

中哈边境摩洛哥戟纹蝗的鉴别特征与 种群形态差异分析*

何诗颖^{1,2**} 季 荣^{2,3} 郭雅婷⁴ 林 峻⁴ 何 岚^{1,2***}

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心, 新疆特殊环境物种保护与
调控生物学实验室, 乌鲁木齐 830017; 2. 塔城昆虫迁飞生物学新疆野外科学观测研究站, 塔城 834700;

3. 昌吉学院, 昌吉 831100; 4. 新疆维吾尔自治区草原生物灾害防控中心, 新疆维吾尔自治区

野生动植物保护监测中心, 乌鲁木齐 830000)

摘 要 【目的】摩洛哥戟纹蝗 *Doclostaurus maroccanus* 作为重大入侵蝗虫, 形态鉴定是其种群预警监测的基础。【方法】本文研究分析了采自中国(伊宁)与哈萨克斯坦(阿拉木图)的摩洛哥戟纹蝗与新疆同属的相似种红胫戟纹蝗 *Doclostaurus kraussi* 和狭条戟纹蝗 *Doclostaurus brevicollis* 的形态差异, 比较了中国与哈萨克斯坦两个不同区域摩洛哥戟纹蝗种群的形态指标(包括体长、后足股节长和胫节长等)及前翅长度与后足股节长度比值(Ratio between eleytron length and femur length, E/F)的差异, 采用 Pearson 相关性分析方法对摩洛哥戟纹蝗各形态参数进行相关分析。【结果】在 3 个近似种中, 摩洛哥戟纹蝗体型最大, 其后足股节内侧呈淡粉色, 而红胫戟纹蝗和狭条戟纹蝗较小, 其后足股节内侧为黄褐色或土黄色, 摩洛哥戟纹蝗和狭条戟纹蝗后足股节外侧上隆线和下隆线无黑点, 而红胫戟纹蝗股节外侧上隆线和下隆线具黑点, 这些特征可以作为野外鉴别 3 种蝗虫的典型特征。相关性分析显示, 摩洛哥戟纹蝗雌性、雄性成虫体长分别与前翅长度、后翅长度、后足股节长度、胫节长度等表现出极显著正相关($P < 0.001$), 表明飞行与跳跃器官之间存在显著的协同。伊宁种群体长、后翅面积、前翅长度、股节长度和胫节长度较阿拉木图种群分别高 11.63%、19.42%、15.83%、10.53%和 10.16%, 并且伊宁种群 E/F 值亦显著高于阿拉木图种群($P < 0.001$)。【结论】摩洛哥戟纹蝗与红胫戟纹蝗和狭条戟纹蝗具有明显的鉴别特征, 可用于野外种类鉴定; 伊宁种群与阿拉木图种群有明显的形态差异分化。本研究为入侵种摩洛哥戟纹蝗的精确监测提供科学参考, 为理解其跨境迁飞路径提供了形态学依据。

关键词 摩洛哥戟纹蝗; 形态特征; 地理种群; 中国新疆; 哈萨克斯坦

Morphological characteristics of *Doclostaurus maroccanus* in different regions along the China-Kazakhstan Border

HE Shi-Ying^{1,2**} JI Rong^{2,3} GUO Ya-Ting⁴ LIN Jun⁴ HE Lan^{1,2***}

(1. International Center for the Collaborative Management of Cross-border Pests in Central Asia, Xinjiang Key Laboratory of Special
Species Conservation and Regulatory Biology, College of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830017, China;

2. Tacheng Research Field (Migratory Biology), Observation and Research Station of Xinjiang Tacheng, Tacheng 834700, China;

3. Changji University, Changji 831100, China; 4. Xinjiang Uygur Autonomous Region Wildlife Protection and Monitoring Center,
Xinjiang Uygur Autonomous Region Grassland Biological Disaster Prevention and Control Center, Urumqi 830000, China)

Abstract [Aim] To develop a method for the accurate morphological identification of *Doclostaurus maroccanus*, a significant, invasive species of locust, and thereby improve the accuracy of population monitoring and early warnings of outbreaks of this pest. [Methods] Morphological differences between *D. maroccanus* and two congeneric species, *D. kraussi*

*资助项目 Supported projects: 中央引导地方项目(ZYYD2025ZY02); 新疆维吾尔自治区重点研发专项(2024B03043); 天山英才
领军人才项目(TSYCLJ0016); 新疆师范大学 2023 年度青年拔尖人才项目(XJNUQB2023-12)

**第一作者 First author, E-mail: 2992037141@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 517804636@qq.com

收稿日期 Received: 2025-08-29; 接受日期 Accepted: 2025-10-14

and *D. brevicollis* were assessed. Furthermore, morphological traits of *D. maroccanus*, including body length, posterior femur length, and hind tibia length, as well as the E/F ratio, were compared between specimens from China and Kazakhstan. Pearson correlation analysis was used to examine relationships among various morphological parameters of the *D. maroccanus*.

[Results] *D. maroccanus* is the largest species in the genus, and the inner side of its hind femur has a light pink coloration. In contrast, *D. kraussi* and *D. brevicollis* are smaller, and the inner surface of the hind femur of these species is yellowish-brown or earth-yellow. Both *D. maroccanus* and *D. brevicollis* lack black spots on the upper and lower carinae of the outer side of the hind femur, whereas *D. kraussi* possesses distinct black spots on these carinae. These characteristics are key morphological features for distinguishing between these three locust species in the field. There was a highly significant positive correlation between the body length of female and male adults of *D. maroccanus* and forewing length, hindwing length, posterior femur length, and tibia length, indicating a high degree of morphological correlation between morphological features involved in flight and jumping ($P < 0.001$). Compared to the Kazakhstan population, the Chinese population of *D. maroccanus* had significantly larger morphological metrics, with the hindwing area, forewing length, body length, posterior femur length, and tibia length of specimens from China being 19.42%, 15.83%, 11.63%, 10.53%, and 10.16%, larger, respectively, than those of specimens from Kazakhstan. In addition, the E/F ratio of Chinese specimens was significantly higher than that of specimens from Kazakhstan ($P < 0.001$). **[Conclusion]** These findings provide a scientific basis for the accurate identification of *D. maroccanus*, and improve understanding of the cross-border migration patterns of this species.

Key words *Dociostaurus maroccanus*; morphological characteristics; geographical populations; Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; Kazakhstan

摩洛哥戟纹蝗 *Dociostaurus maroccanus* 与亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria*、意大利蝗 *Calliptamus italicus* 并列为中亚区域 3 种重大迁飞性害虫, 对中亚区域的草原和农业生产构成重大威胁 (<https://www.fao.org/locusts-cca/en/>)。2025 年 6 月, 在我国新疆伊犁河流域和塔城地区首次发现了摩洛哥戟纹蝗 (图 1: A, B), 表明摩洛哥戟纹蝗已入侵我国 (季荣等, 2025; 任金龙等, 2025), 引发了相关部门和社会的广泛关注和高度重视。

摩洛哥戟纹蝗具有多食性、高繁殖力和成群迁徙等特点, 其寄主植物高达 33 科, 包括小麦、玉米、胡萝卜、棉花和甜菜等经济作物, 是一种世界性的重要农业害虫 (Gupta, 1983; Ghadraoui *et al.*, 2008)。根据联合国粮食及农业组织 (FAO) 报道, 21 世纪摩洛哥戟纹蝗在中亚区域的发生尤为严重, 与我国新疆接壤的哈萨克斯坦、俄罗斯、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和阿富汗等国均有摩洛哥戟纹蝗发生 (<https://www.fao.org/locusts-cca/>)。摩洛哥戟纹蝗具有远距离迁徙习性 (成虫可迁飞 100 km) (Khairov *et al.*, 2024), 其滋生地通常分布在海拔约 400-800 m 的山麓和山谷中 (Klein *et al.*, 2022), 以及干旱

和半干旱草原、荒漠中 (Gupta, 1983; Guerrero *et al.*, 2017)。我国新疆阿勒泰地区、博乐市、塔城地区和伊犁河流域毗邻哈萨克斯坦, 草原类型、地形和气候等与哈萨克斯坦极为相似, 且缺乏高山屏障 (刘琼, 2017), 极有可能成为该物种跨境迁飞的天然廊道, 对我国西北边境地区农牧业生产及生态安全构成严重威胁。目前, 虽然已在中国新疆伊犁与塔城地区发现摩洛哥戟纹蝗种群, 但其入侵来源与迁飞路径仍未明确, 这一关键信息的缺失严重制约了对该物种的有效监测与早期预警能力。因此, 系统开展摩洛哥戟纹蝗的监测工作, 对实现其早期干预防控具有重要的科学与实践意义。

摩洛哥戟纹蝗与红胫戟纹蝗 *Dociostaurus kraussi*、狭条戟纹蝗 *Dociostaurus brevicollis*、蓝胫戟纹蝗 *Dociostaurus tartarus* 和短翅戟纹蝗 *Dociostaurus brachypterus* 同为直翅目 Orthoptera 网翅蝗科 Arcypteridae 戟纹蝗属 *Dociostaurus* 昆虫 (郑哲民和夏凯龄, 1998)。其中摩洛哥戟纹蝗与红胫戟纹蝗、狭条戟纹蝗的外部形态高度相似, 增加了物种鉴定错误的风险, 尽管任金龙等 (2025) 已对摩洛哥戟纹蝗的形态特征进行了描述, 却未包含与近似种的对比分析, 影响了对其

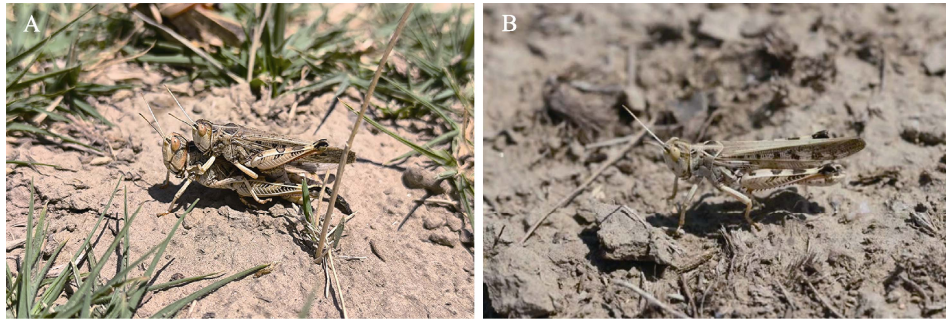


图 1 摩洛哥戟纹蝗生态照

Fig. 1 Ecological photos of *Dociopterus maroccanus*

A. 2025 年 7 月拍摄于伊宁市, 林德琪拍摄; B. 2025 年 6 月拍摄于哈萨克斯坦, 何岚拍摄。

A. Taken in Yining City, Xinjiang, China, July 2025, by Lin Siqi; B: Taken in Kazakhstan, June 2025, by He Lan.

种群动态与扩散趋势的准确评估。本文基于采自我国新疆伊宁市和哈萨克斯坦阿拉木图州的标本材料, 比较分析了摩洛哥戟纹蝗与红胫戟纹蝗、狭条戟纹蝗在形态上的显著鉴别特征, 为这 3 种近缘蝗虫的准确识别奠定基础, 也为摩洛哥戟纹蝗的精准监测提供依据。同时, 对采自两个区域的摩洛哥戟纹蝗进行了形态学比较分析, 以便为研究该物种的跨境迁徙路径及种群溯源提供形态学证据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2025 年 6-7 月, 利用扫网法采集摩洛哥戟纹蝗成虫, 在哈萨克斯坦阿拉木图州共采集到摩洛哥戟纹蝗 29 只, 在中国新疆伊宁市采集到摩洛哥戟纹蝗 22 只。狭条戟纹蝗和红胫戟纹蝗采自中国新疆塔城地区和乌鲁木齐市。

1.2 形态学特征观察

采用乙酸乙酯熏蒸法(王剑峰等, 2015)处死试虫。具体操作: 在广口玻璃瓶底部铺垫一层厚约 1-2 cm 的脱脂棉, 缓慢倒入乙酸乙酯使脱脂棉浸透至湿润但无滴液; 随后在脱脂棉上平铺一张滤纸, 以避免虫体直接接触含试剂的脱脂棉; 迅速将试虫放入瓶内并立即盖紧瓶盖。处死后, 选取体型完整的摩洛哥戟纹蝗、狭条戟纹蝗和红胫戟纹蝗个体, 小心分离前翅、后翅、足,

采用配有尼康镜头和 NIS 软件的 SMZ25 体视显微镜观察摩洛哥戟纹蝗个体的外表特征及后足形态特征, 并进行拍照记录。

1.3 形态特征测量

根据第四届国际蝗虫学会议(1936)所规定的测量标准, 选取乙酸乙酯处死后的摩洛哥戟纹蝗, 使用手机及简易拍照平台分别将试虫的虫体和前、后翅拍照进行拍摄, 保存图片资料进行下一步研究, 拍照平台高 15 cm、宽 12 cm, 由亚克力板构成上下底板, 上方板块放置拍摄镜头, 底板中央放置试虫。利用 PhotoShop 2021 计算各形态指标, 包括体长(Body length, B)、后足股节长度(Posterior femur length, F)、后足胫节长度(Tibia length, T)、前翅长度(Elytron length, E)、后翅长度(Posterior wing length, P)、前翅面积(Elytron area, Ea)、后翅面积(Posterior wing area, Pa)以及前翅长度与后足股节长度比值(Ratio between elytron length and femur length, E/F)等其他指标, 精确度: 0.01 mm, 分辨率为 238 pixels/cm。

1.4 数据分析

利用 SPSS 27.0.1 计算中哈边境 2 个不同区域摩洛哥戟纹蝗形态特征的平均值、标准差, 对数据进行标准化后进行独立样本 *t* 检验。运用 Pearson 相关系数分析摩洛哥戟纹蝗形态参数之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 摩洛哥戟纹蝗、狭条戟纹蝗和红胫戟纹蝗的形态差异

本研究在阿拉木图州和伊宁市共采集到 51 个摩洛哥戟纹蝗个体, 其中雌性 29 个、雄性 22 个, 测量结果显示, 摩洛哥戟纹蝗雌性体长 32.91-37.15 mm、前翅长 25.91-31.20 mm、后翅长 24.44-29.01 mm、后足股节长 16.04-18.39 mm、后足胫节长 13.68-15.74 mm, 雄性体长 25.77-33.07 mm、前翅长 21.41-24.00 mm、后翅长 19.57-26.10 mm、后足股节长 13.68-16.48 mm, 后足胫节长 11.59-13.83 mm。

摩洛哥戟纹蝗的外部形态特征如图 2-图 4 所示, 该蝗虫头大, 较短于前胸背板。前胸背板有“X”形花纹, 呈黄色; 中隆线明显, 呈黄色; 侧隆线较弱。前翅发达且较长, 远超过腹部。后足股节细长, 股节长度与宽度比为 4.0, 中部具羽状纹; 上侧中隆线和外侧下隆线间具 3 条黑色短带; 外侧上隆线 and 下隆线无黑点 (图 4: A)。股节内侧粉红色, 上侧中隆线和内侧下隆线间具 3 条黑色短带, 下隆线具发音齿 (图 4: D)。雌性后足胫节呈橘红色, 外列刺和内列刺分别为 13 个, 缺外端刺; 内侧距明显长于外侧距; 中垫较小短于两爪 (图 4: G, J)。

红胫戟纹蝗雌性后足股节土黄色, 中部具羽

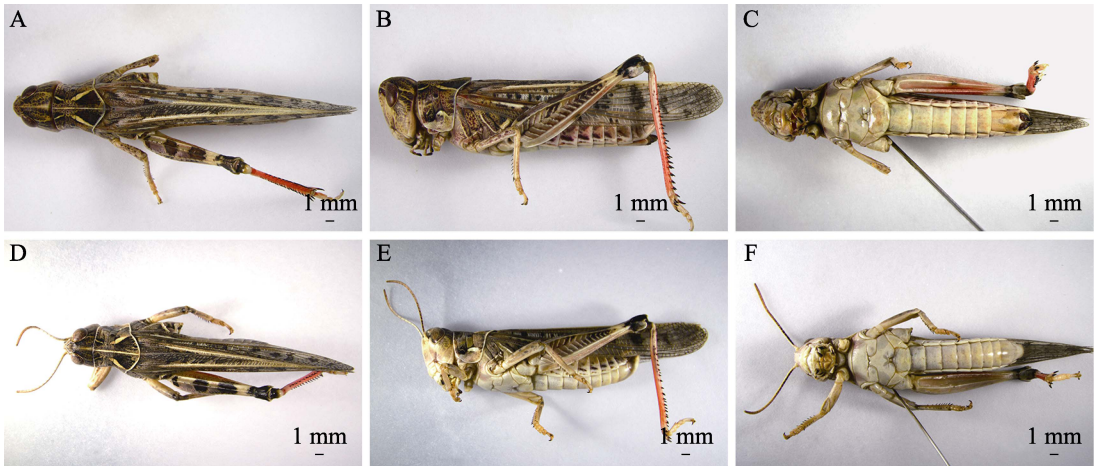


图 2 摩洛哥戟纹蝗的雌性和雄性外部特征

Fig. 2 External characteristics of female and male of *Dociostaurus maroccanus*

A. 雌性背面观; B. 雌性侧面观; C. 雌性腹面观; D. 雄性背面观; E. 雄性侧面观; F. 雄性腹面观。
A. Dorsal view of female; B. Lateral view of female; C. Ventral view of female;
D. Dorsal view of male; E. Lateral view of male; F. Ventral view of male.

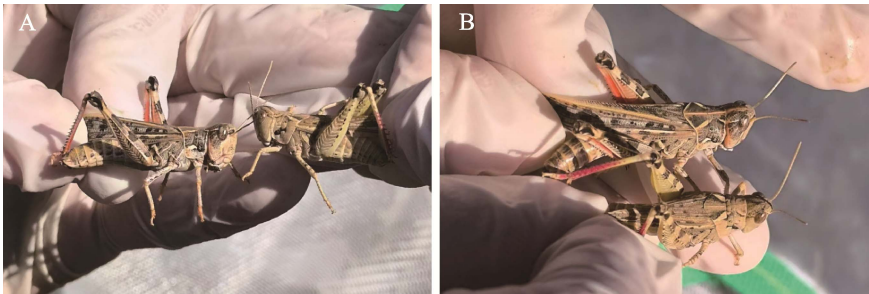


图 3 在塔城地区同区域采集到的摩洛哥戟纹蝗和红胫戟纹蝗

Fig. 3 *Dociostaurus maroccanus* and *Dociostaurus kraussi* collected in the same region of Tacheng Prefecture

A. 左侧与右侧的蝗虫分别为摩洛哥戟纹蝗和红胫戟纹蝗; B. 上侧与下侧的蝗虫分别为摩洛哥戟纹蝗和红胫戟纹蝗。
A. The locusts on the left and right are *Dociostaurus maroccanus* and *Dociostaurus kraussi*, respectively;
B. The locusts on the top and bottom are *Dociostaurus maroccanus* and *Dociostaurus kraussi*, respectively.

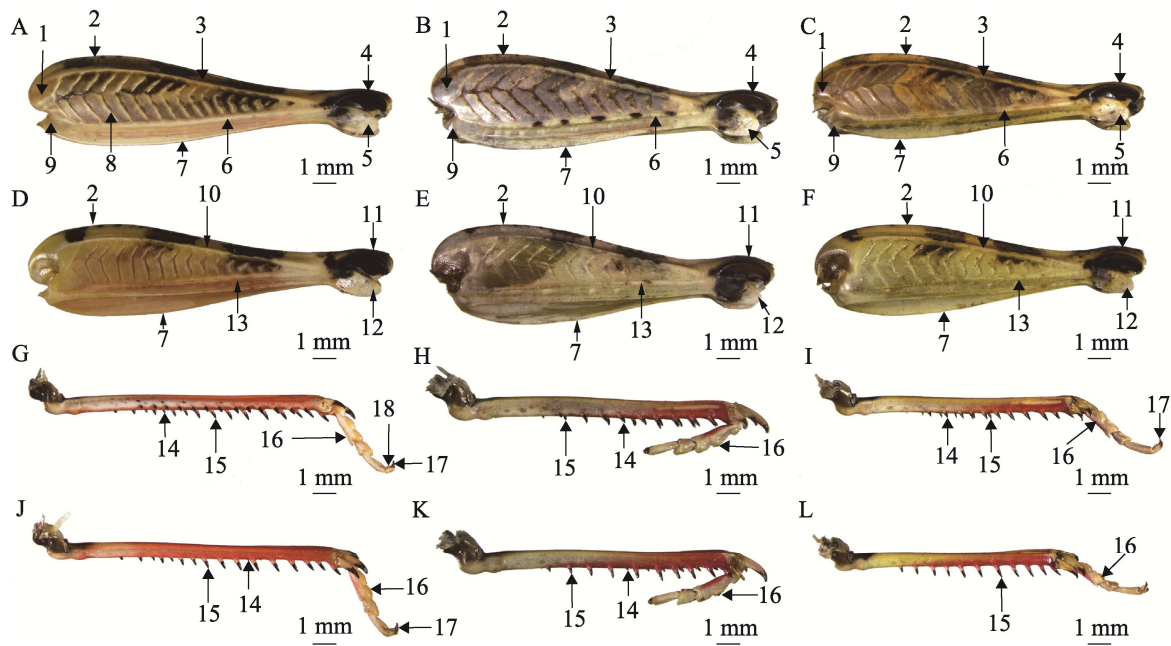


图 4 摩洛哥戟纹蝗、红胫戟纹蝗和狭条戟纹蝗的后足特征

Fig. 4 Posterior leg characteristics of *Dociostaurus maroccanus*, *Dociostaurus kraussi* and *Dociostaurus brevicollis*

- A. 雌性摩洛哥戟纹蝗后足股节外侧观; B. 雌性红胫戟纹蝗后足股节外侧观; C. 雌性狭条戟纹蝗后足股节外侧观;
D. 雌性摩洛哥戟纹蝗后足股节内侧观; E. 雌性红胫戟纹蝗后足股节内侧观; F. 雌性狭条戟纹蝗后足股节内侧观;
G. 雌性摩洛哥戟纹蝗后足胫节外侧观; H. 雌性红胫戟纹蝗后足胫节外侧观; I. 雌性狭条戟纹蝗后足胫节外侧观;
J. 雌性摩洛哥戟纹蝗后足胫节内侧观; K. 雌性红胫戟纹蝗后足胫节内侧观; L. 雌性狭条戟纹蝗后足胫节内侧观。

1. 上基片; 2. 上侧中隆线; 3. 外侧上隆线; 4. 外上膝侧片; 5. 外下膝侧片; 6. 外侧下隆线; 7. 下侧中隆线;
8. 羽状纹; 9. 下基片; 10. 内侧上隆线; 11. 内上膝侧片; 12. 内下膝侧片; 13. 内侧下隆线;
14. 外列刺; 15. 内列刺; 16. 附节; 17. 爪; 18. 中垫。

- A. External view of the posterior femur of female *D. maroccanus*; B. External view of the posterior femur of female *D. kraussi*; C. External view of the posterior femur of female *D. brevicollis*; D. Internal view of the posterior femur of female *D. maroccanus*; E. Internal view of the posterior femur of female *D. kraussi*; F. Internal view of the posterior femur of female *D. brevicollis*; G. External view of the tibia of female *D. maroccanus*; H. External view of the tibia of female *D. kraussi*; I. External view of the tibia of female *D. brevicollis*; J. Internal view of the tibia of female *D. maroccanus*; K. Internal view of the tibia of female *D. kraussi*; L. Internal view of the tibia of female *D. brevicollis*.

1. Upper basal lobe; 2. Upper medial carina; 3. Upper lateral carina; 4. External superior genicular lobe; 5. External inferior genicular lobe; 6. Lower lateral carina; 7. Lower medial carina; 8. Punctuation/Feather-like striations; 9. Lower basal lobe; 10. Upper mesal carina; 11. Internal superior genicular lobe; 12. Internal inferior genicular lobe; 13. Lower mesal carina; 14. Outer row of spines; 15. Inner row of spines; 16. Tarsus; 17. Claw; 18. Arolium.

状纹; 股节长度与宽度比为 3.6; 上侧中隆线 and 外侧下隆线间全长具间断的黑色短带; 外侧上隆线 and 下隆线均具多个黑斑 (图 4: B)。股节上侧中隆线 and 内侧下隆线间具 2 条黑色短带, 内侧下隆线具细齿 (图 4: E)。胫节呈红色, 外列刺 and 内列刺分别 11 个; 内侧距略长于外侧距; 第 1 附节长度等于第 2、3 附节长度之和 (图 4: H, K)。

狭条戟纹蝗雌性后足股节呈黄褐色, 细长, 股节长度与宽度比为 3.9; 中部具羽状纹; 上侧中隆线至羽状纹中部具 3 条黑色短带 (图 4: C); 股节内侧上部具 3 条短带, 内侧下隆线具细齿

(图 4: F)。后足股节长与宽度比 3.9。胫节呈橘红色, 外列刺 and 内列刺分别为 11 个, 缺外端刺; 内侧距略长于外侧距; 第一附节长度等于其余 2 节长度之和 (图 4: I, L)。

2.2 中哈边境不同区域摩洛哥戟纹蝗形态差异分析

中国伊宁市摩洛哥戟纹蝗种群 (以下简称伊宁种群) 和哈萨克斯坦阿拉木图州摩洛哥戟纹蝗种群 (以下简称阿拉木图种群) 成虫的形态指标测量结果见图 5 (A-I)。伊宁种群的雌性体长、

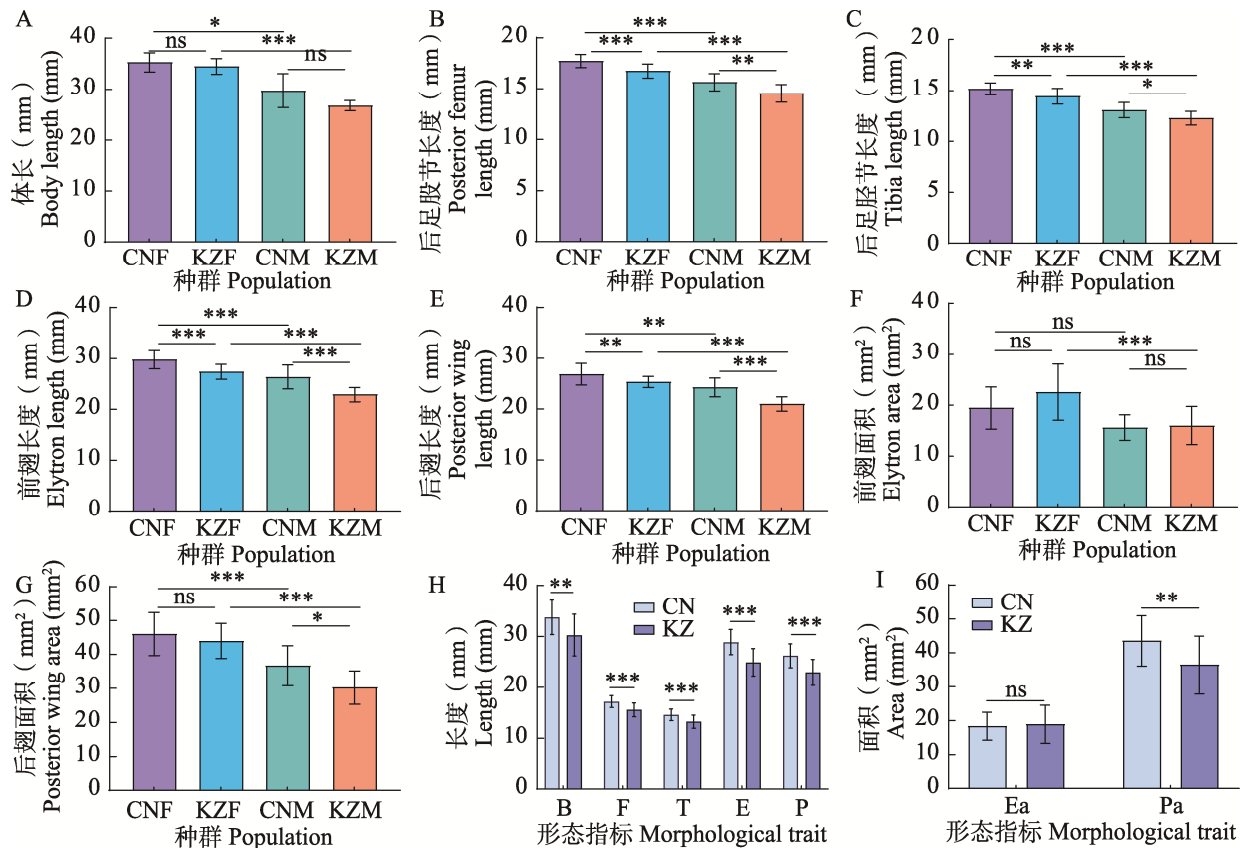


图 5 中哈边境不同种群摩洛哥戟纹蝗形态指标测定结果

Fig. 5 Morphometric results of different populations of *Dociostaurus maroccanus* along the China-Kazakhstan Border

A. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗体长测定结果; B. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗后足股节长度测定结果; C. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗后足胫节长度测定结果; D. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗前翅长度测定结果; E. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗后翅长度测定结果;

F. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗前翅面积测定结果; G. 中哈边境不同种群雌性和雄性摩洛哥戟纹蝗后翅面积测定结果; H. 中哈边境不同种群摩洛哥戟纹蝗各形态指标长度测定结果;

I. 中哈边境不同种群摩洛哥戟纹蝗前翅面积和后翅面积测定结果。

CN: 伊宁种群; KZ: 阿拉木图种群; CNF、KZF、CNM、KZM 中的 F 和 M 分别代表所在种群的雌性样本和雄性样本, 下同; B: 体长; F: 后足股节长度; T: 后足胫节长度; E: 前翅长度; P: 后翅长度; Ea: 前翅面积; Pa: 后翅面积。

图中*表示差异显著; **表示差异非常显著; ***表示差异极其显著; ns 表示差异不显著 (Duncan 氏新复极差法)。

A. Body length morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; B. Posterior femur length morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; C. Tibia length morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; D. Elytron length morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; E. Posterior wing length morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; F. Elytron area morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; G. Posterior wing area morphometric results of different populations of female and male *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border;

H. Measurement results of various morphological trait in different populations of *D. maroccanus* along the China-Kazakhstan Border; I. Measurement results of elytron area and posterior wing area in different populations of *D. maroccanus* from the China-Kazakhstan Border.

CN: Chinese *D. maroccanus* population from Yining City; KZ: Kazakh *D. maroccanus* population from Almaty Province; The sample groups CNF, KZF, CNM, and KZM are defined by female (F) and male (M) individuals from their respective populations of *D. maroccanus*. the same below. B: Body length; F: Posterior femur length; T: Tibia length;

E: Elytron length; P: Posterior wing length; Ea: Elytron area; Pa: Posterior wing area.

* indicates significant difference; ** indicates highly significant difference; *** indicates extremely significant difference; ns indicates no significant difference (Duncan's new multiple range test).

前翅面积、后翅面积与阿拉木图种群无显著差异 ($t = 1.185$, $P = 0.246$; $t = -1.742$, $P = 0.093$; $t = 0.093$, $P = 0.362$), 而后翅长度、后足股节长度、胫节长度、前翅长度显著高于阿拉木图种群 ($t = 2.332$; $P = 0.018$; $t = 3.991$, $P < 0.001$; $t = 2.876$, $P = 0.008$; $t = 3.832$, $P < 0.001$)。伊宁种群雄性除了体长和前翅面积与阿拉木图种群无显著差异以外 ($t = 2.143$, $P = 0.081$; $t = -0.229$, $P = 0.821$), 股节长度、胫节长度、前翅长度、后翅长度和后翅面积等性状均显著大于阿拉木图种群 ($t = 2.650$, $P = 0.015$; $t = 2.402$, $P = 0.026$; $t = 4.261$, $P = 0.001$; $t = 4.442$, $P < 0.001$; $t = 2.606$, $P = 0.017$)。整体上, 伊宁种群的各项特征值较大, 后翅面积、前翅长度、体长、股节长度和胫节长度分别较阿拉木图种群高 19.42%、15.83%、11.63%、10.53%和 10.16% ($t = 3.094$, $P = 0.003$; $t = 5.372$, $P < 0.001$; $t = 3.353$, $P = 0.002$; $t = 4.507$, $P < 0.001$; $t = 3.863$, $P < 0.001$)。此外, 摩洛哥戟纹蝗表现出显著的性二型现象, 主要体现在雌性个体在体长、前翅长、后翅长、后足股节长、胫节长、前翅面积和后翅面积等各项特征值大于雄性 ($t = 9.467$, $P < 0.001$; $t = 6.044$, $P < 0.001$; $t = 5.805$, $P < 0.001$; $t = 8.554$, $P < 0.001$; $t = 9.826$, $P < 0.001$; $t = 4.765$, $P < 0.001$; $t = 6.493$, $P < 0.001$)。

表 1 显示的是摩洛哥戟纹蝗前翅长度/后足股节长度比值 (E/F) 测定结果, E/F 值可用于区分摩洛哥戟纹蝗群居型与散居型, 阿拉木图种群和伊宁种群的 E/F 值均处于 1.5-1.9 之间, 表明两个区域采集的该蝗虫均为群居型。伊宁种群中, 雌性和雄性 E/F 值无显著差异 ($t = -0.195$, $P = 0.847$), 而阿拉木图种群中, 雌性 E/F 显著低于雄性 ($t = 2.294$, $P = 0.030$)。伊宁种群雌性 E/F 值与阿拉木图种群无显著差异 ($t = 1.272$, $P = 0.214$), 雄性 E/F 值显著高于阿拉木图种群 ($t = 3.158$, $P = 0.017$)。伊宁种群 E/F 值显著高于阿拉木图种群 ($t = 3.543$, $P < 0.001$)。

2.3 摩洛哥戟纹蝗各形态性状相关性分析

摩洛哥戟纹蝗雌性成虫形态性状相关性分

表 1 中哈边境不同种群摩洛哥戟纹蝗成虫的 E/F 测定结果

Table 1 Measurement results of E/F ratio (ratio between elytron length and femur length) in *Dociostaurus maroccanus* from different populations along the China-Kazakhstan Border

种群 Populations	类别 Category	前翅长度与后足股节长度比值 Ratio between elytron length and femur length
CN	Total	1.68 ± 0.72 a
	♀	1.68 ± 0.07 a
	♂	1.69 ± 0.08 a
KZ	Total	1.60 ± 0.08 b
	♀	1.64 ± 0.01 ab
	♂	1.57 ± 0.05 b

CN: 伊宁种群; KZ: 阿拉木图种群; Total: 由所在种群的雌性和雄性样本共同构成。表中数值为平均值±标准差, 同列数据中不同小写字母表示在不同地理种群标准化后的数据在 $P < 0.05$ 水平差异显著 (Duncan 氏新复极差法)。

CN: Chinese *D. maroccanus* population from Yining City; KZ: Kazakh *D. maroccanus* population from Almaty Province; Total: The collection comprised samples of female and male *D. maroccanus* obtained from the target population. Data in the table are presented as mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ among the standardized data of different populations (Duncan's multiple range test).

析结果显示 (表 2), 体长与后足股节长度、后足胫节长度、前翅长度、后翅长度、前翅面积、后翅面积之间存在极显著正相关 ($r = 0.503$, $P = 0.005$; $r = 0.473$, $P = 0.01$; $r = 0.646$, $P < 0.001$; $r = 0.702$, $P < 0.001$; $r = 0.420$, $P = 0.023$; $r = 0.690$, $P < 0.001$)。后足股节长度与后足胫节长度、前翅长度、后翅长度和后翅面积成极显著正相关 ($r = 0.854$, $P = 0.000\ 31$; $r = 0.707$, $P = 0.000\ 018$; $r = 0.648$, $P < 0.001$; $r = 0.659$, $P < 0.001$), 与前翅面积之间不存在显著相关 ($r = 0.269$, $P = 0.157$)。后足胫节长度与前翅长度、后翅长度、前翅面积、后翅面积之间呈现显著正相关 ($r = 0.709$, $P < 0.001$; $r = 0.683$, $P < 0.001$; $r = 0.422$, $P = 0.023$; $r = 0.709$, $P < 0.001$)。

摩洛哥戟纹蝗雄性成虫形态性状相关性分析结果如表 3 所示, 体长与后足股节长度、后足

胫节长度、前翅长度、后翅长度、后翅面积之间存在显著正相关($r = 0.698, P < 0.001; r = 0.723, P < 0.001; r = 0.878, P < 0.001; r = 0.841, P < 0.001; r = 0.738, P < 0.001$), 与前翅面积无显著相关($r = 0.197, P = 0.379$)。后足股节长度与后足胫节长度、前翅长度、后翅长度和后翅面积成极显著正相关($r = 0.962, P < 0.001; r = 0.874, P < 0.001; r = 0.885, P < 0.001; r = 0.738,$

表 2 摩洛哥戟纹蝗不同地理种群雌性成虫各形态性状相关性
Table 2 Correlation of morphological traits in female adults of different geographic populations of *Docostaurus maroccanus*

	体长 Body length	后足股节长度 Posterior femur length	后足胫节长度 Tibia length	前翅长度 Elytron length	后翅长度 Posterior wing length	前翅面积 Elytron area	后翅面积 Posterior wing area
体长 Body length	1						
后足股节长度 Posterior femur length	0.503**	1					
后足胫节长度 Tibia length	0.473**	0.854**	1				
前翅长度 Elytron length	0.646**	0.707**	0.709**	1			
后翅长度 Posterior wing length	0.702**	0.648**	0.683**	0.904**	1		
前翅面积 Elytron area	0.420*	0.269	0.422*	0.132	0.266	1	
后翅面积 Posterior wing area	0.690**	0.659**	0.709**	0.632**	0.776**	0.614**	1

*表示差异显著; **表示差异极显著 (双尾检验)。下表同。
* indicates significant difference; ** indicate extremely significant difference (two-tailed test). The same below.

表 3 摩洛哥戟纹蝗不同地理种群雄性成虫各形态性状相关性
Table 3 Correlation of morphological traits in male adults of different geographic populations of *Docostaurus maroccanus*

	体长 Body length	后足股节长度 Posterior femur length	后足胫节长度 Tibia length	前翅长度 Elytron length	后翅长度 Posterior wing length	前翅面积 Elytron area	后翅面积 Posterior wing area
体长 Body length	1						
后足股节长度 Posterior femur length	0.698**	1					
后足胫节长度 Tibia length	0.732**	0.962**	1				
前翅长度 Elytron length	0.878**	0.874**	0.858**	1			
后翅长度 Posterior wing length	0.841**	0.885**	0.874**	0.988**	1		
前翅面积 Elytron area	0.197	0.129	0.209	0.123	0.101	1	
后翅面积 Posterior wing area	0.797**	0.738**	0.745**	0.823**	0.804**	0.478**	1

$P < 0.001$), 与前翅面积之间不存在显著相关 ($r = 0.129$, $P = 0.566$)。后足胫节长度与前翅长度、后翅长度、后翅面积之间呈现显著正相关 ($r = 0.858$, $P < 0.001$; $r = 0.874$, $P < 0.001$; $r = 0.745$, $P < 0.001$), 与前翅面积不存在显著相关 ($r = 0.209$, $P = 0.350$)。

3 讨论

外部形态特征是野外蝗虫物种鉴定的关键依据。本文分析比较了摩洛哥戟纹蝗、红胫戟纹蝗及狭条戟纹蝗最具分类鉴别价值的形态特征, 为野外精准鉴定提供参考依据。通过采集到的实体标本进行测量得出, 摩洛哥戟纹蝗成虫的各个形态指标结果(如体长、前翅长度、后足股节长度等)与 Стамo 等(2013)和 Latchininsky(2023) 研究报道的范围基本一致。摩洛哥戟纹蝗与红胫戟纹蝗、狭条戟纹蝗成虫形态相似, 但也有明显差别。第一, 尽管三者前胸背板均有“X”形花纹, 但是红胫戟纹蝗的“X”形花纹在沟后区呈现较宽的条纹特征, 而摩洛哥戟纹蝗的相应条纹较窄, 这与季荣等(2025)的报道一致。第二, 摩洛哥戟纹蝗在3种戟纹蝗中体型最大, 其雌性体长为 32.91-37.15 mm、雄性体长为 25.77-33.07 mm, 而红胫戟纹蝗雌性和雄性成虫体长分别为 23-26 和 16-20 mm, 狭条戟纹蝗雌性和雄性成虫体长分别为 16-25 和 12-18 mm(郑哲民和夏凯龄, 1998)。第三, 摩洛哥戟纹蝗更容易识别的特征为后足股节内侧呈粉色, 而狭条戟纹蝗与红胫戟纹蝗呈黄褐色或土黄色。摩洛哥戟纹蝗、狭条戟纹蝗、红胫戟纹蝗后足股节长度与宽度比分别为 4.0、3.9 和 3.6, 前两者后足股节更细长。摩洛哥戟纹蝗与狭条戟纹蝗后足股节外侧上隆线 and 外侧下隆线上均无黑斑, 而红胫戟纹蝗的外侧上隆线 and 下隆线上有若干个黑斑。第四, 摩洛哥戟纹蝗和狭条戟纹蝗的胫节呈橘红色, 而红胫戟纹蝗后足胫节呈现暗红色或鲜红色。因此, 在3种蝗虫的形态鉴别特征中, 体型、后足股节内侧的颜色差异及外侧斑点可作为最显著的分类依据。

为探究哈萨克斯坦与中国两地摩洛哥戟纹

蝗成虫的形态差异, 本研究选取了7个形态指标及1项形态指标比值进行分析。同性别中, 伊宁种群的各项形态指标均显著大于阿拉木图种群。其中, 雌性差异最显著的特征为前翅长度、后翅长度、前翅面积、后足股节长度及后足胫节长度等与运动能力相关的指标; 雄性差异则主要体现在前翅长度、后翅长度、后足股节长度和后足胫节长度方面。前翅、后足股节和胫节作为直接影响飞行与跳跃能力的关键结构, 其形态变异与蝗虫扩散能力密切相关; 而体长则反映其能量储备状况, 通常群居型个体体长大于散居型, 以支持长距离迁飞所需的物质与能量基础(张洋, 2011)。

蝗虫的扩散能力在其种群动态及型变中具有重要作用, 个体迁移可能通过密度依赖机制诱发行为与形态的适应性变化, 进而促进群居型种群的形成(Ghadraoui *et al.*, 2008)。已有的研究表明, E/F 值(前翅长/后足股节长比)可作为区分群居型与散居型摩洛哥戟纹蝗的重要形态指标: 群居型个体 E/F 值通常介于 1.50-1.90, 而散居型则介于 1.30-1.55(Khairou *et al.*, 2024)。本研究发现, 伊宁种群和阿拉木图种群的 E/F 值均在 1.5-1.9 范围内, 符合群居型特征, 但伊宁种群的 E/F 值显著高于阿拉木图种群, 说明伊宁种群表现出更强的群居型形态倾向。哈萨克斯坦摩洛哥戟纹蝗样本采集地点东部与中国的伊犁河谷相连, 距离中国边境约 180 km 处, 是潜在的迁飞通道。因此, 阿拉木图蝗种群较低的 E/F 值可能反映其处于由散居向群居转变的过渡状态。这种形态差异可能反映了阿拉木图种群作为迁飞起源地种群的早期聚集特征, 或者是经历过迁飞后的型变状态, 暗示该地区可能是摩洛哥戟纹蝗迁飞种群的潜在起源地之一。形态特征的差异为境外种群向我国境内(如霍城、伊宁)迁飞提供了初步的形态学证据。然而, 该推论仍需结合分子生物学等技术进行进一步验证。

摩洛哥戟纹蝗的形态性状相关性分析结果显示, 雌性体长与前翅长度、后翅长度、后翅面积、后足股节长度、胫节长度均呈高度正相关; 雄性体长同样与前翅长度、后翅长度与面积、股

节长度、胫节长度表现出极显著的相关性。在个体发育过程中, 体长与运动相关器官(翅与足)的形态建成具有协同性。在器官水平上, 形态特征的性二型现象表达可能对蝗虫的飞行与运动能力产生重要影响(Gäde, 2002; Petit *et al.*, 2006)。本研究发现, 摩洛哥戟纹蝗雌性前翅长度、后翅长度分别与后足股节长度和胫节长度之间存在显著相关性, 雄性成虫也呈现类似趋势, 表明群居型摩洛哥戟纹蝗在飞行与跳跃相关形态特征之间具有功能关联。该结果与 Ghadraoui 等(2008)通过形态测量方法所提出的结论一致, 即摩洛哥戟纹蝗成虫飞行能力与运动能力之间存在协同变化关系, 初步支持形态整合在其适应性扩散中的重要作用。

基于上述形态比较结果表明, 伊宁种群在与运动相关的形态特征, 如体长、翅长及后足股节长度、胫节长度等均显著大于阿拉木图种群, 其中, 与飞行能力直接相关的形态特征(翅与足)差异表达最为明显。相关性分析表明, 这些形态性状之间存在高度整合性, 飞行与跳跃器官之间存在显著的协同, 符合其迁飞型生物学特征。这些形态分化与功能适应性特征共同揭示, 形态特征呈现出一定的自西向东的变异梯度, 表明伊宁种群很可能源自境外迁飞个体的持续输入。该结果为探讨摩洛哥戟纹蝗跨境迁飞行为提供了初步的形态学线索, 对基于种群来源解析的区域监测预警系统及制定针对性防控策略具有一定的启示价值。未来工作需整合分子生物学、昆虫雷达监测、气象轨迹分析等多学科方法, 进一步验证其迁飞路径。

致谢: 感谢新疆维吾尔自治区草原生物灾害防控中心(新疆维吾尔自治区野生动植物保护监测中心)、伊犁州林草局及哈萨克斯坦教育科学部动物研究所等单位在样本采集方面提供的帮助。

参考文献 (References)

- Стамо П.Д., Коваленков В.Г., Кузнецова О.В., Никитенко Ю.В., 2013. Мароккская саранча снова на Ставрополье. *Защита И Карантин Растений*, 2013(2): 14–20.
- Gäde G, 2002. Sexual dimorphism in the pyrgomorphid grasshopper *Phymateus morbillosus*: From wing morphometry and flight behaviour to flight physiology and endocrinology. *Journal of Insect Physiology*, 27(1): 39–50.
- Ghadraoui L, Petit D, Mokhles R, Azouzi A, Lazraq A, 2008. Situation du criquet marocain *Docostaurus maroccanus* Thunb 1815 par rapport aux différentes espèces acridiennes morphométrie et capacités de déplacements. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 4(1): 125–137.
- Guerrero A, Coca-Abia M, Quero C, 2017. *Advances in Animal Science and Zoology*, Volume 10. New York: Nova Science Publishers. 13–57.
- Gupta VK, 1983. The locust and grasshopper agricultural manual 1982. *Oriental Insects*, 17(1): 78–126.
- Ji R, He L, Liu HX, Xu Y, Cao KL, Dong CL, Jashenko R, 2025. Analysis of *Docostaurus maroccanus* disasters and invasion risks in Xinjiang. *Journal of Xinjiang Normal University*, <https://doi.org/10.14100/j.cnki.1008-9659.20250801.001>. [季荣, 何岚, 刘慧霞, 徐叶, 曹凯丽, 董传磊, Roman Jashenko, 2025. 摩洛哥戟纹蝗灾害及入侵新疆风险分析. 新疆师范大学学报, <https://doi.org/10.14100/j.cnki.1008-9659.20250801.001>.]
- Khairov KS, Lazutkaite E, Latchininsky AV, 2024. Distribution, population dynamics, and management of Moroccan locust *Docostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) (Orthoptera, Acrididae) in Tajikistan. *Insects*, 15(9): 684.
- Klein I, Cocco A, Uereyen S, Mannu R, Floris I, Oppelt N, Kuenzer C, 2022. Outbreak of Moroccan locust in Sardinia (Italy): A remote sensing perspective. *Remote Sens*, 14(23): 6050.
- Latchininsky AV, 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Moroccan locust (*Docostaurus maroccanus* Thunberg, 1815) in Afghanistan: Biology, ecology and monitoring. <https://www.fao.org/3/cb3568en/cb3568en>.
- Liu Q, 2017. Ecological characteristic difference in adjacent area in the SinoKazakh border and *Calliptamus italicus* flight ability. Master dissertation. Urumqi: Xinjiang Normal University. [刘琼, 2017. 中哈边境毗邻蝗区生态特征差异及意大利蝗飞行能力研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆师范大学.]
- Petit D, Picaud F, Ghadraoui L, 2006. Géométrie morphologique des ailes des Acrididae (Orthoptera: Caelifera): Sexe, stridulation, caractère. *Annales de la Société Entomologique de France* (n.s.), 42(1): 63–73.
- Ren JL, Li JX, Yaseen-Shali, Liang Z, Lin J, Feng SQ, Chang X, Zhao L, Tu XB, 2025. First record of *Docostaurus maroccanus* (Orthoptera: Acrididae) in China: A new discovery from the Yili grassland, Xinjiang. *Journal of Plant Protection*, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2025.2025104>. [任金龙, 李金星, 牙森·沙力, 梁中, 林峻, 冯士寒, 畅笑, 赵莉, 涂雄兵, 2025. 新

- 疆伊犁草原发现中国新记录种——摩洛哥戟纹蝗. 植物保护学报, <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2025.2025104>.]
- Wang JF, Pang JT, Han JT, Zhang X, Dong HM, 2015. Toxic effects on *Drosophila melanogaster* of four commonly used reagents for insect collecting poison bottles. *Journal of Shenyang University (Natural Science Edition)*, 27(2): 126–129. [王剑峰, 逢金涛, 韩锦涛, 张旭, 董慧萌, 2015. 四种常用昆虫采集毒瓶试剂对黑腹果蝇毒杀效果. 沈阳大学学报(自然科学版), 27(2): 126–129.]
- Zhang Y, 2011. Study on ecophenotype and biological behavioral of *Calliptamus italicus*. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [张洋, 2011. 意大利蝗生态型及生物学特性研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Zheng ZM, Xia KL, 1998. Fauna Sinica. Insecta, Vol. 10: Orthoptera, Acridoidea, Oedipodidae, Arcypteridae.. Beijing: Science Press. 357–365. [郑哲民, 夏凯龄, 1998. 中国动物志昆虫纲, 第十卷: 直翅目蝗总科斑翅蝗科, 网翅蝗科. 北京: 科学出版社. 357–365.]

封面介绍

灌县癞象 *Episomus kwanhsiensis* Heller, 1923

身体背面褐色至深褐色, 翅坡大部分白色, 翅坡前往往散布白色斑点, 两侧白色, 并在鞘翅中间扩张至行纹 3, 从而形成白色的带。中、后足腿节大部分褐色。触角索节 7 和棒节褐色。喙长大于宽, 两侧之沟扩充至眼前, 中沟深而宽, 长达眼后缘。触角柄节粗而略扁, 长达眼后缘。前胸背板宽略大于长, 两侧凸圆, 中间前最宽, 基部二凹形, 中沟深, 两侧有具皱纹的纵隆线。小盾片圆形, 隆凸。鞘翅向前突出为圆形, 嵌入前胸后缘的二凹内, 端部钝圆, 末端缩成锐突。肩胝略明显, 各行间一样高, 但行间 1 的翅坡后的部分较高, 行间细, 窄于行纹, 刻点扁而大。

本期封面照片是在大别山区生物多样性综合科学考察中, 于 2023 年 7 月 5 日拍摄于安徽省安庆市岳西县美丽茶场。成虫正停歇在禾本科植物的茎秆上, 发现人靠近后, 躲避相机拍摄, 闪光点拍摄后, 假死跌落于地面。

感谢大别山区生物多样性综合科学考察(2019FY101800)项目资助。

(姜春燕, 中国科学院动物研究所)