



## Investigating the Genetic Diversity among *Apis cerana* in China 【Research report】

### 中國大陸東方蜜蜂遺傳多樣性研究【研究報告】

Ting Ji, Ling Yin, Min Liu, and Guo-Hong Chen\*  
吉挺、殷玲、劉敏、陳國宏\*

\*通訊作者E-mail: [ghchen@yzu.edu.cn](mailto:ghchen@yzu.edu.cn)

Received: 2009/09/01 Accepted: 2009/10/14 Available online: 2009/10/01

#### Abstract

Six main indexes of external morphology of 20 *Apis cerana* populations in China were described. The findings showed that there were significant differences ( $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ ) among 6 characteristics in 20 populations in China, indicating that the genetic diversity of these 20 *Apis cerana* populations was abundant. The findings showed that significant differences ( $p < 0.01$ ) existed in the length, width and area of the anterior wing · in the length of the proboscis and the length of terga 3 and 4; there was no difference between the cubital vein indexes and other characteristics ( $p > 0.05$ ), indicating that the cubital vein index was an independent morphological feature. The principal component analysis (PCA) of the 6 main indexes of external morphological features and the 8 ecological features of the 20 populations showed that the difference among the morphological features was as a result of 7 principal components including both morphological and ecological features. The contribution rate of these two features was 89.386%. Thus, not only the morphological features but also the ecological features should be considered in principal component analysis.

#### 摘要

本研究對中國大陸 20 個東方蜜蜂群體工蜂的形態指標進行測定，主要研究結果如下：20 個東方蜜蜂種群之間在形態標記上存在顯著或極顯著差異 ( $p < 0.05$  或  $p < 0.01$ )，中國大陸東方蜜蜂形態指標存在豐富的遺傳多樣性。通過對形態指標相關性分析表明 20 個東方蜜蜂種群的右前翅長、前翅寬、前翅面積、吻長與第 3、4 背板總長均有極顯著相關 ( $p < 0.01$ )；肘脈指數與其它形態指標均不相關 ( $p > 0.05$ )，表明肘脈指數是一個相對獨立的形態標記。20 個東方蜜蜂種群的 6 個形態標記和 8 項生態特徵數據的主成分分析結果表明，不同東方蜜蜂種群形態指標的差異主要反映在包括形態標記和生態因素在內的 7 個主成分上，其累計貢獻率達 89.386%。主成分分析結果表明東方蜜蜂種群間差異分析除了考慮蜜蜂個體形態特徵差異外，蜂群所生活地區的環境因素也應被納入其中。

**Key words:** *Apis cerana*, morphological markers, genetic diversity

**關鍵詞:** 東方蜜蜂、形態標記、遺傳多樣性。

Full Text: [PDF\(0.44 MB\)](#)

下載其它卷期全文 Browse all articles in archive: <http://entsocjournal.yabee.com.tw>

# 中國大陸東方蜜蜂遺傳多樣性研究

吉挺、殷玲、劉敏、陳國宏\*

揚州大學動物科學與技術學院 江蘇省揚州市文匯東路 48 號

## 摘要

本研究對中國大陸 20 個東方蜜蜂群體工蜂的形態指標進行測定，主要研究結果如下：20 個東方蜜蜂種群之間在形態標記上存在顯著或極顯著差異 ( $p < 0.05$  或  $p < 0.01$ )，中國大陸東方蜜蜂形態指標存在豐富的遺傳多樣性。通過對形態指標相關性分析表明 20 個東方蜜蜂種群的右前翅長、前翅寬、前翅面積、吻長與第 3、4 背板總長均有極顯著相關 ( $p < 0.01$ )；肘脈指數與其它形態指標均不相關 ( $p > 0.05$ )，表明肘脈指數是一個相對獨立的形態標記。20 個東方蜜蜂種群的 6 個形態標記和 8 項生態特徵數據的主成分分析結果表明，不同東方蜜蜂種群形態指標的差異主要反映在包括形態標記和生態因素在內的 7 個主成分上，其累計貢獻率達 89.386%。主成分分析結果表明東方蜜蜂種群間差異分析除了考慮蜜蜂個體形態特徵差異外，蜂群所生活地區的環境因素也應被納入其中。

**關鍵詞：**東方蜜蜂、形態標記、遺傳多樣性。

## 前言

中國大陸是東方蜜蜂指名亞種—中華蜜蜂 (*Apis cerana cerana*) 的原產地，擁有極其悠久的飼養歷史及絢麗的蜜蜂文化，野生及家養種群眾多。但外來品種的引入以及生態環境的破壞已直接影響到中國大陸東方蜜蜂生存和繁殖。同時由於大面積的開墾使野生蜂群失去了棲息之地，東方蜜蜂的分布面積不斷縮小，如華北地區（包括山地、丘陵在內）已經

有 75.3% 的地區沒有中華蜜蜂的蹤跡，東方蜜蜂已經被《國家動物品種保護名錄》列入瀕臨滅絕、亟待保護的動物品種之一 (Yang, 2005)。因此開展中國大陸境內東方蜜蜂遺傳資源的調查，並提出相應的保護方案對維持生態平衡，實現可持續發展具有重要的意義。

形態特徵是蜜蜂遺傳資源分析和品種、品系鑒定的基本研究方法，很多學者如王桂芝 (2007)、譚壘 (2005) 等對中國大陸東方蜜蜂進行了形態學研究，這些研究顯示分布於不同

\*論文聯繫人  
Corresponding email: ghchen@yzu.edu.cn

經緯度、不同海拔地區的東方蜜蜂，無論體長還是各型蜂的體色均有顯著差異，存在豐富的多態性。但是這些研究都是對某一或幾個特定地區蜜蜂種群分析，缺乏對全國蜜蜂遺傳資源的分析研究，因此對全國東方蜜蜂遺傳的形態標記的研究有助於對中國大陸現有東方蜜蜂遺傳多樣性的全面了解。

目前，形態鑒定在蜜蜂分類研究中應用仍很多，但是形態指標使用並不統一，使用較多的是 Ruttner (1988) 制定的蜜蜂形態指標檢測方法。本研究中形態測定指標依據於 2006 年葛鳳晨主編《動物遺傳資源調查目錄》中蜜蜂部分所要求檢測的指標內容。

本研究首次系統採集了中國大陸境內的 20 個東方蜜蜂不同地理種群工蜂樣本，應用形態標記對中國大陸東方蜜蜂遺傳多樣性進行全面研究，分析群體間和群體內的遺傳變異，並探討彼此之間的親緣關係，為進一步保護和利用中國大陸東方蜜蜂遺傳資源提供理論依據。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

本研究涉及中國大陸境內東方蜜蜂種群共 21 個，分布於中國大陸 19 個省、市、自治區，基本涵蓋了中國大陸現有東方蜜蜂的主要聚居區。臺灣中蜂由於客觀原因，樣本只能採集 5 群，所以數據分析未將其列入。採集蜂群呈野生或半野生狀態，每一個種群均隨機採集 30 群以上的樣本（臺灣中蜂除外），每一個蜂群採集成年工蜂 20 只，其中取 1 只進行檢測。各種群採樣數及採樣地點見表一。樣本採集地點的生態特徵見表二。

## 二、形態學標記

參照 Ruttner (1988) 提出的蜜蜂外部形態特徵的鑒定方法，根據葛鳳晨主編《動物遺傳資源調查目錄》中蜜蜂部分所要求檢測的指標內容，對取樣工蜂的吻長、右前翅長與寬、肘脈指數、第 3 與 4 背板總長等指標進行測定。

## 三、數據分析

用 SPSS 軟件 15.0 版本對所有形態指標進行比較、相關分析、主成分分析和聚類分析。

## 結果與分析

### 一、20 個東方蜜蜂種群工蜂的形態測定值

20 個東方蜜蜂種群的形態數據見表三，各形態指標均存在顯著差異 ( $p < 0.05$ ) 或極顯著差異 ( $p < 0.01$ )。

西藏中蜂翅長平均值最大，為  $0.883 \pm 0.038$  cm，除與迪慶中蜂差異不顯著外 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群均差異顯著 ( $p < 0.05$ )；天水中蜂翅長最小，為  $0.731 \pm 0.041$  cm，除與海南中蜂差異不顯著外 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群皆差異顯著 ( $p < 0.05$ )。

迪慶中蜂翅寬最大，為  $0.294 \pm 0.020$  cm，除了與西藏中蜂、秦嶺中蜂、興城中蜂、西雙版納中蜂差異不顯著外 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群均差異顯著 ( $p < 0.05$ )；天水中蜂翅寬最小，為  $0.246 \pm 0.017$  cm，除了與海南中蜂和費縣中蜂差異不顯著外 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群均差異顯著 ( $p < 0.05$ )。

西藏中蜂翅面積平均值最大，為  $0.129 \pm 0.011$  cm<sup>2</sup>，除了與迪慶中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p < 0.05$ )；天水中蜂翅面積平均值最小，為  $0.090 \pm$

表一 21 個東方蜜蜂地理種群樣本採集

Table 1. Collecting data of 21 populations of *Apis cerana cerana* sampled from China

Population	Code	Collecting date	Collecting locality	Geographic latitude or longitude	Number of colonies sampled
Diqing	DQ	2007-09-10	Diqing, Yunnan	27° 40' N, 99° 55' E	33
Wuding	WD	2007-06-21	Wuding, Yunnan	25° 50' N, 102° 15' E	50
Xishuangbanna	XS	2007-09-13	Xishuangbanna, Yunnan	21° 6' N, 100° 07' E	30
A-ba	AB	2008-08-12	Maerkang, Sichuan	31° 28' N, 101° 50' E	41
Beijing	BJ	2007-07-12	Fangshan, Beijing	39° 56' N, 116° 20' E	33
Tiansui	TS	2007-08-09	Maijishan, Gansu	34° 4' N, 106° 0' E	59
Conghua	CH	2007-08-12	Conghua, Guangdong	23° 57' N, 113° 55' E	30
Nanning	NL	2007-08-10	Nanning, Guangxi	22° 50' N, 118° 11' E	32
Hainan	HN	2007-09-01	Haikou, Hainan	20° 03' N, 110° 35' E	53
Fengxian	LF	2007-05-10	Linfeng, Hunan	29° 28' N, 111° 36' E	31
Changbaishan	CB	2007-08-10	Dunhua, Jilin	41° 55' N, 127° 55' E	30
Xincheng	XC	2008-07-11	Xingcheng, Liaoning	40° 34' N, 120° 44' E	30
Qingling	QL	2008-04-09	Baoji, Shanxi	34° 35' N, 107° 42' E	30
Tibet	XZ	2008-6-23	Bomi, Tibet	24° 59' N, 121° 67' E	30
Huangshan	HS	2007-07-18	Huangshan, Anhui	29° 57' N, 118° 14' E	76
Wuyishan	WX	2007-04-20	Wuyishan, Fujian	27° 45' N, 118° 02' E	50
Nanchan	NC	2007-05-22	Nanchan, Jiangxi	31° 22' N, 119° 49' E	58
Feixian	FX	2007-08-20	Feixian, Handong	35° 15' N, 117° 58' E	30
Yixing	YX	2006-09-28	Yixing, Jiangsu	31° 22' N, 119° 49' E	81
Tonglu	TL	2007-07-19	Tonglu, Zhejiang	29° 50' N, 119° 34' E	35
Taiwan	TW	2008-07-12	Yilan, Taiwan	24° 59' N, 121° 67' E	5

表二 20 個東方蜜蜂地理種群分布區的生態特徵

Table 2. The ecological characters of 20 *Apis cerana* populations in their distribution area

Code	Climate	Latitude /	Altitude /m	Average temperature /°C	Yearly precipitation /mm	Frost free period /d	Yearly sunshine duration /h	Yearly average relative humidity	Percentage of forest cover/%
DQ	Temperate monsoon	27	3,300	5.4	620	128	1,964	70	34.6
WD	Warm temperate monsoon	26	1,910	13.2	999.7	242	2,326.2	69	54.2
XS	Tropical rain forest climate	22	800	21	1200	330	2,000	84	63
AB	Plateau continental monsoon	31	2,000	9	753	120	1,500	58	52.3
BJ	Warm temperate semi-arid continental monsoon	39	80	11	600	189	2,200	80	35.5
TS	Temperate continental arid monsoon	34	1,742	10.9	650	230	2,307	70	76
CH	South Asia tropical monsoon	24	600	20.5	1,900	303	1,750	79	67
NL	Subtropical monsoon	23	350	21.7	1,300	365	1,800	79	42.5
HN	Tropical ocean monsoon	20	180	23.8	1,664	346	2,225	85	72.6
LF	Temperate arid monsoon	29	150	16.4	1,346.5	270	1,719.5	81	34.3
CB	Temperate/continental monsoon	41	1,200	4	800	100	2,300	70	87.7
XC	North temperate subarid monsoon	40	330	9.9	600	175	2,700	88	29
QL	Warm tropical monsoon semi-arid continental monsoon	34	1,500	13	700	190	2,100	69	48.6
XZ	Subtropical monsoon	29	1,700	8.5	900	176	2,000	75	43
HS	Subtropical arid monsoon	30	500	15.5	1,670	200	1,800	70	75.3
WY	Subtropical maritime monsoon	27	350	18	1,342.5	326	1,980	77	62.96
NC	Subtropical arid monsoon	29	25	17	1,650	260	1,820	78.5	60.05
FX	Warm temperate monsoon	35	200	13.4	860	196	2,538	60	35
YX	Subtropical monsoon	31	250	15.8	1,180	235	200	83	32
TL	Subtropical monsoon	30	400	16.5	1,462	254	1,667	76	87
TW	Subtropical monsoon	25	300	20.3	1,400	350	2,139	84	74

表三 20個東方蜜蜂地理種群形態數據平均值與標準誤

Table 3. The average and standard error in morphological features of 20 *Apis cerena* populations

population	F <sub>l</sub> /cm	F <sub>B</sub> /cm	A <sub>w</sub> /cm <sup>2</sup>	P <sub>r</sub> /cm	C <sub>i</sub>	T <sub>3+4</sub> /cm
DQ	0.870 ± 0.086 ab	0.294 ± 0.020a	0.128 ± 0.020ab	0.446 ± 0.042bc	3.272 ± 0.680b	0.383 ± 0.024bc
WD	0.757 ± 0.038 e	0.257 ± 0.012d	0.097 ± 0.008e	0.416 ± 0.052cd	3.487 ± 0.727b	0.306 ± 0.025g
XS	0.857 ± 0.057 b	0.286 ± 0.017ab	0.123 ± 0.013b	0.497 ± 0.062ab	2.106 ± 0.583d	0.389 ± 0.035b
AB	0.857 ± 0.024 b	0.278 ± 0.017bc	0.119 ± 0.009b	0.490 ± 0.049ab	2.894 ± 0.610c	0.354 ± 0.027de
BJ	0.812 ± 0.024 c	0.270 ± 0.015c	0.110 ± 0.008cd	0.405 ± 0.044d	3.807 ± 1.151a	0.353 ± 0.016de
TS	0.731 ± 0.041 f	0.246 ± 0.017e	0.090 ± 0.010f	0.389 ± 0.059de	2.714 ± 0.517c	0.310 ± 0.023g
CH	0.793 ± 0.041 cd	0.256 ± 0.011d	0.102 ± 0.008de	0.501 ± 0.051a	2.868 ± 0.622c	0.345 ± 0.018e
NN	0.776 ± 0.045 de	0.281 ± 0.015bc	0.109 ± 0.011cd	0.414 ± 0.070cd	3.670 ± 0.033 ab	0.352 ± 0.023de
HN	0.732 ± 0.065 f	0.249 ± 0.018e	0.091 ± 0.014f	0.381 ± 0.048de	2.946 ± 0.531c	0.324 ± 0.026f
LF	0.836 ± 0.032 d	0.270 ± 0.002c	0.113 ± 0.001c	0.472 ± 0.068b	2.800 ± 0.663c	0.358 ± 0.018de
CB	0.856 ± 0.051 b	0.274 ± 0.030c	0.118 ± 0.007bc	0.475 ± 0.052ab	3.651 ± 0.638b	0.403 ± 0.063a
XC	0.857 ± 0.040 b	0.287 ± 0.012ab	0.123 ± 0.010b	0.479 ± 0.057ab	3.237 ± 0.691d	0.364 ± 0.017cd
QL	0.837 ± 0.033 b	0.287 ± 0.013ab	0.120 ± 0.009b	0.390 ± 0.038de	2.142 ± 0.089d	0.359 ± 0.019d
XZ	0.883 ± 0.038 a	0.291 ± 0.017ab	0.129 ± 0.011a	0.426 ± 0.053cd	2.342 ± 0.105d	0.400 ± 0.054ab
HS	0.778 ± 0.046 d	0.270 ± 0.017c	0.105 ± 0.012d	0.439 ± 0.052c	3.711 ± 0.968ab	0.342 ± 0.021e
WY	0.793 ± 0.039 cd	0.277 ± 0.018c	0.110 ± 0.010cd	0.399 ± 0.056d	3.610 ± 0.915ab	0.344 ± 0.014e
NC	0.795 ± 0.049 cd	0.268 ± 0.016c	0.107 ± 0.012d	0.366 ± 0.069e	2.967 ± 0.716c	0.341 ± 0.021e
FX	0.777 ± 0.051 d	0.254 ± 0.019de	0.099 ± 0.012e	0.415 ± 0.062cd	2.887 ± 0.651c	0.333 ± 0.027ef
YX	0.786 ± 0.033 d	0.278 ± 0.013bc	0.109 ± 0.008bc	0.372 ± 0.057e	3.438 ± 0.716b	0.343 ± 0.018e
TL	0.840 ± 0.044 b	0.283 ± 0.017b	0.119 ± 0.012bc	0.497 ± 0.050ab	3.446 ± 0.820b	0.373 ± 0.033c
F 值	41.279**	29.880**	42.136**	27.831**	3.272 ± 0.680b	36.997**

Note: the different numbers in the same column indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ); \*\* indicates an extreme difference ( $p < 0.01$ ).

0.010 cm<sup>2</sup>，除了與海南中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p < 0.05$ )。

從化中蜂吻長最大，為 0.501 ± 0.05 cm，與桐廬中蜂、西雙版納中蜂、阿壩中蜂、興城中蜂、長白山中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p < 0.05$ )；南昌中蜂吻長平均值最小，為 0.366 ± 0.069 cm，與天水中蜂、秦嶺中蜂、海南中蜂和宜興中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p < 0.05$ )。

北京中蜂肘脈指數最高，為 3.807 ±

1.151，除了與黃山中蜂、南寧中蜂、長白山中蜂、武夷山中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p < 0.05$ )。西雙版納中蜂肘脈指數最低，為 2.106 ± 0.583，與其他所有地理種群均有差異 ( $p < 0.05$ )。

長白山中蜂第 3、4 背板總長最大，為 0.403 ± 0.063 cm，除了與西藏中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p < 0.05$ )；武定中蜂第 3、4 背板總長最小，為 0.306 ± 0.025 cm，除了與天水中蜂差異不顯著 ( $p > 0.05$ )，與其他地理種群差異顯著 ( $p <$

表四 20 個東方蜜蜂地理種群的形態指標相關分析

Table 4. The correlation coefficient of morphology features in 20 *Apis cerena* populations

	F <sub>L</sub>	F <sub>B</sub>	A <sub>W</sub>	Pr	Ci	T <sub>3+4</sub>
F <sub>B</sub>	0.639**					
A <sub>W</sub>	0.387**	0.368**				
Pr	0.370**	0.022**	0.151**			
Ci	-0.074	0.023	-0.051	-0.009		
T <sub>3+4</sub>	0.619**	0.517**	0.264**	0.316**	-0.044	

Note: F<sub>L</sub> indicates the length of the wing, F<sub>B</sub> indicates the width of the wing, A<sub>W</sub> indicates the area of the wing, Ci indicates the length of the proboscis, Pr indicates the cubital vein indexes, T<sub>3+4</sub> indicates the length of terga 3 and 4.

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). \* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

表五 相關矩陣特徵值和累積貢獻率

Table 5. Character value and accumulated contribution rate of the correlated matrix

Component	Total	Percentage of Variance %	Cumulative %
1	2.616	43.597	43.597
2	1.008	16.792	60.390
3	0.876	14.595	74.985
4	0.731	12.191	87.176
5	0.455	7.585	94.761
6	0.314	5.239	100.000

0.05)。

## 二、6 項形態指標間的相關分析

6 項形態指標間相關分析數據見表二～四。由表型相關分析可以看出，前翅長、前翅寬、前翅面積、吻長與第 3、4 背板總長之間均有極顯著相關 ( $p < 0.01$ )，肘脈指數與其它形態指標均不相關 ( $p > 0.05$ )。

## 三、20 個東方蜜蜂地理種群 6 項形態指標主成分分析

將 10 個蜜蜂群體的形態測定值進行主成分分析 (PCA)，由表五可見：第 1 特徵值貢獻率為 44.975。第 2、第 3、第 4 特徵值貢獻率分別為 17.466、16.605、11.635。根據累積貢獻率達 85% 以上，即信息損失量在 15% 以下的原則。本研究選取前 4 個特徵值，並分別定義為第 1、第 2、第 3、第 4 主成分。主成份結合的變異信息見表六，其數學表達式如下：

$$F1 = 0.875 X1 + 0.797 X2 + 0.570 X3 + 0.517 X4 - 0.071 X5 + 0.786 X6$$

表六 主成分的特徵向量

Table 6. Component matrix of 4 principal components

	Component			
	1	2	3	4
F <sub>L</sub> (mm)	0.875	-0.020	0.007	-0.136
F <sub>B</sub> (mm)	0.797	0.114	-0.218	-0.231
A <sub>W</sub> (mm <sup>2</sup> )	0.570	-0.095	-0.526	0.607
Pr (mm)	0.517	0.068	0.731	0.424
Ci	-0.071	0.990	-0.077	0.059
T <sub>3+4</sub> (mm)	0.786	0.019	0.107	-0.329

Note: F<sub>L</sub> indicates the length of the wing, F<sub>B</sub> indicates the width of the wing, A<sub>W</sub> indicates the area of the wing, Ci indicates the length of the proboscis, Pr indicates the cubital vein indexes, T<sub>3+4</sub> indicated length of terga 3+4.

表七 相關矩陣特徵值和累積貢獻率

Table 7. The character value and the accumulated contribution rate of the correlated matrix

Component	Total	Percentage of Variance %	Cumulative %
1	3.425	24.464	24.464
2	3.082	22.016	46.480
3	1.712	12.227	58.707
4	1.424	10.170	68.877
5	1.107	7.904	76.781
6	1.024	7.315	84.096
7	0.741	5.291	89.386
8	0.584	4.168	93.554
9	0.394	2.815	96.370
10	0.287	2.053	98.423
11	0.126	0.902	99.325
12	0.053	0.379	99.704
13	0.041	0.295	99.999
14	9.086E-05	0.001	100.000

$$F_2 = -0.020 X_1 + 0.114 X_2 - 0.095 X_3 - 0.068 X_4 + 0.990 X_5 - 0.019 X_6$$

$$F_3 = -0.007 X_1 - 0.218 X_2 - 0.526 X_3 + 0.731 X_4 - 0.077 X_5 + 0.107 X_6$$

$$F_4 = -0.136 X_1 - 0.231 X_2 + 0.607 X_3 + 0.424 X_4 + 0.059 X_5 - 0.329 X_6$$

F 表示主成分，X<sub>1</sub>~X<sub>6</sub> 代表 6 項體量指標。

#### 四、形態指標與生態地理環境的主成分分析

20 個東方蜜蜂地理種群採集點的生態特徵見表二。20 個中蜂群體 6 個形態指標和 8

表八 主成分的特徵向量

Table 8. Component matrix of 7 principal components

	Component						
	1	2	3	4	5	6	7
F <sub>L</sub> (mm)	0.338	0.683	-0.248	-0.064	-0.151	-0.232	0.057
F <sub>B</sub> (mm)	0.661	0.432	-0.112	0.352	0.317	0.056	0.132
A <sub>W</sub> (mm <sup>2</sup> )	0.635	0.669	-0.211	0.208	0.134	-0.082	0.122
Pr (mm)	0.434	-0.280	0.610	0.007	-0.256	0.274	0.093
Ci	0.062	-0.274	-0.186	-0.391	0.709	-0.214	-0.287
T <sub>3+4</sub> (mm)	0.523	0.451	0.178	-0.424	0.008	0.135	0.322
Latitude/	0.786	-0.276	0.045	-0.005	0.219	0.321	-0.194
Altitude/m	0.035	-0.506	-0.695	0.085	-0.253	-0.223	0.261
Average temperature/°C	0.151	-0.101	0.689	0.203	0.234	-0.562	0.195
Yearly precipitation/mm	-0.795	0.321	0.327	-0.033	0.211	0.209	0.151
Frost free period/d	-0.667	0.608	0.086	0.272	0.045	-0.241	-0.050
Yearly sunshine duration/h	0.255	-0.306	0.095	0.804	-0.057	-0.025	-0.254
Yearly average relative humidity	-0.152	0.828	-0.054	0.070	-0.109	0.256	-0.372
Percentage of forest cover/%	-0.444	-0.173	-0.262	0.380	0.411	0.431	0.373

Note: F<sub>L</sub> indicates the length of the wing, F<sub>B</sub> indicates the width of the wing, A<sub>W</sub> indicates the area of the wing, Ci indicates the length of the proboscis, Pr indicates the cubital vein indexes, T<sub>3+4</sub> indicates the length of terga 3+4.

項生態特徵指標標準化後的相關矩陣特徵值、累積貢獻率見表七、表八。將 20 個中蜂群體的形態測定值與所在生態環境特徵進行主成分分析 (PCA)，由表可見：第 1 特徵值貢獻率為 24.464。第 2、3、4、5、6、7 特徵值貢獻率分別為 22.016、12.227、10.170、7.904、7.315、5.291。根據累積貢獻率達 85% 以上，即信息損失量在 15% 以下的原則。本研究選取前 7 個特徵值，並將前 7 個特徵值分別定義為第 1、第 2、第 3、第 4、第 5、第 6、第 7 主成分。主成份結合的變異信息見表八，其數學表達式如下：

$$F1 = 0.338 X1 + 0.661 X2 + 0.635 X3 + 0.434 X4 - 0.062 X5 + 0.523 X6 + 0.786 X7 + 0.035 X8 + 0.151 X9 - 0.795 X10 - 0.667 X11 + 0.225 X12 - 0.152 X13 - 0.444 X14$$

$$F2 = 0.683 X1 + 0.432 X2 + 0.669 X3 - 0.280 X4 - 0.274 X5 + 0.451 X6 - 0.276$$

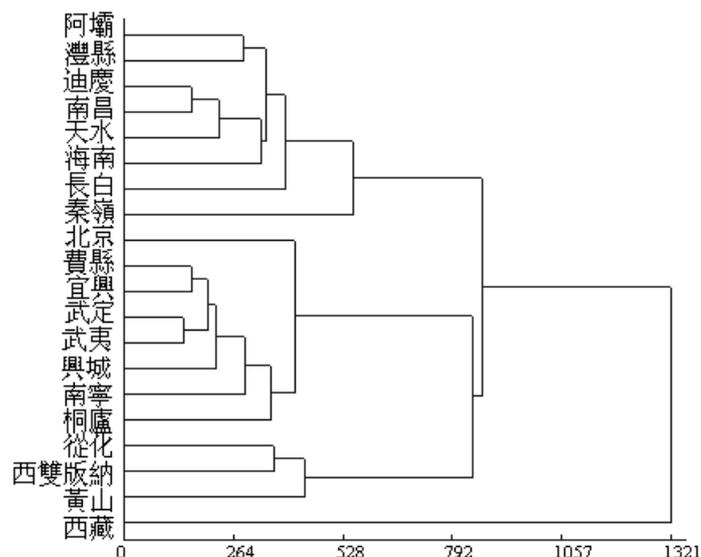
$$X7 - 0.506 X8 - 0.101 X9 + 0.321 X10 + 0.608 X11 - 0.306 X12 + 0.828 X13 - 0.173 X14$$

$$F3 = -0.248 X1 - 0.112 X2 - 0.211 X3 + 0.610 X4 - 0.186 X5 + 0.178 X6 - 0.045 X7 - 0.695 X8 + 0.689 X9 + 0.327 X10 + 0.086 X11 + 0.095 X12 - 0.054 X13 - 0.262 X14$$

$$F4 = -0.064 X1 + 0.352 X2 + 0.208 X3 + 0.007 X4 - 0.391 X5 - 0.424 X6 - 0.005 X7 + 0.085 X8 + 0.203 X9 - 0.033 X10 + 0.272 X11 + 0.804 X12 + 0.070 X13 + 0.380 X14$$

$$F5 = -0.151 X1 + 0.317 X2 + 0.134 X3 - 0.256 X4 + 0.709 X5 + 0.008 X6 + 0.219 X7 - 0.253 X8 + 0.234 X9 + 0.211 X10 + 0.045 X11 - 0.057 X12 - 0.109 X13 + 0.411 X14$$

$$F6 = -0.232 X1 + 0.056 X2 - 0.082 X3 +$$



圖一 20 個東方蜜蜂種群 7 個主成份聚類結果。

Fig. 1. The results of clustering on 20 *Apis cerana* populations according to the 7 indexes.

$$\begin{aligned}
 &0.274 X_4 - 0.214 X_5 + 0.135 X_6 + 0.321 \\
 &X_7 - 0.223 X_8 - 0.562 X_9 + 0.209 X_{10} - \\
 &0.241 X_{11} - 0.025 X_{12} + 0.256 X_{13} + \\
 &0.431 X_{14} \\
 F_7 = &-0.057 X_1 + 0.132 X_2 + 0.122 X_3 - \\
 &0.093 X_4 - 0.287 X_5 + 0.332 X_6 - 0.194 \\
 &X_7 + 0.261 X_8 + 0.195 X_9 + 0.151 X_{10} \\
 &- 0.050 X_{11} - 0.254 X_{12} - 0.372 X_{13} + \\
 &0.373 X_{14}
 \end{aligned}$$

其中 F 表示主成分，X1~X6 代表 6 項體量指標，X7~X14 代表 8 項生態指標。

### 五、形態標記聚類分析

對 20 個東方蜜蜂不同種群的形態特徵與其所處的生態環境特徵主成分變異信息分析見表八，各群體 7 個主成分值計算出各自的相似係數，根據歐氏距離分析法綜合形態指

標與生態特徵進行系統聚類，聚類結果見圖一。結果表明，西藏中蜂被聚在最外面，其餘種群分成兩大類：阿壩中蜂、豐縣中蜂、迪慶中蜂、南昌中蜂、天水中蜂、海南中蜂、長白山中蜂、秦嶺中蜂為一類，其餘種群為另一類。除了西藏中蜂以外，其餘公認的異於中蜂亞種的種群均未與中蜂群體區別開，聚類分析結果與地理距離的遠近沒有關係。

## 討 論

### 一、東方蜜蜂種群取樣原則

東方蜜蜂在中國大陸已有了 7,000 多萬年的進化史，遍布於中國大陸除新疆以外的各個地區，形成極其豐富的遺傳多樣性和生態地理型。不同地理型東方蜜蜂之間往往存在比較明顯的形態差異，如蜂王體色、工蜂個體大小等，多年來蜜蜂分類學家根據形態差異和生態

地理環境對不同地區東方蜜蜂進行遺傳分化研究，得出很多不同的結論。本研究首次在全國範圍內對東方蜜蜂遺傳資源和生態環境進行系統和全面的調查，採樣點西至藏南喜馬拉雅山北麓，南至海南島，北到長白山區。

本研究所選擇的 21 個東方蜜蜂地理種群採樣地點基於以下的原則：(1) 將目前較為公認的異於中華蜜蜂亞種的東方蜜蜂亞種進行採集，包括海南中蜂（取自海南海口）、阿壩中蜂（取自四川馬爾康）、西藏中蜂（取自西藏波密）；(2) 將較為公認的不同生態型中華蜜蜂代表地理種群進行採集，如雲貴高原型（武定中蜂，取自雲南武定）、華南型（從化中蜂，取自廣東從化；南寧中蜂，取自廣西南寧）、華中型（黃山中蜂，取自安徽黃山；桐廬中蜂，取自浙江桐廬）、華北型（北京中蜂，取自北京房山；天水中蜂，取自甘肅天水）、東北型（長白山中蜂，取自吉林敦化；興城中蜂，取自遼寧興城）、中部中蜂（醴縣中蜂，取自湖南醴陵；南昌中蜂，取自江西南昌；武夷山中蜂，取自福建武夷山）；(3) 將疑似不同亞種的地理種群採集，包括疑似印度亞種的西雙版納中蜂（取自雲南西雙版納）、疑似西藏中蜂的迪慶中蜂（取自雲南迪慶）；(4) 將亟待保護，種群數量稀少的中華蜜蜂地理種群採集，包括費縣中蜂（取自山東費縣）和宜興中蜂（取自江蘇宜興）。(5) 將產生明顯地理隔離的地理種群採集，主要是臺灣中蜂（取自臺灣宜蘭）。採集的 21 個東方蜜蜂地理種群應涵蓋了中國大陸境內的主要東方蜜蜂的各種地理生態型，具有充分的代表性。

雖然新法飼養東方蜜蜂的推廣已經歷許多年，但是調查發現目前東方蜜蜂飼養除了極少數地區以外，仍然以桶養，散養為主，生產方式粗放，蜜蜂處於野生和半野生狀態，一般不會發生人工干預，蜂王交配過程都是隨機發

生的，所以在同一地點或鄰近地區採集的種群樣本完全可以反映當地蜜蜂的遺傳變異情況。同時為研究和數據分析的需要，每個種群採樣數均大於或等於 30 群，研究結果更具說服力。

## 二、20 個東方蜜蜂地理種群形態指標差異分析

前翅長與寬較大，即蜜蜂前翅面積較大表明工蜂的飛翔能力強，從而對零星蜜源的尋找與採集能力強，因此也對相對惡劣的自然環境適應性強 (Shao, 1998)。通過對 20 個不同地理種群東方蜜蜂形態指標檢測結果表明，西藏中蜂和迪慶中蜂在翅長、翅寬與翅面積三個指標上與其它蜜蜂種群存在一個或多個指標的顯著性差異，說明西藏中蜂與迪慶中蜂擁有更強的飛行能力，更善於尋找零星蜜粉源。迪慶中蜂採自雲南省迪慶藏族自治州，地處橫斷山脈東側，海拔在 3,500 米左右，是蜜蜂生存的高度極限，這裏可利用的蜜粉源植物極少；西藏中蜂所在西藏自治區林芝地區波密縣，雖然海拔較低，約 1,500 米，但其地處喜馬拉雅山北麓，植被雖然十分茂密，然而開花植物十分稀少，蜜蜂採集十分困難，必然需要強有力的飛翔和尋覓蜜源的能力，這也是東方蜜蜂在惡劣環境下不斷進化的結果 (Ren and Sun, 1985)。阿壩中蜂所在四川省阿壩藏族自治州也在高海拔地區，但其工蜂的右翅長、寬及翅面積卻並未表現出明顯的差異，估計這與當地地處秦嶺南麓，蜜粉源十分豐富有關 (Zheng, 2003)。

吻長是判斷蜜蜂採蜜能力的一項形態指標，吻較長的蜜蜂可以採集到相對較深花管的花蜜，可選擇的授粉植物種類更多。從化中蜂與桐廬中蜂、西雙版納中蜂、阿壩中蜂、興城中蜂、長白山中蜂等吻長沒有差異，且高於其

它的群體，說明這幾個東方蜜蜂群體對蜜源植物的適應性更強，採集蜜源和傳授花粉的範圍更大。

工蜂背板長度是衡量蜜蜂腹部大小的相對標準，通常以工蜂腹節的第 3、4 背板長度的總和來表示。第 3、4 背板所對應的是工蜂的腹部，也就是工蜂蜜囊的所在 (Chen, 2001)。背板越長，蜜囊越大，貯存花蜜越多。所有的東方蜜蜂種群中，長白山中蜂與西藏中蜂的第 3、4 背板總長最長，說明它們貯蜜能力最強，生產蜂蜜的性能也越強。

### 三、形態指標之間相關關係

無論是前翅面積、吻長還是第 3、4 背板的總長，這些形態標記都是與蜜蜂採集能力密不可分。本研究結果表明 20 個東方蜜蜂的右前翅長、前翅寬、前翅面積與第 3、4 背板總長均有極顯著相關 ( $p < 0.01$ )，吻長與前翅長、前翅寬與第 3、4 背板總長均有極顯著相關 ( $p < 0.01$ )，結果是符合於實際情況，也就是說，體型較大的東方蜜蜂種群在對外界蜜源環境的適應及蜜源的採集上優於體型較小的種群。肘脈指數反映的是蜜蜂翅脈上發生的變異，是蜜蜂品種間差異的指標，和蜜蜂各項經濟性狀無關，本研究表明肘脈指數與其它形態指標均不相關 ( $p > 0.05$ )，充分說明肘脈指數是一個相對獨立的形態標記。這可能也是龔一飛 (1980) 指出肘脈指數是劃分蜜蜂亞種的依據之一的原因。

### 四、主成分分析結果

對 20 個東方蜜蜂種群的 6 個形態特徵數據主成分分析的結果表明，東方蜜蜂工蜂形態特徵的信息量主要反映在 4 個主成分上，四個主成分的累計貢獻率達 90.681%，從所有這些分析來看，20 個蜜蜂種群的形態學變

異極為複雜，多個形態指標對種群間的變異都有貢獻，充分說明東方蜜蜂形態指標上具有豐富的遺傳多樣性。

中國大陸東方蜜蜂主要是以野生及半野生為主，新法飼養的蜂群都是定地飼養的，一般不會轉地飼養，本研究採集的蜜蜂種群樣本均是長期以來固定生活在採樣地獨特生態環境中的東方蜜蜂，所以研究結果中應結合各個種群分布的地理生態環境進行綜合考量。王桂芝 (2007) 對華北地區東方蜜蜂形態特徵分析表明其形態特徵與當地環境因子呈線性相關。本研究利用 6 個形態標記和 8 個生態特徵數據進行主成分分析，結果表明，形態標記和生態特徵的信息量主要反映在 7 個主成分上，其中包括有多個生態環境因素。說明了生態環境因素對東方蜜蜂不同種群形態變異產生了影響，所以主成分因素的分析除了考慮蜜蜂個體形態特徵差異外，蜂群所生活地區的環境因素也應被納入其中。

### 五、形態標記聚類分析結果

根據東方蜜蜂形態標記與生態特徵 7 個主成分因素對不同種群進行聚類分析，結果發現，東方蜜蜂形態標記聚類與前人的研究都不同，除了西藏中蜂反映出與其它種群不同的形態特徵之外，其餘公認的異於中蜂亞種的不同生態型或亞種均未與中蜂區別開，原因有兩方面：(1) 目前可用的蜜蜂形態標記比較多，而本研究重點是對東方蜜蜂分子水平上標記進行比較分析，時間與經費均有限，所選取的東方蜜蜂的形態標記雖然較具代表性，但不足以完全代表不同種群實際形態變異水平；(2) 東方蜜蜂作為野生或半野生狀態下的經濟昆蟲，所受到生態環境的影響是比較大的，這一點在對東方蜜蜂主成分分析已充分說明，而之前的許多研究均忽視了生態因素對東方蜜蜂

形態發育的影響，不能全面準確反映出不同種群形態差異。

聚類結果顯示地理距離並不是影響東方蜜蜂形態差異的決定因素。地理距離較近的種群並未聚在一起，如黃山中蜂與桐廬中蜂；而地理距離極遠的種群卻聚為一枝，如迪慶中蜂與南昌中蜂。一般研究認為隨著海拔高度和緯度的增加，蜜蜂個體隨之增大，從而形成高原型與平原型兩種不同生態型，但本研究聚類結果卻沒有反應出這一情況，往往低海拔地區與高海拔地區的種群聚在一起，具體原因有待進一步研究。

### 引用文獻

- Chen, S. L.** 2001. The Apiculture Science in China. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Gong, Y. F.** 1980. Apiculture Science. Fujian Science and Technology Press, Fuzhou. (in Chinese)
- Ren, Z. J., and Q. H. Sun.** 1985. The situation of *Apis cerana* in Tibet. Apic. China 5: 9-10. (in Chinese)
- Ruttner, F.** 1988. Biogeography and Taxonomy of Honeybee. Heidelberg: Springer-Verlag, Berlin.
- Shao, R. Y.** 1998. Science of Honeybee Breeding. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Tan, K., X. Zhang, S. Y. He, and D. Y. Zhou.** 2005. Morphology and Biogeography of *Apis cerana* (Fabr.) in China. J. Yunnan Agric. Univ. 20: 410-414. (in Chinese)
- Wang, G. Z.** 2007. Research on Diversity and Classification of *Apis Cerana* from North-China. Shandong: Shandong Agric Univ. (in Chinese)
- Yang, G. H.** 2005. Harm of introducing the western honeybee *Apis mellifera* L. to the Chinese honeybee *Apis cerana* F. and its ecological impact. Acta Entomol. Sinica. 48: 401-406. (in Chinese)
- Zheng, D. H.** 2003. Talking about *Apis cerana cerana* in Tibet. J. Bee. 1: 24. (in Chinese)

收件日期：2009年9月1日

接受日期：2009年10月14日

# Investigating the Genetic Diversity among *Apis cerana* in China

Ting Ji, Ling Yin, Min Liu, and Guo-Hong Chen\*

College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Jiangsu, China

## ABSTRACT

Six main indexes of external morphology of 20 *Apis cerana* populations in China were described. The findings showed that there were significant differences ( $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ ) among 6 characteristics in 20 populations in China, indicating that the genetic diversity of these 20 *Apis cerana* populations was abundant. The findings showed that significant differences ( $p < 0.01$ ) existed in the length, width and area of the anterior wing, in the length of the proboscis and the length of terga 3 and 4; there was no difference between the cubital vein indexes and other characteristics ( $p > 0.05$ ), indicating that the cubital vein index was an independent morphological feature. The principal component analysis (PCA) of the 6 main indexes of external morphological features and the 8 ecological features of the 20 populations showed that the difference among the morphological features was as a result of 7 principal components including both morphological and ecological features. The contribution rate of these two features was 89.386%. Thus, not only the morphological features but also the ecological features should be considered in principal component analysis.

**Key words:** *Apis cerana*, morphological markers, genetic diversity

\* Corresponding email: ghchen@yzu.edu.cn