

Morphometric Analysis of Far East Blank Bee Based on 13 Indexes of Morphometry

Jingzhou Wang¹, Yunbo Xue¹, Fa Zhang¹, Shuihua Jin², Xing'an Li¹

¹Jilin Provincial Key Laboratory for Honeybee Genetics and Queen Breeding (Jilin Provincial Institute of Apicultural Sciences), Jilin

²Pinghu Affiliated Breeding Apiary in Zhejiang Province (Pinghu Bureau of Animal Husbandry), Pinghu
Email: Lxingan@sina.com

Received: Sep. 1st, 2014; revised: Sep. 10th, 2014; accepted: Sep. 15th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A Microscopic image analysis was conducted to collect a set of morphometric data for characterizing morphological features of Far East Blank Bee. First of all, we measured 13 indexes of morphometry of 10 colonies of both Far East Blank Bee and *Apis mellifera mellifera*, respectively. Then we compared discreteness of means of measured values between them, and compared difference of the means between them. Compared to samples of colonies of *Apis mellifera mellifera* in the measurements of proboscis length, width and surface area of wax mirror IV, samples of colonies of Far East Blank Bee are showed with shorter proboscis, shorter wax mirror IV, and smaller surface area of wax mirror IV ($P < 0.05$, respectively). On the contrary, compared to samples of the former with the measurements of the others, samples of the latter are not showed with significant difference of measurements, including width of tergum III, both length and width of tergum IV, length of wax mirror IV, length, width, surface area, cubital index of forewing, and both length and width of metabasitarsus hindleg ($P > 0.05$, respectively). The present analysis could distinguish the morphometric difference between the samples of colonies of both Far East Blank Bee and *Apis mellifera mellifera*.

Keywords

Far East Blank Bee, Morphometric Analysis, Size Characters of Morphometry, Proboscis, Wax Mirror IV

基于13项形态学指标的远东黑蜂形态变异分析

王进州¹, 薛运波¹, 张发¹, 金水华², 李兴安¹

¹吉林省蜜蜂遗传育种重点实验室(吉林省养蜂科学研究所), 吉林

²浙江平湖畜牧局蜜蜂育种场, 平湖

Email: Lxingan@sina.com

收稿日期: 2014年9月1日; 修回日期: 2014年9月10日; 录用日期: 2014年9月15日

摘要

为了积累远东黑蜂的形态学数据, 和以此数据为依据表征远东黑蜂, 本研究首先通过显微图像分析方法分别测定了10群远东黑蜂样本和10群欧洲黑蜂样本各自的13项尺度类形态学指标; 其次, 通过F-分析比较了远东黑蜂样本测定值均数与欧洲黑蜂样本测定值均数的离散程度, 通过t-检验比较了远东黑蜂样本测定值均数与欧洲黑蜂样本测定值均数的差异性。远东黑蜂样本的吻长度、第四蜡镜宽度、第四蜡镜面积测定值均数, 都明显地小于欧洲黑蜂样本的相应测定值均数($P < 0.05$); 相反, 它们之间的第三背板宽度、第四背板长度、第四背板宽度、第四蜡镜长度、前翅长度、前翅宽度、前翅面积、前翅肘脉指数、后腿跗节长度以及后腿跗节宽度测定值均数, 都没有差异($P > 0.05$)。这提示, 相对于欧洲黑蜂, 远东黑蜂具有明显的形态学体征: 短的吻长度, 短的第四蜡镜宽度和小的第四蜡镜面积。

关键词

远东黑蜂, 形态变异分析, 尺度类形态学指标, 吻, 第四蜡镜

1. 引言

俄罗斯远东蜜蜂(Russia Far East Bee), 国内文献多称之为远东黑蜂(Far East Black Bee), 国外文献多称之为俄罗斯蜜蜂(Russia honeybee), 是欧洲人于19世纪中期向俄罗斯远东地区移居时引入的西方蜜蜂[1][2]。在一百五十多年进化过程中, 远东黑蜂在适应当地冬季寒冷气温和经历漫长越冬期的基础之上具备了抗寒性; 同时, 这个地区位于东方蜜蜂分布地域的最北端, 远东黑蜂与当地东方蜜蜂地方类群形成了种间同域物种, 它们之间的种间竞争促进远东黑蜂逐渐演变成为螨(特别是大满)的寄生宿主[3]-[7]。因此, 远东黑蜂既保留了西方蜜蜂所具有的蜂蜜高产这个农艺性状, 同时获得了东方蜜蜂所具有的抵抗寒冷气候和螨侵袭的生物学特征[8]。美国于1997年引入远东黑蜂, 并于2009年开始在全国范围内推广含有部分远东黑蜂血统的商业用种蜂王[9]。

西方蜜蜂具有庞大的地方类型家族成员, 西方蜜蜂形态变异分析(结合西方蜜蜂系统地理学分析)鉴定了不少于24~29个西方蜜蜂地方类型, 并且大致将它们归纳为非洲世系、西部欧洲世系、东部欧洲世系和亚洲世系[10][11]。比之于西方蜜蜂西部欧洲世系, 西方蜜蜂东部欧洲世系能够充分适应全球不同的地理、气候以及生态环境, 并且形成了西方蜜蜂最复杂的种内系统关系[11]。远东黑蜂可能属于西方蜜蜂东部欧洲世系。比如, Rinderer和Collins(1976)根据俄罗斯远东地区的养蜂历史文献记载认为远东黑蜂是乌克兰蜜蜂(*Apis mellifera acervorum*)的后代[12]。我国一些学者也认为, 远东黑蜂很有可能是东部欧洲世系内不同地方类型之间的杂交种, 或者在此遗传背景之上含有欧洲黑蜂血统[13]。

然而, 迄今为止, 国内外相关领域尚缺乏远东黑蜂形态变异分析的文献报道。为了积累远东黑蜂的形态学数据, 和以此数据为依据表征远东黑蜂, 本研究首先通过随机抽样方法从远东黑蜂保种群和欧洲黑蜂保种群中各指定 10 群蜜蜂, 通过选择抽样方法从每一群蜜蜂中采集 60 只体色一致、形体均一的工蜂; 其次, 通过显微图像分析方法测定了每一只工蜂的 13 项尺度类形态学指标; 最后, 通过 F-分析比较了上述指标测定值均数的离散性, 以及通过 t-检验比较了它们的差异性。

2. 材料与方法

2.1. 实验设计

本研究包括室内试验和室外试验两部分。野外实验主要包括远东黑蜂样本和欧洲黑蜂样本的取样和取样方法; 室内实验主要包括样本的昆虫外部器官解剖及载玻片制作, 样本的形态学指标测定及指标测定记录, 以及样本的测定数据归纳及统计学检验。

2.2. 取样及取样方法

俄罗斯远东海冰边疆地区(北纬: 42°20'~48°25', 东经: 130°20'~139°)是远东黑蜂的诞生地, 俄罗斯乌拉尔山脉近基洛夫地区(北纬: 56°03'~61°04', 东经: 41°17'~53°56')是欧洲黑蜂的主要分布区。在相同的蜜蜂繁殖季节(即, 2012 年 7 月), 通过随机抽样方法, 分别从分布于上述俄罗斯地区的远东黑蜂保种群和欧洲黑蜂保种群中指定 10 群蜜蜂, 通过选择抽样方法, 从每一群蜜蜂中采集 60 只体色一致、形体均一的工蜂, 浸泡于盛有 75%乙醇的 250-ml 型标本瓶中。

2.3. 昆虫外部器官解剖及载玻片制作

参照西方蜜蜂解剖图谱[14], 用眼科手术镊子和剪刀依次将吻、第三背板、第四背板、第四蜡镜、右前翅以及右后腿从相应部位解剖出来, 并且浸泡于 30%乙醇溶液。

依据载玻片涂片法的实验步骤, 分别将吻、第三背板、第四背板、第四蜡镜、右后腿远端跗节固定于甘油中; 依据载玻片滴片法的实验步骤, 将右前翅固定于去离子水中。每一张载玻片承载 20~25 个相同类型的蜜蜂解剖器官。

2.4. 形态学指标测定及指标测定记录

M165FC-型计算机辅助显微图像分析系统(德国, 徕卡)具有图像捕获和数据处理两个应用软件。前者通过多通路光学-数字转化功能将载玻片承载的蜜蜂解剖器官自动录入 Excel 文档, 并且按照先后顺序在 Excel 文档自动排列图像; 后者通过线性指标测定功能依次对排列图像进行长度测定, 并且将指标测定值按照指标分类类别形式自动记录于 Excel 文档。在进行长(或宽)度指标测定过程中, 用计算机鼠标选择长(或宽)度测定选项, 并在待测样品图像的测定位置点击一个起点和一个终点, 起点至终点的直线距离即为待测样品的长(或宽)度测定值; 在进行面积指标测定过程中, 用计算机鼠标选择面积测定选项, 并在待测样品图像的测定位置沿面积边缘将曲线分解为若干直线, 点击每一条直线所对应的一个起点和一个终点, 每一起点至终点的直线距离所覆盖的区域大小即为待测样品的面积测定值。本研究通过上述方法分别测定了每一只远东黑蜂样本和每一只欧洲黑蜂样本的吻长度, 第三背板宽度, 第四背板长度和宽度, 第四蜡镜长度、宽度和面积, 前翅长度、宽度和面积, 以及跗节长度和宽度。此外, 本研究通过计算前翅肘脉-A 段长度与肘脉-B 段长度之比分别测定了每一只远东黑蜂样本和每一只欧洲黑蜂样本的前翅肘脉指数。

2.5. 测定数据归纳及统计学检验

首先, 通过计量资料指标统计方法, 将上述指标测定值归纳为均数和标准差, 并且记录于 Excel 文

档。其次，通过 S-PLUS 统计软件(S-PLUS 6)的 F-分析模块，比较远东黑蜂样本测定值均数与欧洲黑蜂样本测定值均数的离散程度；通过 S-PLUS 统计软件的 t-检验模块，比较远东黑蜂样本测定值均数与欧洲黑蜂样本测定值均数的差异性。在利用 S-PLUS 统计软件进行测定数据的分析过程中，首先从分析模块数据库中选择代表 F-分析模块和 t-检验模块的代码指令，并分别将这些代码指令以相应格式输入计算机；然后将待比较的上述 Excel 文档导入统计软件。当概率 P 值 < 0.05 时，比较结果有差异；当概率 P 值 > 0.05，比较结果无差异。

3. 结果

头部下端吻、腹部背侧第三背板、腹部背侧第四背板、腹部腹侧第四蜡镜、右侧前翅、右侧后腿远端跗节等蜜蜂外部器官是进行西方蜜蜂形态变异分析公认的研究对象。在本研究中，我们通过参考西方蜜蜂解剖图谱，从每一只远东黑蜂样本和每一只欧洲黑蜂样本的解剖部位准确地获取了吻、第三背板、第四背板、第四蜡镜、前翅和后腿远端跗节；其次，通过计算机辅助显微图像分析系统的图像捕获软件，分别将上述解剖器官完整地录入计算机分析系统。

吻长度等 13 项尺度类蜜蜂形态学指标是进行西方蜜蜂形态变异分析公认的研究指标。在本研究中，我们通过计算机辅助显微图像分析系统的数据处理软件，分别测定了每一只远东黑蜂样本和每一只欧洲黑蜂样本的吻长度(图 1, A-A')、第三背板宽度(图 1, B-B')，第四背板长度和宽度(图 1, C-C')，第四蜡镜长度、宽度和面积(图 1, D-D')，前翅长度、宽度、面积和肘脉指数(图 1, E-E')，以及跗节长度和宽度(图 1, F-F')。在此基础之上，我们将每一群蜜蜂的不同类型测定数据转化为相应的均数和标准差(附录表 A1)。



A~F, 远东黑蜂; A'~F', 欧洲黑蜂。A~A', 吻; B~B', 第三背板; C~C', 第四背板; D~D', 第四蜡镜; E~E', 前翅; F~F', 后腿远端跗节。“—”: 微米级分辨率

Figure 1. Image of 6 pairs of external dissect organs of Far East Black Bee and *Apis mellifera mellifera*

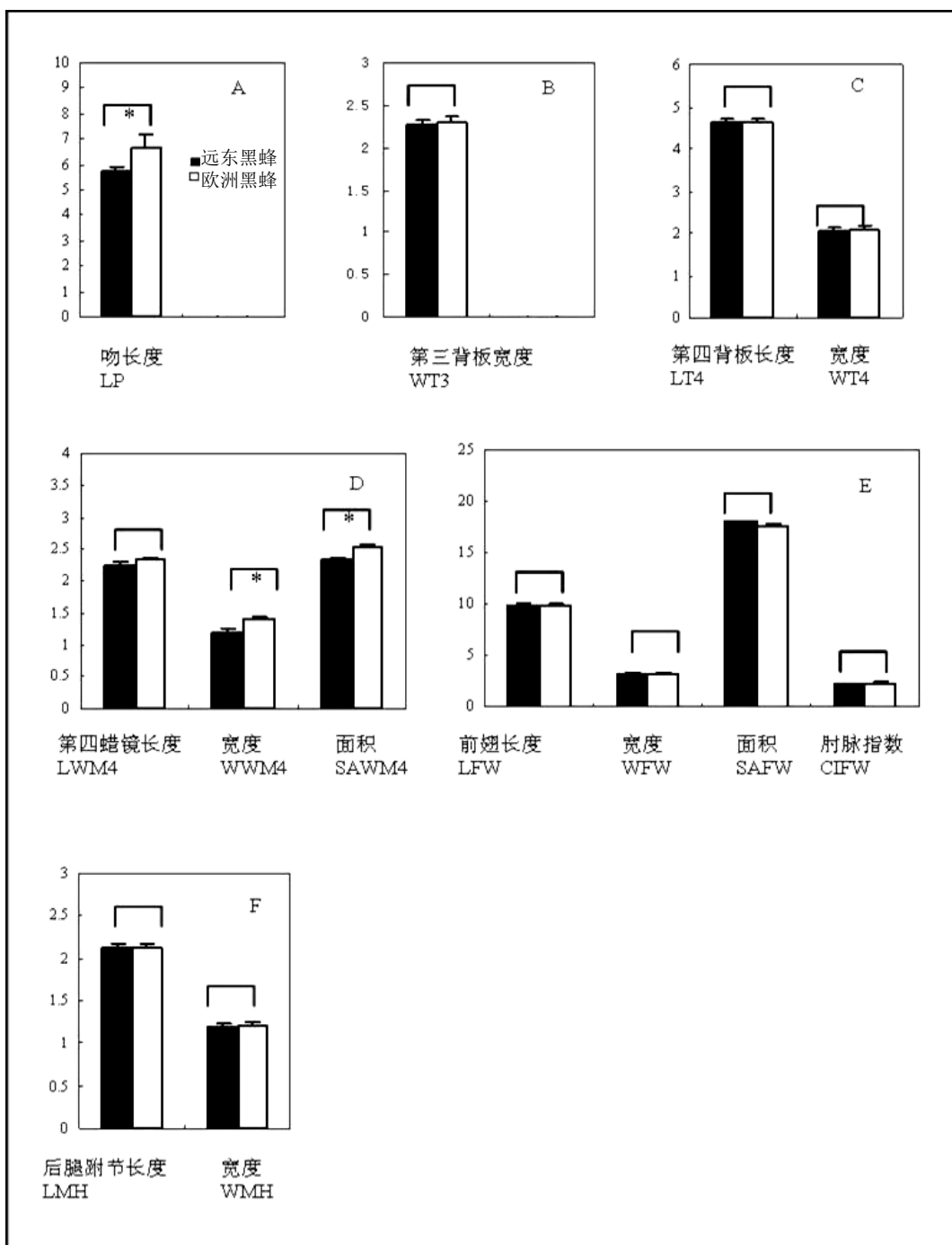
图 1. 远东黑蜂样本、欧洲黑蜂样本的 6 对外部解剖器官

欧洲黑蜂是较少受西方蜜蜂基因流影响的一个西方蜜蜂地方类型,在进行西方蜜蜂形态变异分析中,它通常充当实验对照[11]。在本研究中,我们分别通过 F-分析和 t-检验,先比较了远东黑蜂样本测定值均数与欧洲黑蜂样本测定值均数的离散程度,后比较了远东黑蜂样本测定值均数与欧洲黑蜂样本测定值均数的差异性。前者结果显示,远东黑蜂样本的测定值均数与欧洲黑蜂样本的测定值均数具有相同的离散性(结果未给出);后者结果显示,远东黑蜂样本的第三背板宽度、第四背板长度、第四背板宽度、第四蜡镜长度、前翅长度、前翅宽度、前翅面积、前翅肘脉指数、后腿跗节长度、后腿跗节宽等测定值均数,近似于欧洲黑蜂的相应测定值均数,而且,它们测定值均数之间没有差异($P > 0.05$) (表 1; 图 2)。相反,远东黑蜂样本的吻长度、第四蜡镜宽度、第四蜡镜面积等测定值均数,都明显地小于欧洲黑蜂样本的相应测定值均数,而且,它们测定值均数之间有差异($P < 0.05$) (表 1; 图 2)。

Table 1. A list of 13 morphological characteristics (size) of Far East Black Bee and *Apis mellifera mellifera*
表 1. 远东黑蜂、欧洲黑蜂的 13 项(尺度)类形态学指标测定值统计表

SCM 尺度类形态学指 标	Samples of <i>Apis mellifera</i> 西方蜜蜂样本						
	Far East Black Bee 远东黑蜂			<i>Apis mellifera mellifera</i> 欧洲黑蜂			
	No. of workers 工蜂数量	M 均数	SD 标准差	No. of workers 工蜂数量	M 均数	SD 标准差	P value P 值
LP (mm) 吻长度	524	5.760	0.559	529	6.258	0.386	<0.05
WT 3 第三背板宽度	580	2.270	0.120	584	2.309	0.107	>0.05
LT 4 第四背板长度	575	4.607	0.160	563	4.636	0.154	>0.05
WT 4 第四背板宽度	575	2.064	0.086	563	2.090	0.073	>0.05
LWM 4 第四蜡镜长度	570	2.643	0.086	540	2.309	0.080	>0.05
WWM 4 第四蜡镜宽度	570	1.325	0.080	540	1.687	0.067	<0.05
SAWM 4 (mm ²) 第四蜡镜面积	570	2.315	0.211	540	2.660	0.169	<0.05
LFW 前翅长度	577	9.844	0.212	589	9.829	0.198	>0.05
WFW 前翅宽度	577	3.182	0.069	589	3.134	0.071	>0.05
SAFW 前翅面积	577	17.872	0.763	589	17.588	0.673	>0.05
CIFW (ratio) 前翅肘脉指数	577	2.173	0.360	589	2.308	0.337	>0.05
LMH 后腿跗节长度	598	2.132	0.080	592	2.120	0.097	>0.05
WMH 后腿跗节宽度	598	1.193	0.046	592	1.211	0.050	>0.05

注释: SCM, size characters of morphometry; No., number; M, mean; SD, standard deviation; LP, length of proboscis (mm); WT 3, width of tergum III; LT 4, length of tergum IV; TT 4, width of tergum IV; LWM 4, length of wax mirror IV; WWM 4, width of wax mirror IV; SAWM 4, surface area of wax mirror IV (mm²); LFW, length of fore wing; WFW, width of forewing; SAFW, surface area of fore wing; CIFW, cubital index of fore wing (ratio); LMH, length of metabasitarsus, hindleg; WMH, width of metabasitarsus, hindleg.



A, 吻; B, 第三背板; C, 第四背板; D, 第四蜡镜; E, 前翅; F, 后腿远端跗节。*, p 值 < 0.05。

Figure 2. Comparison of 13 morphological characteristics (size) between Far East Black Bee and *Apis mellifera mellifera*

图 2. 远东黑蜂、欧洲黑蜂样本的 13 项(尺度)类形态学指标测定值比较

4. 讨论

欧洲黑蜂在欧洲向东方向的地理分布极限地域是位于俄罗斯西部平原(欧洲部分)与东部高原、山地(亚洲部分)之间的乌拉尔山脉, 即, 俄罗斯中部地区[8]; 同时, 这个地区也是西方蜜蜂自然分布地域的

最东端[11] [15]。在本研究中, 欧洲黑蜂样本来自俄罗斯中部地区的欧洲黑蜂保种群, 远东黑蜂样本来自俄罗斯远东地区的远东黑蜂保种群。它们形态学指标测定值之间的比较分析, 实质上是比较西方蜜蜂种内两个同域物种样本之间的形态学体征。鉴于西方蜜蜂西部欧洲世系与东部欧洲世系之间存在部分生殖隔离[16] [17], 本研究从远东黑蜂与欧洲黑蜂的比较分析中, 积累了远东黑蜂的形态学数据, 并且以此数据为依据表征了远东黑蜂。

动物组织学根据蜜蜂不同器官的组织特征将蜜蜂各器官概括为内部软组织器官和外部硬组织器官[18]。相对于蜜蜂内部软组织器官, 蜜蜂外部硬组织器官直接感知寒冷气温等环境胁迫因子, 并且产生多种生理反应[11]。在本研究中, 我们选择头部下端吻、腹部背侧第三背板、腹部背侧第四背板、腹部腹侧第四蜡镜、右侧前翅、右侧腿部远端跗节等 6 个蜜蜂外部器官作为研究对象。

西方蜜蜂形态变异分析通常涉及 35 至 42 项蜜蜂形态学指标, 这包括 13~16 项尺度类形态学指标[19] [20]。越来越多的证据表明, 昆虫尺度类形态学指标是度量昆虫外部器官在环境选择压力作用下发生变化的综合指标[11] [21] [22]。在本研究中, 远东黑蜂样本的第三背板镜宽度等 10 项蜜蜂形态学指标测定值均数, 与欧洲黑蜂样本的相应测定值均数都没有统计学差异, 这说明, 基于第三背板宽度等 10 项蜜蜂形态学指标的蜜蜂形态变异分析没有发现远东黑蜂与欧洲黑蜂之间存在体征差异。

然而, 在本研究中, 基于吻长度、第四蜡镜宽度和第四蜡镜面积的蜜蜂形态变异分析, 发现了远东黑蜂与欧洲黑蜂之间存在体征差异。在 13~16 项蜜蜂尺度类形态学指标中, 吻长度是反映寒冷气温等环境胁迫因子影响蜜蜂形态变异最敏感的形态学指标之一[11]。Mărghitas 等(2008)通过测定蜜蜂吻长度发现, 相对于罗马尼亚非寒冷地区的喀尔巴阡蜜蜂生态类型, 罗马尼亚寒冷地区的喀尔巴阡蜜蜂生态类型具有短的吻[23]。在本研究中, 我们发现, 相对于欧洲黑蜂, 远东黑蜂具有短的吻。这可能是俄罗斯远东地区的寒冷气温主要影响了蜜、粉源植物的花冠形态, 蜜蜂吻伴随花冠形态变化产生了协同进化效应。

在寒冷气温地区, 蜜蜂繁殖期缩短是蜜蜂适应低温胁迫出现的主要生殖生理反映, 这也可能涉及第四蜡镜的形态改变。在蜜蜂筑巢过程中, 工蜂腹部泌蜡腺体向体外持续分泌蜡质, 蜡镜充当了临时承载蜡质的“贮存库”, 它们共同构成了工蜂生产蜡质的泌蜡器官[24]。而且, 如同意大利蜜蜂工蜂泌王浆腺体伴随蜂群繁殖期延长出现了分泌活动增强和体积增大现象, 意大利蜜蜂工蜂泌蜡器官伴随蜂群繁殖期延长也出现了分泌活动增强和体积增大现象。在本研究中, 我们发现, 相对于意大利蜜蜂, 欧洲黑蜂具有短的第四蜡镜宽度和小的第四蜡镜面积(结果未给出); 同样, 相对于欧洲黑蜂, 远东黑蜂具有短的第四蜡镜宽度和小的第四蜡镜面积。这可能反映了远东黑蜂工蜂伴随蜂群繁殖期缩短出现了泌蜡器官分泌活动减弱和体积减小现象。

5. 结论

总之, 上述分析显示, 远东黑蜂样本的第三背板宽度、第四背板长度、第四背板宽度、第四蜡镜长度、前翅长度、前翅宽度、前翅面积、前翅肘脉指数、后腿跗节长度、后腿跗节宽度测定值均数, 近似于欧洲黑蜂的相应测定值均数, 而且, 它们测定值均数之间都没有统计学差异。相反, 远东黑蜂样本的吻长度、第四蜡镜宽度、第四蜡镜面积测定值均数, 都明显地小于欧洲黑蜂样本的相应测定值均数, 而且, 它们测定值均数之间都有统计学差异。据此, 本文认为, 相对于欧洲黑蜂, 远东黑蜂可能具有明显的形态学体征, 即, 短的吻长度, 短的蜡镜宽度和小的蜡镜面积。

基金项目

国家自然科学基金项目(31050006, 31350006)、吉林省科技发展计划项目(20100719)以及国家蜂产业技术体系项目(CARS-45-KXJ2)。

参考文献 (References)

- [1] Crane, E. (1978) The *Varroa* mite. *Bee World*, **59**, 164-167.
- [2] Rinderera, T.E., de Guzman, L.I., Delattea, G.T., Stelzera, J.A., Lancasterb, V.A., Kuznetsovc, V., Beamana, L., Watta, R. and Harris, J.W. (2001) Resistance to the parasitic mite *Varroa destructor* in honey bees from far-eastern Russia. *Apidologie*, **32**, 381-394.
- [3] Radloff, S.E., Hepburn1, C., Hepburn, H.R., Fuchs, S., Hadisoelilo, S., Tan, K., Engel, M.S. and Kuznetsov, V. (2010) Population structure and classification of *Apis cerana*. *Apidologie*, **41**, 589-601.
- [4] Vesala, L., Salminen, T. S., Laiho, A., Hoikkala, A. and Kankare, M. (2012) Cold tolerance and cold-induced modulation of gene expression in two *Drosophila virilis* group species with different distributions. *Insect Molecular Biology*, **21**, 107-118.
- [5] Gregory, P.G., Evans, J.D., Rinderer, T. and de Guzman, L. (2005) Conditional immune-gene suppression of honeybees parasitized by *Varroa* mites. *Journal of Insect Science*, **5**, 7.
- [6] Schöning, C., Gisder, S., Geiselhardt, S., Kretschmann, I., Bienefeld, K., Hilker, M. and Genersch, E. (2012) Evidence for damage-dependent hygienic behaviour towards *Varroa destructor*-parasitised brood in the western honey bee, *Apis mellifera*. *The Journal of Experimental Biology*, **215**, 264-271.
- [7] Le Conte, Y. and Navajas, M. (2008) Climate change: Impact on honey bee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique*, **2**, 485-497.
- [8] Brandorf, A., Ivoilova, M., 李兴安, 薛运波 (2013) 俄罗斯蜜蜂保种群的遗传标识码: 基因组微卫星标记谱图. *中国蜂业*, **07-09**, 17-22.
- [9] Bourgeois, L., Sheppard, W.S., Sylvester, H.A. and Rinderer, T.E. (2010) Genetic stock identification of Russian honey bees. *Journal of Economic Entomology*, **103**, 917-924.
- [10] Han, F., Wallberg, A. and Webster, M.T. (2012) From where did the Western honeybee (*Apis mellifera*) originate? *Ecology and Evolution*, **2**, 1949-1957.
- [11] Bouga, M., Alaux, C., Bienkowska, M., Büchler, R., Carreck, N. L., Cauia, E., Chlebo, R., Dahle, B., Dall'Olio, R., De la Rúa, P., Gregorc, A., Evgeniya, I., Kence, A., Kence, M., Kezic, N., Kiprijanovska, H., Kozmus, P., Kryger, P., Le Conte, Y., Lodesani, M., Murilhas, A.M., Siceanu, A., Soland, G., Uzunov, A. and Wilde, J. (2011) A review of methods for discrimination of honey bee populations as applied to European beekeeping. *Journal of Apicultural Research*, **50**, 51-84.
- [12] Alpatov, W.W. (1976) Rokoyava oshibka v opredelenii parody pchel [A fatal error in determining the race of a honeybee]. *Priroda*, **5**, 72-73. (In Russian).
- [13] 葛凤晨, 石巍, 王素芝, 刘先蜀, 张大隆, 罗岳雄, 梁勤, 颜志立, 薛运波 (2011) 中国畜禽遗传资源志 (蜂蜜志). 中国农业出版社, 北京.
- [14] Dade, H.A. (2009) Anatomy and dissection of the honeybee. International Bee Research Association, London.
- [15] Il'yasov, R.A., Petukhov, A.V., Poskryakov, A.V. and Nikolenko, A.G. (2007) Local honeybee (*Apis mellifera mellifera* L.) populations in the Urals. *Genetika*, **43**, 855-858.
- [16] Oleksa, A., Wilde, J., Tofilski, A. and Chybicki, I.J. (2013) Partial reproductive isolation between European subspecies of honey bees. *Apidologie*, **44**, 611-619.
- [17] Koeniger, N. and Gudrun, K. (2000) Reproductive isolation among species of the genus *Apis*. *Apidologie*, **31**, 313-339.
- [18] Kawamoto, T. (2003) Use of a new adhesive film for the preparation of multi-purpose fresh-frozen sections from hard tissues, whole-animals, insects and plants. *Archives of Histology and Cytology*, **66**, 123-43.
- [19] Rattanawanee, A., Chanchaob, C. and Wongsiric, S. (2012) Geometric morphometric analysis of giant honeybee (*Apis dorsata* Fabricius, 1793) populations in Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, **15**, 611-618.
- [20] Kandemir, I., Kence, M. and Kence, A. (2005) Morphometric and electrophoretic variation in different honeybee (*Apis mellifera* L.) Populations. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, **29**, 885-890.
- [21] De Anna, E.B. (2013) Insects as indicators of environmental stress (For the Degree of Doctor of Philosophy in Biological Sciences). College of Arts and Sciences, University of South Carolina, South Carolina.
- [22] Benítez, H.A., Briones, R. and Jerez, V. (2010) Intra and Inter-population morphological variation of shape and size of the Chilean magnificent beetle, *Ceroglossus chilensis* in the Baker River Basin. *Chilean Patagonia Journal of Insect Science*, **11**, 1-8.
- [23] Mărghitas, L., Paniti-Teleky, O., Dezmirean, D., Mărgăoan, R., Bojan, C., Corona, C., Laslo, L. and Moise, A. (2008) Morphometric differences between honey bees (*Apis mellifera carpatica*) populations from transylvanian area. *Lucrări științifice Zootehnie și Biotehnologii*, **41**, 309-315.
- [24] Winston, M.L. (1987) The biology of the honey bee. Harvard University Press Cambridge, London.

附录(Appendix)

Table A1. A list of 13 morphological characteristics (size) of each colony of Far East Black Bee and each of *Apis mellifera mellifera*

表 A1. 每群远东黑蜂、欧洲黑蜂的 13 项(尺度)类形态学指标测定值统计表

SCM 尺度类形态学指标	Samples of <i>Apis mellifera</i> 西方蜜蜂样本					
	Far East Black Bee 远东黑蜂			<i>Apis mellifera mellifera</i> 欧洲黑蜂		
	No. of colony(ies) 每(总)蜂群蜜蜂数量	M 均数	SD 标准差	No. of colony(ies) 每(总)蜂群蜜蜂数量	M 均数	SD 标准差
LP (mm) 吻长度	55	5.839	0.608	49	5.485	0.355
	50	5.970	0.582	50	5.511	0.526
	50	5.696	0.502	56	6.447	0.589
	53	5.605	0.493	54	6.135	0.653
	51	5.958	0.516	54	6.647	0.450
	51	5.882	0.583	56	6.254	0.502
	55	5.627	0.468	54	6.635	0.180
	52	5.886	0.445	49	6.382	0.191
	53	5.519	0.615	56	6.594	0.172
	54	5.619	0.775	51	6.486	0.245
	524	5.760	0.559	529	6.258	0.386
	59	2.301	0.133	60	2.381	0.109
	59	2.225	0.140	59	2.256	0.092
WT3 (mm) 第三背板宽度	60	2.271	0.107	55	2.367	0.134
	60	2.294	0.104	60	2.264	0.099
	60	2.277	0.128	60	2.278	0.093
	56	2.304	0.086	54	2.438	0.088
	54	2.315	0.101	60	2.272	0.143
	59	2.22	0.139	60	2.313	0.133
	59	2.198	0.136	56	2.287	0.091
	54	2.299	0.130	60	2.235	0.085
	580	2.270	0.120	584	2.309	0.107
	59	4.643	0.119	55	4.724	0.152
	60	4.448	0.124	54	4.587	0.162
	50	4.544	0.177	55	4.601	0.169
	57	4.678	0.153	57	4.537	0.113
LT4 (mm) 第四背板长度	60	4.636	0.142	56	4.733	0.173
	56	4.596	0.140	56	4.548	0.118
	54	4.531	0.256	56	4.665	0.165
	59	4.733	0.182	54	4.647	0.218
	66	4.549	0.148	60	4.552	0.151
	54	4.708	0.152	60	4.763	0.118
	575	4.607	0.160	563	4.636	0.154

Continued

	59	2.086	0.052	55	2.132	0.067
	60	2.016	0.098	54	2.015	0.087
	50	2.072	0.069	55	2.109	0.069
	57	2.078	0.084	57	2.021	0.048
WT4 (mm)	60	2.075	0.072	56	2.135	0.088
第四背板宽度	56	2.110	0.063	56	2.116	0.077
	54	2.059	0.084	56	2.098	0.063
	59	2.024	0.151	54	2.101	0.095
	66	2.038	0.071	60	2.044	0.069
	54	2.081	0.111	60	2.132	0.063
	575	2.064	0.086	563	2.090	0.073
	59	2.203	0.073	54	2.356	0.089
	60	2.24	0.134	50	2.307	0.093
	55	2.24	0.084	53	2.365	0.083
	57	2.276	0.097	60	2.288	0.080
LWM4 (mm)	60	2.304	0.091	55	2.307	0.091
第四蜡镜长度	56	2.325	0.083	57	2.359	0.093
	54	2.249	0.116	56	2.263	0.057
	59	2.187	0.117	53	2.227	0.067
	56	2.286	0.117	51	2.267	0.066
	54	2.219	0.175	51	2.355	0.085
	570	2.643	0.086	540	2.309	0.080
	59	1.352	0.066	54	1.618	0.068
	60	1.327	0.083	50	1.698	0.051
	55	1.336	0.050	53	1.676	0.069
	57	1.330	0.075	60	1.692	0.062
WWM4 (mm)	60	1.359	0.075	55	1.669	0.072
第四蜡镜宽度	56	1.381	0.084	57	1.682	0.066
	54	1.342	0.099	56	1.717	0.072
	59	1.257	0.089	53	1.681	0.066
	56	1.346	0.084	51	1.713	0.055
	54	1.217	0.093	51	1.727	0.088
	570	1.325	0.080	540	1.687	0.067
	59	2.332	0.163	54	2.699	0.204
	60	2.366	0.229	50	2.652	0.171
	55	2.352	0.157	53	2.625	0.188
	57	2.286	0.172	60	2.646	0.139
SAWM4 (mm ²)	60	2.446	0.214	55	2.687	0.206
第四蜡镜面积	56	2.492	0.214	57	2.731	0.185
	54	2.312	0.253	56	2.687	0.061
	59	2.081	0.234	53	2.555	0.166
	56	2.362	0.191	51	2.621	0.160
	54	2.116	0.286	51	2.698	0.211
	570	2.315	0.211	540	2.660	0.169

Continued

	59	9.750	0.158	60	9.925	0.186
	60	9.889	0.245	57	9.821	0.266
	57	9.835	0.233	58	9.829	0.200
	60	9.843	0.175	57	9.829	0.224
	59	9.766	0.169	60	9.921	0.211
LFW (mm) 前翅长度	54	9.763	0.217	60	9.854	0.201
	54	9.706	0.194	60	9.804	0.256
	59	9.888	0.210	59	9.743	0.174
	55	9.912	0.230	60	9.849	0.202
	60	10.088	0.288	58	9.715	0.067
	577	9.844	0.212	589	9.829	0.198
	59	3.176	0.071	60	3.134	0.070
	60	3.178	0.070	57	3.107	0.081
	57	3.152	0.064	58	3.189	0.064
	60	3.251	0.065	57	3.113	0.059
WFW (mm) 前翅宽度	59	3.173	0.069	60	3.125	0.078
	54	3.142	0.057	60	3.112	0.065
	54	3.146	0.068	60	3.138	0.096
	59	3.203	0.075	59	3.124	0.063
	55	3.192	0.074	60	3.156	0.046
	60	3.215	0.079	58	3.143	0.083
	577	3.182	0.069	589	3.134	0.071
	59	18.044	0.571	60	17.761	0.692
	60	17.692	0.972	57	17.073	0.865
	57	17.565	0.803	58	18.016	0.594
	60	18.286	0.626	57	17.297	0.677
SAFW (mm ²) 前翅面积	59	17.853	0.688	60	17.449	0.795
	54	17.438	0.705	60	17.045	0.561
	54	17.395	0.814	60	17.742	0.527
	59	18.386	0.711	59	17.583	0.453
	55	17.762	0.871	60	17.517	0.709
	60	18.297	0.863	58	18.395	0.851
	577	17.872	0.763	589	17.588	0.673
	59	1.925	0.235	60	2.163	0.320
	60	2.104	0.275	57	2.431	0.397
	57	2.103	0.384	58	2.622	0.358
	60	2.208	0.306	57	2.279	0.255
CIFW (ratio) 前翅肘脉指数	59	2.403	0.405	60	2.163	0.345
	54	2.165	0.416	60	2.446	0.323
	54	2.354	0.429	60	2.097	0.359
	59	2.255	0.383	59	2.506	0.354
	55	2.011	0.361	60	2.156	0.332
	60	2.205	0.402	58	2.213	0.323
	577	2.173	0.360	589	2.308	0.337

Continued

	60	2.119	0.058	60	2.133	0.067
	60	2.077	0.144	60	2.111	0.089
	60	2.027	0.074	60	2.184	0.047
	60	2.078	0.061	58	2.135	0.067
	59	2.087	0.062	59	2.106	0.063
LMH (mm) 后腿跗节长度	60	2.043	0.049	57	2.117	0.052
	60	2.053	0.070	60	2.156	0.076
	60	2.296	0.087	60	2.081	0.081
	59	2.216	0.101	58	2.087	0.382
	60	2.331	0.092	60	2.099	0.055
	598	2.132	0.080	592	2.120	0.097
	60	1.237	0.034	60	1.229	0.037
	60	1.21	0.046	60	1.191	0.042
	60	1.161	0.046	60	1.235	0.032
	60	1.193	0.056	58	1.194	0.025
	59	1.189	0.038	59	1.211	0.036
WMH (mm) 后腿跗节宽度	60	1.178	0.043	57	1.232	0.041
	60	1.162	0.045	60	1.189	0.039
	60	1.217	0.060	60	1.165	0.044
	59	1.156	0.047	58	1.214	0.184
	60	1.231	0.052	60	1.253	0.024
	598	1.193	0.046	592	1.211	0.050