

スリランカ産 *Bactrocera dorsalis* 種群 3 種の 判別分析による識別

鶴田 賢治

横浜植物防疫所調査研究部

H. M. J. BANDARA

スリランカ国立植物検疫所

Discrimination of 3 species of *Bactrocera dorsalis* complex of
Sri Lanka based on discriminant analysis

Kenji TSURUTA

Research Division, Yokohama Plant Protection Station, Ministry of Agriculture,
Forestry and Fisheries, Shinyamashita,
Yokohama, 231-0801 Japan

H. M. J. BANDARA

National Plant Protection Services, Katunayake, Sri Lanka

Abstract: Discrimination of 3 species of *Bactrocera dorsalis* complex of Sri Lanka based on 26 wing characters using discriminant function is tested. *B. dorsalis*, *B. kandiensis*, and *B. verbascifoliae* are selected as test species. Principal component analysis was performed in advance for reduction of total character numbers. Linear, and canonical discriminant analyses were used. Discrimination of these 3 species based on these characters was found possible in most cases at high correct discrimination rate (about 90 %), and also found to be a useful tool for preliminary grouping of morphologically very similar species such as *B. dorsalis* species complex.

Key words: *Bactrocera dorsalis* complex, Fruit flies, Discriminant analysis, Sri Lanka.

は じ め に

現在, スリランカには約35種のミバエ族(Dacini)に属するミバエが記録されている。これらのうち, *Bactrocera dorsalis* 種群に属する種については3種 (*B. caryae*, *B. dorsalis*, *B. kandiensis*) が報告されているのみであった (DREW & HANCOCK, 1994) が, 現在ではその他に約7種が記録されている (鶴田, 未発表)。これらの種の多くは外部形態の質的な形質により識別が可能である。しかしながら, 一部の種においてはこれらの形質の変異が大きいために, しばしば同定が困難な場合がある。

同定は多くの場合は質的形質を用いて行うが, その他には量的な形質を用いて統計手法を用いる方法があ

る。SNEATH & SOKAL(1973)は「十分に分離した分類群を用いる大規模な研究の場合, 連続的方法*がもっともすぐれているといいたい。重複があまり見られない高度に多命題的な群の場合には, 同時検索表**が有効であるが, 稠密な群が小数あって, 同定をできるだけ正確に行わなければならない場合には, 判別分析が必要になる。」***と述べている。また, 判別分析は極めて近似している種の識別に有効とされる (平嶋ら, 1989)。

判別分析法の分類学への適用についてはこれまで多くの研究がなされてきた (BIGELOW and REIMER, 1954; DUPRAW, 1964; LUBISCHEW, 1962, SNEATH and SOKAL, 1973)。

本報告ではスリランカから記録されているミカンコ

ミバエ種群に属するミバエの識別に判別分析法の適用が可能かどうかを検討した。形質としてはできるだけ簡単にデータが取得でき、測定誤差の小さい翅脈長等の計測値を用いることとした。これらの結果、供試した3種のミバエ (*B. dorsalis*, *B. kandiensis* 及び *B. verbascifoliae*) のうち、いずれの2種の間においても線形判別分析により92%以上が正しく識別された。正準判別分析法による3種の同時識別においては、一部の例外を除き、90%以上の高い率で正しく識別された。特に *B. dorsalis* 及び *B. verbascifoliae* 並びに *B. kandiensis* 及び *B. verbascifoliae* の間ではいずれもほぼ100%であった。これらの統計手法を用いることで、翅脈長のみに基づいてもある程度識別は可能との結論を得た。

* ここでの「連続的方法」とは通常の検索表を用いる方法を指していると思われる

** 用いる形質を同時に用いて一度に同定結果を得る方法

*** 訳は西田・佐藤 (1994) による

材料及び方法

1. 供試した3種のミバエ

1) 判別式を求めるために供試したミバエ類3種 (*B. dorsalis*, *B. kandiensis*, *B. verbascifoliae*) のうち、前2種は、Hingrakkoda (北中部州ドライゾーン低地)、Kandy (中部州ウェットゾーン中高地)、Kataragama (南部州ドライゾーン低地) の3地域から得た個体である。*B. verbascifoliae* については、Rahangala (中部州高地: 標高約1400m) から得た個体を供試した。*B. dorsalis* 及び *B. kandiensis* の同定は国際昆虫学研究所 (イギリス) の I. M. White 博士の御教示を参考とし、スリランカ国旧農業開発研究省農業局中央農業研究所が所蔵している標本を確認して行った。*B. verbascifoliae* については、大英博物館 (自然史) より借用した標本と比較して行った。供試した個体は、いずれも1994年10月にメチルオイゲノールを用いたトラップにより捕獲した雄個体である。

2) 得られた判別式により、異なる産地の各既知種の個体を用いて正しい識別が可能かどうかのテストを行った。ここでは1)での判別式を求めるために供試した各地産の個体のほか、*B. verbascifoliae* についてはさらに Rendapola 及び Bindunuwewa (いずれも中部州高地: 標高1400~1600m) 産の個体も供試した。

なお、供試したミバエを3種としたのは使用した統計ソフト上の制約によるものである。また、*B. dorsalis*, *B. kandiensis* 及び *B. verbascifoliae* の3種を対象としたのは、これらが命名記載されている種であること、及び特に前2種はスリランカに広く分布しており、多くの個体を採集することが可能であること及び害虫としても重要であるため、正確な同定が求められること等を考慮したことによる。

2. 方法

1) 測定対象個体のサンプリング方法

トラップにより捕獲された個体は数枚の四角紙にパックした後、1つの四角紙を選び、さらに四角紙を開いてその左上の端から機械的に約100頭を選び出した。それをマウントして針刺し標本として各標本に番号を付し、それから右翅のみを切り離し、同番号を合番号としたスライド標本を作成した。それらの中からさらに乱数表によりスライド標本約50個を選んだ。測定時に翅の一部が破損している等不適切と判断した標本は次の番号の正常な標本のスライドと取替えた。

2) プレパラート標本作成法

切り離した翅をクロップ油に10秒ほど浸し、カナダバルサムにてマウントした

3) 計測部位及び計測法

計測部位としては変色や破損が比較的生じにくい翅を用いることとした。解析に使用するデータとしては取得が容易な翅脈の計測値とした。計測値には認識の個人差が少ない等の利点がある。

測定部位は Fig.1 に示した縦脈23ヵ所及び横脈3ヵ所の計26ヵ所である。C, R₁, R₂₊₃, R₄₊₅ の各脈については R₁ と C の各脈との交点及び Humeral vein と C の各脈交点の2点を基準として、その2点を通る直線と平行した方向に、また、M, Cu, A の各脈については bm-cu と CuA₁ の各脈の交点及び dm-cu と CuA₁ の各脈の交点の2点を基準として、その2点を通る直線と平行した方向の距離を各形質の計測値とした。A₁ + CuA₂, Cup - ex の縦脈及び bm-cu, dm-cu の各横脈についても同様に基準点に沿って計測した。計測は MITSUTOYO 社製万能投影機の計測機能を用いて 1/1000mm まで行い、計測値の小数点第3位以下は切捨てた。計測部位によっては翅脈の幅による計測誤差を避けるため、各計測点は縦脈についてはその左端、横脈については各交点の内側とした。また、各形質の測定誤差の概略を知るために、各種それぞれ2個体に

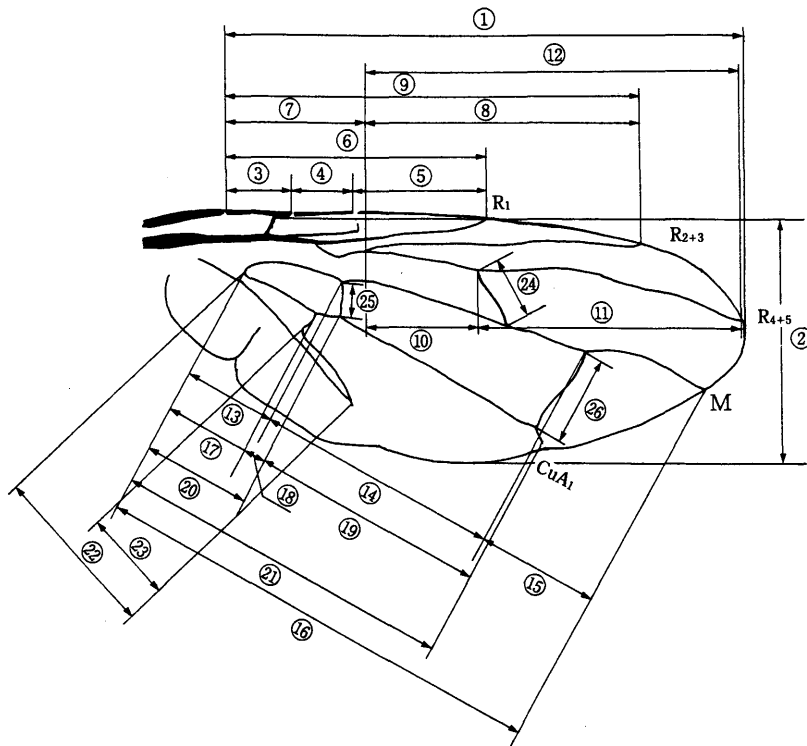


Fig. 1. Parts of the wing measured

① WL*	(Wing length)	⑭ Mm	(Length of intermediate part of M vein)
② WW	(Wing width)	⑮ Md	(Length of distal part of M vein)
③ A	(Length between costagial break and humeral break)	⑯ M	(Length of M vein=Mb+Mm+Md)
④ B	(Length between humeral break and subcostal break)	⑰ CuA1b	(Length of basal part of CuA1 vein)
⑤ C	(Length between subcostal break and node of R1 and Costal vein)	⑱ CuA1m	(Length of intermediate part of CuA1 vein)
⑥ R1	(Length of R1 vein=A+B+C)	⑲ CuA1d	(Length of distal part of CuA1 vein)
⑦ R2+3b	(Length of basal part of R2+3 vein)	⑳ CuA1(b+m)	(Total length of both basal and intermediate part of CuA1 vein)
⑧ R2+3d	(Length of distal part of R2+3 vein)	㉑ CuA1	(Length of CuA1 vein=CuA1b+CuA1m+CuA1d)
⑨ R2+3	(Length of R2+3 vein)	㉒ A1+CuA2	(Length of A1 + CuA2 vein)
⑩ R4+5b	(Length of basal part of R4+5 vein)	㉓ Cup-ex	(Length of Cup-ex vein)
⑪ R4+5d	(Length of distal part of R4+5 vein)	㉔ r-m	(Length of r-m vein)
⑫ R4+5	(Length of R4+5 vein)	㉕ bm-cu	(Length of bm-cu vein)
⑬ Mb	(Length of basal part of M vein)	㉖ dm-cu	(Length of dm-cu vein)

* 翅の基部は破損しやすいため、便宜的に Costagial break から翅端までの測定値とした

について1週間の間をあけて3回測定した。その結果を Table 1 に示す。

4) 解 析

すべてのサンプルについて1変量解析及び2変量解析を行って各形質毎に計測値の分布の状態及び相関関係から外れ値の有無の検討を行った。外れ値と考えられるものについてはその原因を調べ、データ入力の誤りや測定の誤りをチェックし、誤りが認められた場合は再入力や再測定等を行った。原因のわからない外れ

値については解析の対象としなかった。次に26個の多変量データによる情報を要約するために主成分分析を行った。この結果、第2主成分の値の大きさに基づいて5, 10, 15及び26個の形質を選択し、それぞれの形質を用いて判別分析を行った。

判別分析法として2群の判別には線形判別分析法(linear discriminant analysis)を、3群の判別には正準判別分析法(canonical discriminant analysis)を用いた。これらの解析には統計解析ソフトとして日本科学技術研修所のJUSE MA1を使用した。

Table 1. Reliability of measurements of wing characters in *B. dorsalis* (Hingrakgoda population)

Characters	measurement 1	measurement 2	measurement 3	M ¹⁾	SD ²⁾	CV ³⁾ (%)
1. WL	5.35	5.35	5.35	5.35	0.00	-
2. WW	2.34	2.19	2.22	2.25	0.08	3.5
3. A	0.92	0.92	0.91	0.92	0.06	0.6
4. B	0.60	0.60	0.61	0.60	0.06	1.0
5. C	1.39	1.41	1.40	1.40	0.01	0.7
6. R1	2.91	2.93	2.92	2.92	0.01	0.3
7. R _{2+3b}	1.34	1.33	1.31	1.33	0.02	1.2
8. R _{2+3d}	2.78	2.78	2.81	2.79	0.02	0.6
9. R ₂₊₃	4.12	4.11	4.12	4.12	0.01	0.1
10. R _{4+5b}	1.30	1.30	1.32	1.31	0.01	0.9
11. R _{4+5d}	2.62	2.61	2.62	2.62	0.01	0.2
12. R ₄₊₅	3.92	3.91	3.94	3.92	0.02	0.4
13. Mb	0.84	0.84	0.84	0.84	0.00	-
14. Mm	2.50	2.49	2.50	2.50	0.01	0.2
15. Md	1.27	1.28	1.28	1.28	0.01	0.5
16. M	4.61	4.61	4.62	4.61	0.01	0.1
17. CuA _{1b}	0.78	0.79	0.78	0.78	0.01	0.7
18. CuA _{1m}	0.29	0.29	0.29	0.29	0.00	-
19. CuA _{1d}	2.32	2.31	2.33	2.32	0.01	0.4
20. CuA _{1(b+m)}	1.07	1.08	1.07	1.07	0.01	0.5
21. CuA ₁	3.39	3.39	3.40	3.39	0.01	0.2
22. A ₁ +CuA ₂	2.10	2.12	2.08	2.10	0.02	1.0
23. Cup-ex	1.34	1.37	1.32	1.34	0.03	1.9
24. r-m	0.54	0.54	0.54	0.54	0.00	-
25. bm-cu	0.41	0.41	0.41	0.41	0.00	-
26. dm-cu	0.77	0.76	0.76	0.76	0.01	0.8

1) M: Mean

2) SD: Standard Deviation

3) CV: Coefficient of Variation

結果及び考察

1. 解析 1

1) 1 変量解析

各形質の基本統計値を Table 2 に示す（ここでは Hingrakgoda 産の *B. dorsalis* のみについて示した）。各形質とも多少の偏りが見られるが、概ね正規分布すると思われた。各形質とも標準偏差の 3 倍以上の値は、外れ値として、解析対象から除外した。

2) 2 変量解析

主として各 2 形質間の相関関係を調べた。ここでも相関散布図から、外れ値と思われる個体について、元のデータをチェックし、計測の誤りや野帳から入力 of の誤りを訂正した。翅脈計測値間の相関関係は 0.68 ~ 0.99 で、ほとんどの形質間で高い相関がみられた。

2. 解析 2

1) 主成分分析

翅の翅脈計測値の多変量データを要約し、判別分析に使用する変数を選択した。

2) 主成分分析の結果

第 1 主成分の固有値は 23.3、寄与率は 89.6%、第 2 主成分の固有値は 0.60、寄与率は 2.3% であった。第 2 主成分までの累積寄与率は 91.9% であったことから、第 2 主成分までを取り上げることで十分と判断した。

3) 形質の選択

第 1 主成分の因子負荷量は各形質とも正の値でいずれも大きい値であり、特に B、CuA₁ が 0.8 ~ 0.9 のいずれも大きい値であった。第 2 主成分の因子負荷量のうち正の値の形質は A、B、R₁、R_{2+3b}、R_{4+5b}、Mb、CuA₁、M、CuA_{1(b+d)}、CuA₁、bm-cu であった。一方、WL、WW、M、A₁+CuA₂、dm-cu、Mm、R_{2+3d}、CuA_{1d}、Cup-ex、R₄₊₅、r-m、Md、R_{4+5d} は負の値であった。第 1 主成分では大きさに差が見られないため、この軸上では各形質の特徴は見られず、こ

Table 2. Statistical data of characters used (*B. dorsalis*; Hingrakgoda population)

Characters	Min. value	Max. value	Mean value	SD ¹⁾	CV ²⁾	Skewness	Kurtosis
1. WL	4.08	5.88	5.15	0.41	0.08	-	-
2. WW	1.70	2.58	2.22	0.20	0.09	3.5	3.5
3. A	0.70	1.04	0.86	0.08	0.09	0.6	0.6
4. B	0.43	0.62	0.53	0.04	0.08	1.0	1.0
5. C	1.13	1.60	1.36	0.11	0.08	0.7	0.7
6. R1	2.34	3.26	2.76	0.22	0.08	0.3	0.3
7. R _{2+3b}	1.01	1.47	1.28	0.11	0.09	1.2	1.2
8. R _{2+3d}	2.21	3.12	2.69	0.22	0.08	0.6	0.6
9. R ₂₊₃	3.22	4.59	3.97	0.32	0.08	0.1	0.1
10. R _{4+5b}	0.94	1.46	1.24	0.13	0.10	0.9	0.9
11. R _{4+5d}	2.02	2.99	2.49	0.20	0.08	0.2	0.2
12. R ₄₊₅	2.96	4.33	3.73	0.31	0.08	0.4	0.4
13. Mb	0.64	0.94	0.80	0.07	0.09	-	-
14. Mm	1.83	2.71	2.35	0.21	0.09	0.2	0.2
15. Md	1.05	1.41	1.23	0.09	0.07	0.5	0.5
16. M	3.52	5.03	4.38	0.36	0.08	0.1	0.1
17. CuA _{1b}	0.57	0.89	0.75	0.07	0.09	0.7	0.7
18. CuA _{1m}	0.20	0.34	0.28	0.04	0.13	-	-
19. CuA _{1d}	1.72	2.50	2.18	0.18	0.08	0.4	0.4
20. CuA _{1(b+m)}	0.80	1.22	1.02	0.10	0.09	0.5	0.5
21. CuA ₁	2.52	3.67	3.20	0.27	0.08	0.2	0.2
22. A ₁ +CuA ₂	1.62	2.27	1.99	0.16	0.08	1.0	1.0
23. Cup - ex	1.01	1.43	1.24	0.10	0.08	1.9	1.9
24. r - m	0.39	0.64	0.55	0.06	0.10	-	-
25. bm - cu	0.30	0.49	0.41	0.04	0.11	-	-
26. dm - cu	0.57	0.92	0.75	0.07	0.10	0.8	0.8

1) SD: Standard Deviation

2) CV: Coefficient of Variation

Table 3. Correct identification rate depending on characters selected

No. of Characters selected	Correct identification rate (%)		
	D-K	D-V	K-V
5	77.6	95.0	91.7
10	82.4	96.2	96.1
15	88.4	98.5	97.8
26	92.1	99.2	99.0

D-K; *B. dorsalis* - *B. kandiensis*D-V; *B. dorsalis* - *B. verbascifoliae*K-V; *B. kandiensis* - *B. verbascifoliae*

の軸上からは形質の選択はできなかった。第2主成分軸上の因子負荷量の大きさにより、符号や絶対値に大きな差が見られたので、第2主成分上の値の大きさから選択することとした。その最大値から最小値までを大まかに5区分し、各区分から1～数個の形質を選択し、5個から26個の形質を選択した。

なお、第1主成分は翅の全体的な大きさを表す指標、第2主成分は翅の形を表す指標と解釈された。

4) 判別分析

a. 形質選択の効果

選択した5, 10, 15, 26個の異なる形質の数により正判別率がどのように変化するかを同一地域から得た2種を供試し、線形判別分析した結果をTable 3に示す。5個を用いた場合、*B. dorsalis* - *B. verbascifoliae* (D-Vとする)間では95%、*B. kandiensis* - *B. verbascifoliae* (K-V)間では91.7%となった。26個を用いた場合、ともにほぼ99%と高い正判別率が得られた。これらの各2種間では形質数を増やしても正判別率はあまり変

化せず、5個ないし10個で十分高い正判別率が得られることから、形質選択の効果は高いと考えられる。*B. dorsalis* - *B. kandiensis* (D-K)間では5個を用いた場合、77.6%で、以後、形質数を増やすとともに正判別率も上昇していき、26個用いた場合は92.1%となった。以上からこれら3種のうちのすべての2種間(D-K, D-V, K-V)を90%以上の正判別率で識別するためには結局26個の形質が必要であった。

b. 正準判別分析

さらに、3種の同時識別の可否を正準判別分析法を用いて検討した。判別式の算出には Hingragoda 産の *B. dorsalis*, *B. kandiensis* 及び Rahangala 産の *B. verbascifoliae* 各52個体を供試した。第1正準判別変量スコア(スコア1)を横軸に、第2正準判別変量スコア(スコア2)を縦軸とした各個体の散布図を Fig. 2 に示す。⊕は各群の重心を示し、各重心を囲む同心円はそれぞれ重心から半径1 σ 及び2 σ の円である。第

1正準変量スコア(横軸)では *B. dorsalis* と *B. kandiensis* の重心はともに正の値であり、ほぼ同じ位置であるが、*B. verbascifoliae* では負の値で、前2種と明確に分離している。第2正準変量スコア(縦軸)では各種ともに重心の位置は、*B. kandiensis*, *B. verbascifoliae* 及び *B. dorsalis* でそれぞれ正、ほぼゼロ、負と分離している。各重心からの距離を3 σ とした場合は、*B. dorsalis* と *B. kandiensis* は重なる部分が生じるが、それら2種と *B. verbascifoliae* では完全に分離している。

3. 産地の異なるミバエの識別予測

同判別式を用いて産地が異なる同種の個体(Kandy 及び kataragama産の *B. dorsalis* 及び *B. kandiensis*, 並びに Rendapola 及び Bindunuwewa産の *B. verbascifoliae*) にも適用可能かどうかを調べた。その結果を Table 4 に示す。正判別率はおおむね90%以上となっており、特に *B. verbascifoliae* ではすべての地域産の個体で

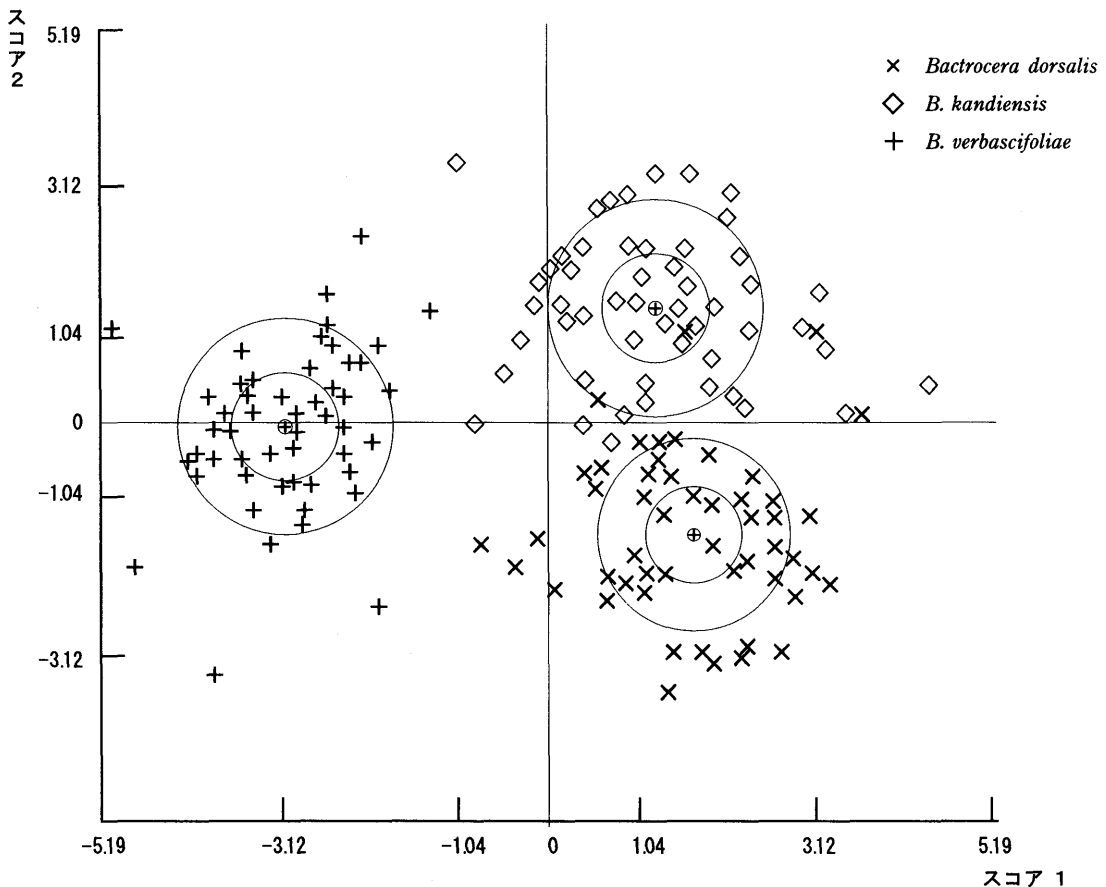


Fig. 2. Scatter diagram of canonical scores

Table 4. Result of discrimination test for 3 species of *B. dorsalis* complex from different localities.

Species	locality	No. of samples tested	No. of correctly identified samples	Rate of Correct identification(%)
<i>Bactrocera dorsalis</i>	Hingrakgoda	52	49	94.2
<i>B. dorsalis</i>	Kandy	10	9	90.0
<i>B. dorsalis</i>	Kataragama	9	6	67.0
<i>B. kandiensis</i>	Hingrakgoda	52	47	90.4
<i>B. kandiensis</i>	Kandy	10	9	90.0
<i>B. kandiensis</i>	Kataragama	10	7	70.0
<i>B. verbascifoliae</i>	Rahangala	52	52	100.0
<i>B. verbascifoliae</i>	Rendapola	10	10	100.0
<i>B. verbascifoliae</i>	Bindunuwewa	10	10	100.0

100%の高い値となった。*B. dorsalis* と *B. kandiensis* では横軸上の重心の位置はほぼ同じであるが、縦軸上では十分に分離している。これは翅の「サイズの因子」上ではほぼ等しいが、「形を表す因子」にわずかな差があることを示しており、その差により識別されていることを示している。一方、*B. verbascifoliae* は *B. dorsalis* 及び *B. kandiensis* から高い率で正しく識別されているが、本種が *B. dorsalis* と *B. kandiensis* とは横軸上で大きな差があり、「サイズ因子」により識別されているものと考えられる。縦軸上では *B. verbascifoliae* は *B. dorsalis* と *B. kandiensis* の中間に位置している。Kataragama 産の *B. dorsalis* 及び *B. kandiensis* の正判別率はそれぞれ67%、70%と低かった。Kataragama はスリランカの南東部の年間の雨量の少ないドライゾーン低地に位置しており、Hingrakgoda は北部ではあるが同じくドライゾーン低地に位置しており、気候や生息環境が大きく異なる場所がないと考えられ、現在のところ、これらの産地間で正判別率が低くなった原因は不明である。*B. dorsalis* や *B. kandiensis* 等のスリランカ国内に広く分布する種では体長等に地域変異が存在する可能性を示唆している。反対に *B. verbascifoliae* は Rendapola 及び Bindunuwewa 産の個体ともすべて正しく識別された。この種は1400m以上の中央高地の限られた地域のみ分布する種であり、体のサイズが他2種より有意に小さいこと及びそれらの形質の地理的な変異が小さいため識別を容易にしていると考えられる。*B. dorsalis* 及び *B. kandiensis* で正判別率が低くなる場合がある点についてはスリランカ国内での地域変異の調査を含めて今後の検討課題としたい。

同定は一般的に外部形態等の質的形質あるいは計測できる量的形質をあわせて評価・解析することにより行われる。今回はできる限り簡便な識別法の探索を目

的としたため、量的形質（翅脈長）のみを用いて判別分析法の適用の可否を検討した。その結果、非常に類似している *B. dorsalis*、*B. kandiensis* 及び *B. verbascifoliae* が翅脈各部の長さのみに基づいても多くの場合、高い割合で識別できることが判明した。さらに同種群の他種についても同様の手法が適用可能かどうか検討を重ねたい。今後他の質的形質も含めて、量的形質を減らし、全体としてより少ない形質数で正判別率を高めるための方法の探索を行うことが応用上重要となろう。

引用文献

- BIGELOW, R. S. and C. REIMER (1954) An Application of the Linear Discriminant Function to Insect Taxonomy. *The Can. Ent.* 86: 69-73.
- DUPRAW, E. J. (1964) Non-Linnean Taxonomy. *Nature*, 202: 849-852.
- DREW, and D. L. HANCOCK (1994) The *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in Asia. *Bull. ent. Res. Suppl. Series No.2*: 1-68.
- 平嶋義宏・森本 桂・多田内 修 (1989) 昆虫分類学. 川島書店, 東京.
- LUBISCHEW, A. A. (1962) On the Use of Discriminant Functions in Taxonomy. *Biometrics*, 18: 455-477.
- SNEATH, P. H. A. and R. R. SOKAL (1994). 数理分類学 (西田秀朗・佐藤嗣二 共訳) 内田老鶴圃, 東京.
- SNEATH, P. H. A. and R. R. SOKAL (1973) *Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- WHITE, I. M. (1988) *Tephritid flies (Diptera: Tephritidae)*. *Handbooks for the Identification of British Insects*, 10(5 a). Royal Entomological Society of London.