup>
1	50	3/4 75.0	46/46 100	49	0	1	98.0
2	49	10/11 90.9	35/38 92.1	45	1	3	91.8
3	50	4/6 66.7	41/44 93.2	45	1	4	90.0
4	30	0/0 —	27/30 90.0	27	3	0	90.0
5	30	3/3 100	27/27 100	30	0	0	100
6	30	20/23 87.0	2/7 28.6	22	8	0	73.3
7	30	2/3 66.7	24/27 88.9	26	4	0	86.7
8	27	3/16 18.8	8/11 72.7	11	16	0	40.7
9	30	10/20 50.0	9/10 90.0	19	10	1	63.3
平均値		55/86 64.0	219/240 91.3				81.5

<sup>1)</sup> 夏期に産雌系雌成虫と産雄系雌成虫が混発した条件下で捕獲したネギアザミウマをシートに人為的に付着させた。

<sup>2)</sup> ネギアザミウマのデジタル画像に対して, それぞれの生殖型を正しく判定し, 検出した個体数を示す。

<sup>3)</sup> 成功率 = 判定成功数/捕獲数 × 100。

<sup>4)</sup> 精度 = 判定成功数/(判定成功数 + 判定失敗数 + 未検出数) × 100。

てネギアザミウマの捕獲数は9~221頭と幅があったが, 検出率は85.5~96.3%, 平均では90.4%といずれも高かった。一方, 誤検出率は他のシートと比較して捕獲数の少なかったNo.3とNo.7のシートで高かった。ノイズを一定割合で誤検出することがわかり, シート中の捕獲数が少ないとき(今回のケースでは20頭以下)はその点を注意する必要があると考えられた。

次に, イメージスキャナで取得した8つの画像に対して識別, 計数した結果を示す(表-3)。生殖型識別の成功率はシートNo.6, No.8とNo.9を除けば, 83.3~100%と高かった。シートNo.6とNo.9では産雄系雌成虫を産雌系雌成虫に誤判定した個体が多かった。また, シートNo.8とNo.9では産雌系雌成虫を産雄系雌成虫と誤判定した個体が多かった。シートNo.6のように成功率の低い事例も見られたが, 産雄系を見つけ出すことを主眼とするならばこの程度の精度でも問題はないと考えられる。

## おわりに

今回紹介したネギアザミウマの画像処理により, 防除対策上で重要な産雄系を容易に見出せるが, アザミウマ類を種別に識別することまではできない。つまり, 限定した条件で捕獲したネギアザミウマを識別する技術である。なぜなら, ネギヤニラ圃場で粘着シートを設置した場合には, 捕獲されるアザミウマはほとんどがネギアザミウマであるので, 識別したアザミウマをすべてネギ

アザミウマと判定できる。このような場面ではなく, 例えば春期にイチゴ施設内で設置した青色粘着シートには褐色のヒラズハナアザミウマのほか, 黄色のキイロハナアザミウマ, ハナアザミウマとネギアザミウマ等が捕獲されるので, 後者の黄色のアザミウマの中からネギアザミウマを識別することは不可能である。しかし, ナス施設のようにミナミキイロアザミウマとヒラズハナアザミウマが主に発生する場面では, ネギアザミウマの淡黄色系をミナミキイロアザミウマ, ヒラズハナアザミウマをネギアザミウマの褐色系と置き換えて, 両種を識別することは可能である。

現在, 識別精度を高めるためにプログラムの修正を図っているところである。今後はコナジラミ類など他の微小害虫を識別するプログラムの構築にも着手し, 近い将来に生産現場での実用化を図りたい。

## 引用文献

- 1) 今井國貴ら (1988): 農作物のアザミウマ, 全国農村教育協会, 東京, p. 283 ~ 292.
- 2) 伊藤政雄ら (2013): 応動昆 57: 71 (講要).
- 3) 菊地 修・宮崎昌久: (1993): 北日本病虫研報 44: 159 ~ 160.
- 4) MURAI, T. (1990): Advances in Invertebrate Reproduction 5. M. Hoshi and O. Yamashita (eds), Elsevier Science Publisher, Amsterdam, p. 357 ~ 362.
- 5) 中野昭雄ら (2011): 植物防疫 65: 43 ~ 46.
- 6) 十川和士ら (2013): 応動昆 57: 72 (講要).
- 7) TODA, S. and T. MURAI (2007): Appl. Entomol. Zool. 42(2): 309 ~ 316.
- 8) ZAWIRSKA, I. (1976): Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz 12: 411 ~ 422.