



周童, 张科, 周冉, 周阳, 戚英杰, 李凯, 初红军. 两种侵袭宿主方式的优势种马胃蝇飞行能力研究 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (1): 253–261.

两种侵袭宿主方式的优势种马胃蝇飞行能力研究

周童¹, 张科¹, 周冉¹, 周阳¹,
戚英杰², 李凯^{1*}, 初红军^{3*}

(1. 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083; 2. 新疆卡拉麦里山有蹄类自然保护区管理中心, 乌鲁木齐 831100;
3. 新疆林业科学院森林生态研究所, 乌鲁木齐 830063)

摘要: 为了解两种不同侵染宿主方式马胃蝇的飞行行为, 本研究利用飞行磨系统测定了黑腹胃蝇 *Gasterophilus pecorum* (以牧草为产卵载体) 和肠胃蝇 *G. intestinalis* (以宿主体毛为产卵载体) 的飞行能力。结果表明: (1) 肠胃蝇总飞行时间和距离均显著高于黑腹胃蝇, 分别为后者的 5.52 倍和 7.65 倍, 但平均飞行速度无显著性差异 ($P > 0.05$)。 (2) 黑腹胃蝇雌虫的飞行时间、距离和速度均略高于雄虫, 而肠胃蝇雌虫除平均飞行速度外的飞行参数均低于雄虫。 (3) 肠胃蝇吊飞期间的体重消耗 (24.38%) 显著高于黑腹胃蝇 (14.07%); 黑腹胃蝇雌雄成虫甘油三酯含量均显著下降, 但两者差异不显著 ($P > 0.05$)。飞行距离差异反映了两种不同侵染宿主方式马胃蝇的飞行能力发生了适应性的变化, 而总飞行时间为两种马胃蝇飞行距离差异的主导因素。

关键词: 黑腹胃蝇; 肠胃蝇; 飞行能力; 飞行磨; 侵染方式

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 01-0253-09

Study on flight performance of the dominant of horse stomach bot fly species with two modes of host infection

ZHOU Tong¹, ZHANG Ke¹, ZHOU Ran¹, ZHOU Yang¹, QI Ying-Jie², LI Kai^{1*}, CHU Hong-Jun^{3*}

(1. School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Xinjiang Kalamaili Ungulate Nature Reserve Management Center, Urumqi 831100, China; 3. Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830063, China)

Abstract: To understand the flight behaviors of horse stomach bot flies with two different modes of host infection, flight performances of *Gasterophilus pecorum* (using pasture plants as oviposition carrier) and *G. intestinalis* (using host body hair as oviposition carrier) were assayed on flight mill. The results show that: (1) The total flight duration and distance of *G. intestinalis* were significantly higher than those of *G. pecorum*, with 5.52-fold and 7.65-fold differences favouring the former species, but there was no significant difference in the average flight velocity between them ($P > 0.05$). (2) Flight duration, distance, and velocity of *G. pecorum* females were slightly higher than those of males; while the flight parameters of *G. intestinalis* females except for the average flight velocity, were slightly lower than those of males. (3) After flight, the mass loss of *G. intestinalis* was significantly higher than that of *G. pecorum*,

基金项目: 新疆自然保护地调查与国家公园潜力区科学考察 (2021xjkk1201); 国家林草局野生动植物保护司物种保护项目 (2021123)

作者简介: 周童, 女, 硕士研究生, 研究方向为野生动植物保护生物学, E-mail: zhoutongZXL@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 李凯, 博士, 教授, 研究方向为野生动物保护, E-mail: jiujiu@bjfu.edu.cn; 初红军, 博士, 教授, 研究方向为野生动物保护, E-mail: hongjunchu@vip.163.com

收稿日期 Received: 2021-09-29; 接受日期 Accepted: 2022-08-22

which were 24.38% and 14.07%, respectively; and the triglyceride contents of female and male *G. pecorum* decreased significantly, but the difference in the percentage of relative triglyceride loss between them was not significant ($P > 0.05$). The difference in flight distance reflects the adaptive change in flight performances of two species of horse stomach bot flies with different infection modes, while total flight duration was the dominant factor of the difference in flight distance between them.

Key words: *Gasterophilus pecorum*; *G. intestinalis*; flight performance; flight mill; infection mode

马胃蝇为马科动物专性寄生虫,大量寄生时可造成宿主吞咽困难、炎症和溃疡等疾病,严重时可导致宿主死亡(Zumpt, 1965; Smith *et al.*, 2005)。2001年普氏野马放归至新疆卡拉麦里山有蹄类自然保护区后,通过连续监测发现,马胃蝇感染率为100%,感染数量最多可达千余条,已对野马健康和生存构成严重威胁,成为长期困扰普氏野马复壮的主要因素之一(Chen *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2016; Zang *et al.*, 2017)。

马胃蝇幼虫寄生于宿主消化道长达9-10个月,其发育至成熟后随宿主粪便排出并迅速入土化蛹(Zumpt, 1965),仅有部分幼虫顺利完成化蛹和羽化过程,蜕变为成虫。在进化过程中,马胃蝇衍生出以宿主体毛和牧草为产卵载体的两种不同侵染方式。黑腹胃蝇 *Gasterophilus pecorum* 是胃蝇属中唯一将卵产于植物上的物种,待马采食含有黑腹胃蝇卵的植物后达到感染的目的;而肠胃蝇 *G. intestinalis* 及其余7种马胃蝇均将卵产于宿主体毛上(Zumpt, 1965; Liu *et al.*, 2015),两类马胃蝇均需通过飞行达到产卵和侵染宿主的目的。

昆虫的飞行依赖于能量物质的消耗,主要为含碳水化合物、脂肪和蛋白质三大类(Rankin and Burchsted, 1992; Fischbein *et al.*, 2011)。对于非补充营养的昆虫如驯鹿狂蝇 *Cephenemyia trompe*、驯鹿皮蝇 *Hypoderma tarandi* 和樗蚕蛾 *Philosamia cynthia* 等,脂肪的消耗更有利于其飞行(Beenackers, 1969; Nilssen and Anderson, 1995)。马胃蝇成虫口器退化,无法进食(Humphreys and Reynolds, 1980; Cope and Catts, 1991),仅靠幼虫期储存的能量物质维持生命活动,属于典型非补充营养昆虫,了解其飞行能力特点、飞行期能量物质消耗规律有利于进一步探索其成虫期生活史特点和繁殖习性。

飞行时间和速度关系着昆虫的定殖能力与扩散范围,是体现昆虫飞行能力主要生命参数(王

凤英等, 2010)。影响昆虫飞行能力的因素包括日龄、性别和交配状况等自身因素以及温度、湿度等环境因素,目前对昆虫飞行能力的研究已经广泛涉及鳞翅目、膜翅目、半翅目、直翅目、双翅目和鞘翅目等物种(Fischbein *et al.*, 2017; Fu *et al.*, 2017; Martini *et al.*, 2018; Cao *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2019; Hoddle *et al.*, 2020)。其中双翅目蝇类的飞行能力研究主要集中于植食性、腐食性和杂食性蝇类(王俊刚等, 2008; Irvin and Hoddle, 2020; Makumbe *et al.*, 2020),专性寄生的马胃蝇飞行能力的系统性研究尚未见报道。飞行能力强弱可能反映在两种不同侵染方式胃蝇物种上,本文对黑腹胃蝇和肠胃蝇的飞行能力及黑腹胃蝇雌雄成虫的能量物质消耗进行测定,为两种马胃蝇的扩散、监控与防治以及流行病学研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 虫源及培育

试虫采集地点位于新疆卡拉麦里山有蹄类自然保护区境内(44°36'~46°00' N, 88°30'~90°03' E),该保护区地处干旱荒漠草原,植被稀少(Zang *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021)。采用跟踪法采集放归的普氏野马新排粪便中的黑腹胃蝇和肠胃蝇老熟幼虫(王可豪等, 2015)。将采集的幼虫置于含有土壤的遮光布袋中带回实验室,通过形态学对其进行物种鉴定后(Zumpt, 1965; Li *et al.*, 2018),转移至布丁盒中,将其放置于人工气候箱(RXZ-430C, 宁波江南仪器厂)内培育至成虫,培养条件为L:D=18 h (24°C):6 h (18°C),相对湿度30%。

1.2 飞行能力测定

采用飞行磨系统(FXM11, 河南佳多科工贸有限责任公司)测定黑腹胃蝇和肠胃蝇的总飞行时间、平均飞行速度、总飞行距离和飞行次数等飞行参数(Ma *et al.*, 2019)。测试前,利用电子

天平（精度： ± 0.0001 g，SQP，赛多利斯科学仪器有限公司）称量 1 日龄成虫体重（Fischbein *et al.*, 2011）。采用少量强力胶将飞行磨吊臂一侧末端粘在成虫胸部背板上，并确保其可正常振翅飞行；吊臂另一端施加适当重量控制平衡。测试在温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $45\% \pm 5\%$ 和光照条件进行 12 h。测试结束后，再次称量试虫体重，并计算其体重消耗比例。

$$\text{体重消耗百分比}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中 m_1 为飞行前体重 (mg)， m_2 为飞行后体重 (mg) (Grilli and Fachinetti, 2017)。

1.3 黑腹胃蝇雌雄成虫甘油三酯 (TG) 含量测定

将吊飞后 (10 雌 10 雄) 和同日龄未飞行 (10 雌 10 雄) 的黑腹胃蝇置于 -80°C 冰箱中致死并保存 (Cao *et al.*, 2019)。去除待测样品的头、足和翅膀，采用组织甘油三酯试剂盒 (E1013，北京普利莱基因技术有限公司) 测定试虫的甘油三酯含量 (窦洁等, 2017)，计算相对甘油三酯消耗比例。

$$\text{相对甘油三酯消耗百分比}(\%) = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100$$

式中 n_1 为未飞行甘油三酯含量均值 (μg)， n_2 为飞行后甘油三酯含量 (μg)。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 20.0 软件进行分析处理。对数据进行正态分布检验，若不符合正态分布，则将其进行 Log_{10} 转换。两种马胃蝇的飞行参数、体重

消耗百分比和黑腹胃蝇雌雄成虫甘油三酯消耗均采用独立样本 t 检验进行显著性分析 (Seo *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2019)。利用 Pearson 相关系数分析分别测定黑腹胃蝇飞行前体重和相对甘油三酯消耗量之间的相关性，显著性水平为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 试虫培育

于野外检查的 3 648 堆新排粪便中，共采集 284 头黑腹胃蝇和 7 头肠胃蝇老熟幼虫。黑腹胃蝇的羽化率为 58.80%，成虫雌雄比为 1:1.62，共选取 14 头雌虫和 18 头雄虫用于飞行能力测定；肠胃蝇羽化率为 85.71%，成虫雌雄比为 1:2，羽化的 6 头成虫 (2♀4♂) 均用于飞行能力测定。

2.2 飞行时间

黑腹胃蝇的总飞行时间为 1.24 ± 0.16 h，最长可达 4.80 h；肠胃蝇的总飞行时间为 6.85 ± 1.15 h，最长可达 11.51 h (图 1)。肠胃蝇的总飞行时间为黑腹胃蝇的 5.52 倍，存在显著性差异 ($t=6.078$, $df=36$, $P<0.001$) (图 1)。肠胃蝇的一次最长飞行时间也显著高于黑腹胃蝇 ($t=3.982$, $df=36$, $P<0.001$) (图 1)。黑腹胃蝇雌、雄成虫的总飞行时间 ($t=0.614$, $df=30$, $P>0.05$) 和一次最长飞行时间 ($t=1.090$, $df=30$, $P>0.05$) 的差异不显著，且雌虫略高于雄虫；而肠胃蝇雌虫则略低于雄虫 (表 1)。

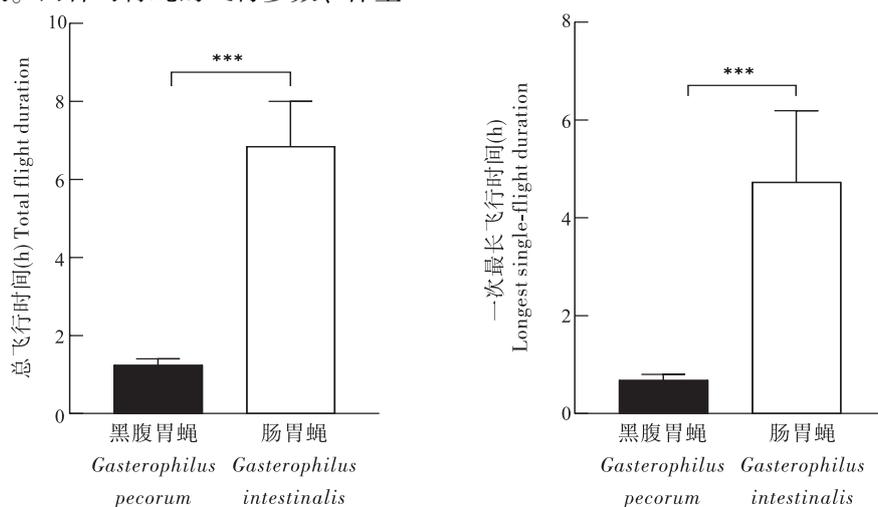


图 1 黑腹胃蝇和肠胃蝇的飞行时间

Fig. 1 Flight duration of *Gasterophilus pecorum* and *Gasterophilus intestinalis*

注：图中数据为平均数 \pm 标准误。NS, $P > 0.05$; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$ 。下同。Note: Data in the figure were mean \pm SE. NS, $P > 0.05$; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$. The same below.

表 1 不同性别黑腹胃蝇和肠胃蝇的飞行参数

Table 1 Flight parameters between sex of *Gasterophilus pecorum* and *Gasterophilus intestinalis*

飞行参数 Flight parameters	黑腹胃蝇 <i>Gasterophilus pecorum</i>		肠胃蝇 <i>Gasterophilus intestinalis</i>	
	雌虫 Female	雄虫 Male	雌虫 Female	雄虫 Male
总飞行时间 (h) Total flight duration	1.29 ± 0.20	1.19 ± 0.25	5.54 ± 0.92	7.51 ± 1.65
一次最长飞行时间 (h) Longest single-flight duration	0.87 ± 0.21	0.53 ± 0.12	4.46 ± 1.58	4.86 ± 2.21
平均飞行速度 (km/h) Average flight velocity	2.28 ± 0.40	2.25 ± 0.22	3.06 ± 0.72	2.71 ± 1.01
最快飞行速度 (km/h) Maximum flight velocity	5.62 ± 0.82	5.07 ± 0.33	5.88 ± 0.45	6.78 ± 1.41
总飞行距离 (km) Total flight distance	3.29 ± 0.80	2.58 ± 0.48	17.59 ± 6.80	24.47 ± 13.86
一次最长飞行距离 (km) Furthest single-flight distance	2.70 ± 0.77	1.64 ± 0.44	15.36 ± 8.02	20.50 ± 14.84

注：表中数据为平均数 ± 标准误。下同。Note: Data in the table were mean ± SE. Same below.

2.3 飞行速度

黑腹胃蝇的平均飞行速度为 2.26 ± 0.21 km/h，飞行速度最快可达 13.56 km/h。肠胃蝇的平均飞行速度为 2.82 ± 0.67 km/h，飞行速度最快可达 10.85 km/h（图 2）。肠胃蝇的平均飞行速度为黑腹胃蝇的 1.25 倍，但无显著性差异（ $t = 0.989$ ， $df = 36$ ， $P > 0.05$ ）（图 2）；且两者的平均最快飞

行速度的差异不显著（ $t = 1.168$ ， $df = 36$ ， $P > 0.05$ ）（图 2）。黑腹胃蝇雌、雄成虫的平均飞行速度（ $t = 0.052$ ， $df = 20.767$ ， $P > 0.05$ ）和平均最快飞行速度（ $t = 0.142$ ， $df = 30$ ， $P > 0.05$ ）不存在显著性差异，且雌虫略高于雄虫；肠胃蝇雌虫的平均飞行速度略高于雄虫，而平均最快飞行速度则略低于雄虫（表 1）。

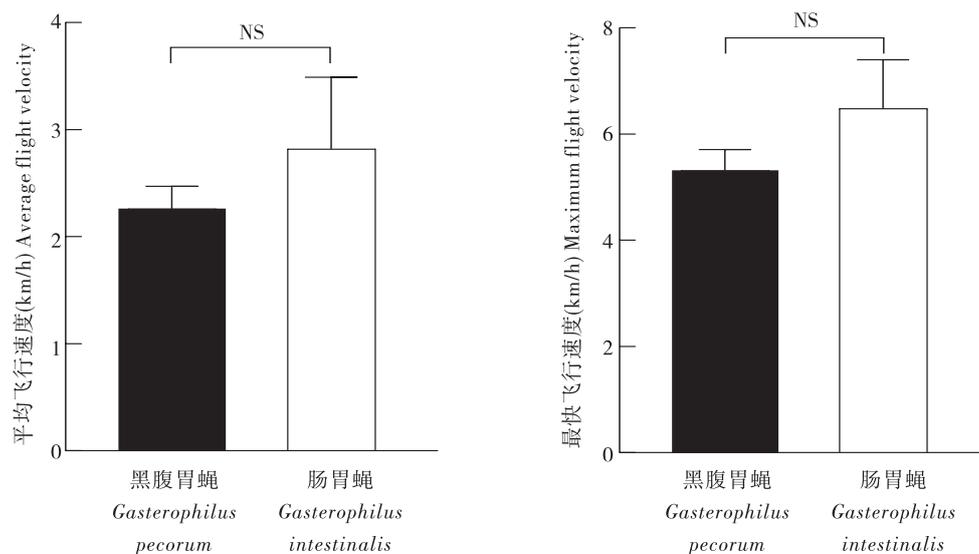


图 2 黑腹胃蝇和肠胃蝇的飞行速度

Fig. 2 Flight velocity of *Gasterophilus pecorum* and *Gasterophilus intestinalis*

2.4 飞行距离

黑腹胃蝇的总飞行距离为 2.90 ± 0.44 km, 个体最远可飞行 8.07 km; 肠胃蝇的总飞行距离为 22.18 ± 9.06 km, 个体最远可飞行 65.63 km (图 3)。肠胃蝇的总飞行距离显著高于黑腹胃蝇 ($t=4.826$, $df=36$, $P<0.001$), 为后者的 7.65 倍 (图 3)。肠胃蝇的一次最长飞行距离也显著高于黑腹胃蝇 ($t=3.478$, $df=36$, $P<0.01$) (图 3)。黑腹胃蝇雌、雄成虫的总飞行距离 ($t=0.192$, $df=$

30 , $P>0.05$) 和一次最长飞行距离 ($t=0.486$, $df=30$, $P>0.05$) 均无显著性差异, 且雌虫略高于雄虫; 而肠胃蝇雌虫则略低于雄虫 (表 1)。

2.5 飞行模式

参与飞行的黑腹胃蝇数量随吊飞时间的增加而逐渐减少, 而肠胃蝇于吊飞 5 h 时出现该现象 (图 4-A)。肠胃蝇雄虫的飞行次数在吊飞 2~3.5 h 期间均处于高峰, 而黑腹胃蝇雄虫仅于 1 h 时处于峰值 (图 4-B)。在吊飞过程中, 两种马胃蝇飞行

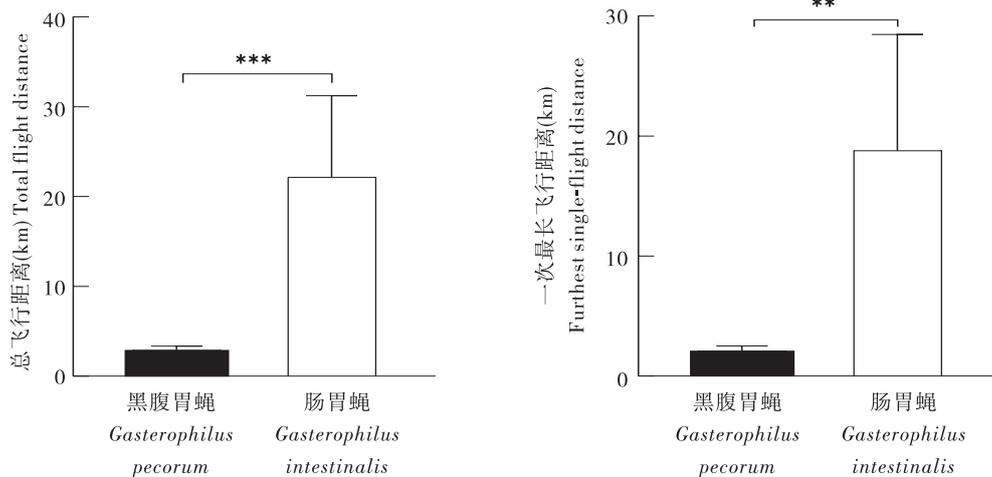


图 3 黑腹胃蝇和肠胃蝇的飞行距离

Fig. 3 Flight distance of *Gasterophilus pecorum* and *Gasterophilus intestinalis*

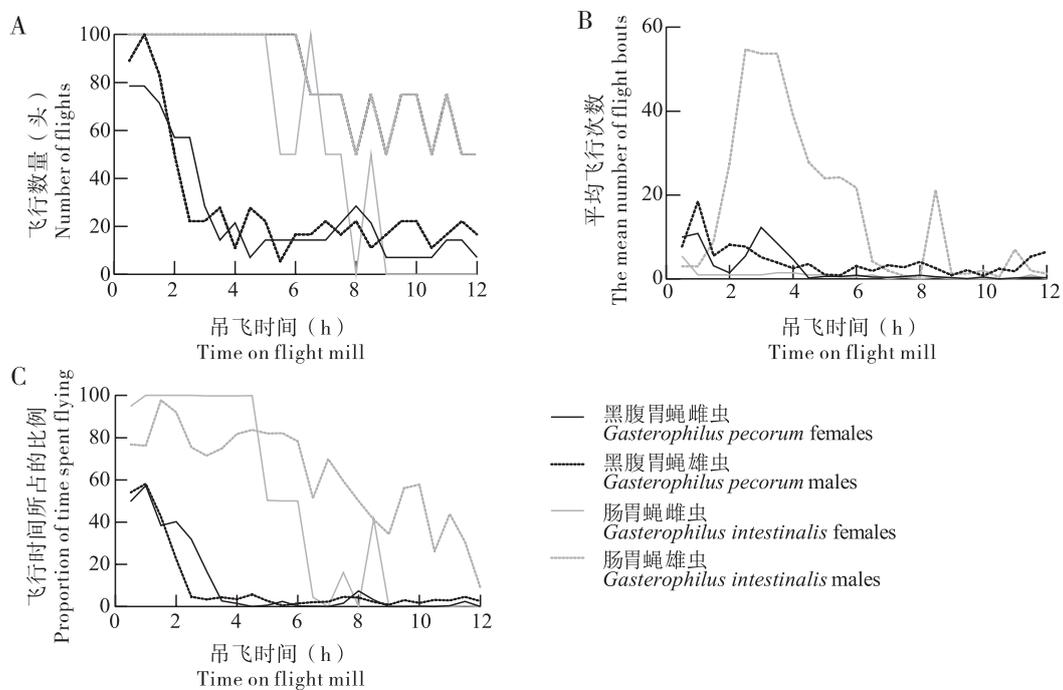


图 4 黑腹胃蝇和肠胃蝇的飞行数量 (A)、飞行次数 (B) 和飞行时间所占的比例 (C) 随吊飞时间的变化趋势

Fig. 4 Trends of the number of flights (A), flight bouts (B) and proportion of time spent flying (C) for *Gasterophilus pecorum* and *Gasterophilus intestinalis* on the flight mill

时间所占比例均随吊飞时间的增加而减少,且肠胃蝇飞行时间的变化趋势比黑腹胃蝇更加迟缓(图4-C)。

2.6 体重消耗

吊飞前肠胃蝇雌雄成虫的体重均高于黑腹胃蝇,体重消耗量分别为后者的2.05倍和3.43倍(表2)。肠胃蝇的体重消耗百分比为黑腹胃蝇的

1.73倍,存在显著差异性($t = 2.859$, $df = 36$, $P < 0.01$),分别为 $24.38\% \pm 3.22\%$ 和 $14.07\% \pm 1.44\%$ 。两种马胃蝇雌虫吊飞前的体重均高于雄虫,吊飞后黑腹胃蝇雌虫体重消耗量高于雄虫,但体重消耗百分比低于雄虫;肠胃蝇雌虫的体重消耗量和体重消耗百分比均低于雄虫(表2)。

表2 黑腹胃蝇和肠胃蝇的体重参数

Table 2 Mass parameters of *Gasterophilus pecorum* and *Gasterophilus intestinalis*

物种 Species	性别 Sex	体重 (mg) Mass	体重消耗量 (mg) Mass loss	体重消耗百分比 (%) Percentage of mass loss
黑腹胃蝇 <i>Gasterophilus pecorum</i>	雌虫 Female	113.90 ± 10.29	12.74 ± 1.40	11.16 ± 0.81
	雄虫 Male	54.17 ± 3.12	9.42 ± 1.90	16.34 ± 2.37
肠胃蝇 <i>Gasterophilus intestinalis</i>	雌虫 Female	172.65 ± 22.25	27.35 ± 8.45	15.47 ± 2.90
	雄虫 Male	110.85 ± 5.63	32.28 ± 4.00	28.84 ± 2.18

2.7 黑腹胃蝇雌雄成虫甘油三酯消耗

吊飞前黑腹胃蝇雌虫的甘油三酯含量显著高于雄虫($t = 2.579$, $df = 18$, $P < 0.05$),吊飞12h后两者的甘油三酯含量均显著下降,且雌虫的甘油三酯消耗量显著高于雄虫($t = 2.776$, $df = 18$,

$P < 0.05$),但两者的相对甘油三酯消耗百分比无显著差异($t = 0.359$, $df = 18$, $P > 0.05$),分别为 $47.81\% \pm 5.55\%$ 和 $44.21\% \pm 7.59\%$ (图5)。黑腹胃蝇成虫体重与其相对甘油三酯消耗量呈显著正相关关系($P < 0.05$)。

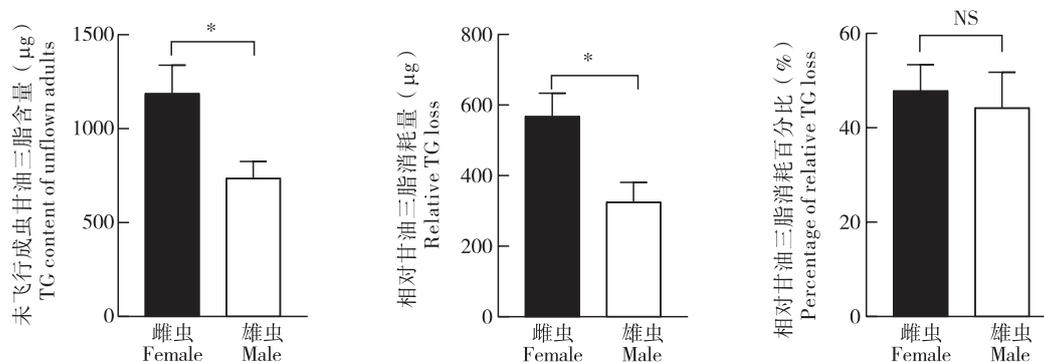


图5 黑腹胃蝇雌雄虫的甘油三酯参数

Fig. 5 TG parameters between females and males of *Gasterophilus pecorum*

3 结论与讨论

3.1 试虫培育

王俊刚等(2008)在对具有研究价值的大头金蝇 *Chrysomya megacephala* 的飞行能力测定时通过小样本量试虫揭示了该物种的飞行参数和能力。本研究材料的获取是通过对自然排出的活体老熟幼虫的人工培养实现的。新疆北疆胃蝇区系中黑

腹胃蝇为优势种群,其数量比例高于80%,而在其它地区成为优势种的肠胃蝇在本地数量稀少(Zhang *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2022),导致活体样本采集过程中,肠胃蝇较黑腹胃蝇更难获得。老熟幼虫培养至成虫的各阶段均存在一定损耗,以致本研究黑腹胃蝇与肠胃蝇样本数量不等,前者高于后者,但样本量也高于之前的一些研究。

3.2 飞行能力

黑腹胃蝇求偶、交配和产卵等行为与当地马

科动物粪便和牧草直接相关 (Liu *et al.*, 2015, 黄河清等, 2017), 客观上降低了对飞行的需求程度; 而肠胃蝇通过主动接近、追逐宿主达到在宿主周围搜寻配偶和在宿主体毛上产卵的目的, 且需在上述过程中躲避宿主的驱赶 (Cope and Catts, 1991; Cogley and Cogley, 2000), 需较高的飞行能力。本研究中, 参与飞行的肠胃蝇数量比例高于黑腹胃蝇, 表明肠胃蝇比黑腹胃蝇更善于飞行; 两种马胃蝇飞行次数处于峰值的时间表明黑腹胃蝇进入活跃状态较肠胃蝇迅速, 但肠胃蝇活跃时间更长; 在吊飞过程中, 黑腹胃蝇的休息时间明显高于肠胃蝇, 表明黑腹胃蝇体力较弱; 并且肠胃蝇的飞行时间和距离显著高于黑腹胃蝇。基于对两种马胃蝇飞行参数和模式的研究发现肠胃蝇飞行能力强于黑腹胃蝇, 且两者飞行能力与侵染宿主方式呈现明显的适应性进化关系。此外, 两种马胃蝇的飞行距离差异反映了两者具备不同的侵染宿主途径, 且总飞行时间成为两者飞行距离差异的主导因素。

追逐驯鹿产卵的驯鹿皮蝇、驯鹿狂蝇和追逐马科动物产卵的肠胃蝇的飞行能力均高于在牧草上产卵的黑腹胃蝇和于蛾类幼虫体内产卵的伞裙追寄蝇 *Exorista civilis* (Nilssen and Anderson, 1995; 韩海斌等, 2017)。由此可见, 通过追逐侵染大型宿主的寄生性蝇类需要具备更高的飞行能力才能满足其生命需求。

两种马胃蝇雌雄成虫的飞行时间、速度和距离无一致的规律。总体而言, 黑腹胃蝇雌虫略强于雄虫, 此结果可能与成虫交配后雌虫仍需搜寻植物进行产卵有关。这与丁吉同等 (2014) 对枣实蝇 *Carpomya vesuviana* 的研究结果相一致。而肠胃蝇雌虫略弱于雄虫, 这可能与雄虫之间存在斗争和保卫领地行为有关 (Cope and Catts, 1991; Catts, 1994)。

3.3 能量物质消耗

昆虫通过消耗大量的能量物质为其飞行提供能量, 非补充营养昆虫利用脂肪酸的氧化分解维持飞行活动, 马胃蝇成虫不取食, 隶属于此类昆虫 (Humphreys and Reynolds, 1980; Cope and Catts, 1991)。黑腹胃蝇飞行后甘油三酯含量明显下降, 研究结果与不取食的寄生性蝇类 (驯鹿皮蝇和驯鹿狂蝇) 相一致 (Nilssen and Anderson, 1995; Anderson and Nilssen, 1996)。此外, 肠胃蝇的体重及其消耗量和消耗百分比均高于黑腹胃

蝇, 且体重与甘油三酯消耗量呈正相关, 因此, 推断肠胃蝇相较黑腹胃蝇可能消耗更多的甘油三酯。

昆虫对能量物质分配的平衡通常体现在飞行和繁殖活动之间 (Rankin and Burchsted, 1992; Nilssen and Anderson, 1995; Grilli and Fachinetti, 2017)。黑腹胃蝇雌虫体重显著高于雄虫, 且其飞行距离略远, 说明雌虫可能消耗更多的甘油三酯, 但雌雄成虫的甘油三酯消耗百分比无显著性差异, 表明雌虫对有限的能量进行权衡。与肠胃蝇雌虫怀卵量 (400 ~ 770 粒) 相比, 黑腹胃蝇雌虫怀卵量 (1 300 ~ 2 425 粒) 较多 (Zumt, 1965), 因此, 雌性黑腹胃蝇需要更多的能量用于繁殖。

肠胃蝇为世界大部分地区马科动物的优势种, 而新疆干旱荒漠地区的优势种为黑腹胃蝇 (Cope and Catts, 1991; Otranto *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2016)。肠胃蝇以更长的飞行时间、距离和略高的飞行速度实现追随宿主, 其直接、主动接近宿主的侵染方式提高了后代感染宿主的几率。但新疆干旱荒漠地区植被稀少, 从而致使马科动物的活动范围扩大, 从而增加了肠胃蝇搜寻宿主的困难程度, 降低了感染宿主的几率。黑腹胃蝇通过马科动物的侵染宿主方式, 降低了侵染成本。此外, 两种马胃蝇怀卵量的差异也提升了黑腹胃蝇成为新疆干旱荒漠地区优势种群的几率。由此可见, 相较肠胃蝇而言, 黑腹胃蝇的侵染宿主方式更适于新疆干旱荒漠地区。对黑腹胃蝇和肠胃蝇飞行能力的了解, 有助于深入探索两种马胃蝇的扩散范围, 为今后马胃蝇的监控与防治提供有效信息, 为推动普氏野马野放工作的开展具有重要意义。

参考文献 (References)

- Anderson JR, Nilssen AC. Trapping oestrid parasites of reindeer: The relative age, fat body content and gonotrophic conditions of *Cephenemyia trompe* and *Hypoderma tarandi* females caught in baited traps [J]. *Medical and Veterinary Entomology*, 1996, 10 (4): 347-353.
- Beenackers AMT. Carbohydrate and fat as a fuel for insect flight. A comparative study [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1969, 15 (3): 353-361.
- Cao KL, Mai JW, Liu Q, *et al.* Effect of physiological factors on the flight ability of *Calliptamus italicus* L. [J]. *Physiological Entomology*, 2019, 44 (3-4): 230-235.

- Catts EP. Sex and the bachelor bot (Diptera: Oestridae) [J]. *American Entomologist*, 1994, 40 (3): 153 - 161.
- Chen JL, Weng Q, Chao J, *et al.* Reproduction and development of the released Przewalski's horses (*Equus przewalskii*) in Xinjiang, China [J]. *Journal of Equine Science*, 2008, 19 (1): 1 - 7.
- Cogley TP, Cogley MC. Field observations of the host-parasite relationship associated with the common horse bot fly, *Gasterophilus intestinalis* [J]. *Veterinary Parasitology*, 2000, 88 (1 - 2): 93 - 105.
- Cope SE, Catts EP. Parahost behavior of adult *Gasterophilus intestinalis* (Diptera: Gasterophilidae) in Delaware [J]. *Journal of Medical Entomology*, 1991, 28 (1): 67 - 73.
- Ding JT, Adil S, Zhu HF, *et al.* Flight capacity of adults of the ber fruit fly, *Carpomya vesuviana* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (11): 1315 - 1320. [丁吉同, 阿地力·沙塔尔, 主海峰, 等. 枣实蝇成虫飞行能力的测定 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (11): 1315 - 1320]
- Dou J, Zhang RY, Liu M, *et al.* Comparison of flight muscle and energy consumption of pre - and post - flight in *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae) [J]. *Pratacultural Science*, 2017, 34 (8): 1721 - 1726. [窦洁, 张若燕, 刘敏, 等. 飞行前后意大利蝗飞行肌及能源消耗比较 [J]. 草业科学, 2017, 34 (8): 1721 - 1726]
- Fischbein D, Corley JC, Villacide JM, *et al.* The influence of food and con-specifics on the flight potential of the parasitoid *Ibalia leucospoides* [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2011, 24 (6): 456 - 467.
- Fischbein D, Villacide JM, De La Vega G, *et al.* Sex, life history and morphology drive individual variation in flight performance of an insect parasitoid [J]. *Ecological Entomology*, 2017, 43 (1): 60 - 68.
- Fu XW, Zhao SY, Li C, *et al.* Flight performance of *Ctenoplusia agnata* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110 (3): 986 - 994.
- Grilli MP, Fachinetti R. The role of sex and mating status in the expansion process of *Arhopalus rusticus* (Coleoptera: Cerambycidae) - an exotic cerambycid in Argentina [J]. *Environmental Entomology*, 2017, 46 (3): 714 - 721.
- Han HB, Wang MY, Liu AP, *et al.* Effects of temperature and humidity on the flight capacity of *Exorista civilis* Rondani [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (2): 237 - 242. [韩海斌, 王梦圆, 刘爱萍, 等. 温湿度对伞裙追寄蝇飞行能力的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (2): 237 - 242]
- Hoddle MS, Hoddle CD, Milosavljević I. How far can *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) fly? [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113 (4): 1786 - 1795.
- Hu JR, Xie C, Shi CH, *et al.* Effect of sex and air temperature on the flight capacity of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112 (5): 2161 - 2166.
- Huang HQ, Zhang BR, Chu HJ, *et al.* *Gasterophilus* (Diptera, Gasterophilidae) infestation of equids in the Kalamaili Nature Reserve, China [J]. *Parasite*, 2016, 23: 36.
- Huang HQ, Chu HJ, Cao J, *et al.* Distribution of *Gasterophilus* (Diptera, Gasterophilidae) myiasis foci in arid desert steppe: A case study of Kalamaili Mountain Ungulate Nature Reserve [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2017, 53 (11): 142 - 149. [黄河清, 初红军, 曹杰, 等. 干旱荒漠草原马胃蝇蛆病疫源地感染源分布——以卡拉麦里山有蹄类自然保护区为例 [J]. 林业科学, 2017, 53 (11): 142 - 149]
- Huang HQ, Zhang K, Zhang BR, *et al.* Analysis on the relationship between winter precipitation and the annual variation of horse stomach fly community in arid desert steppe, Northwest China (2007 - 2019) [J]. *Integrative Zoology*, 2022, 17 (1): 128 - 138.
- Humphreys WF, Reynolds SE. Sound production and endothermy in the horse botfly, *Gasterophilus intestinalis* [J]. *Physiological Entomology*, 1980, 5 (3): 235 - 242.
- Irvin NA, Hoddle MS. Assessing the flight capabilities of fed and starved *Allograpta obliqua* (Diptera: Syrphidae), a natural enemy of Asian citrus psyllid, with computerized flight mills [J]. *Florida Entomologist*, 2020, 103 (1): 139 - 141.
- Li XY, Chen YO, Wang QK, *et al.* Molecular and morphological characterization of third instar Palaearctic horse stomach bot fly larvae (Oestridae: Gasterophilinae, *Gasterophilus*) [J]. *Veterinary Parasitology*, 2018, 262: 56 - 74.
- Liu SH, Hu DF, Li K. Oviposition site selection by *Gasterophilus pecorum* (Diptera: Gasterophilidae) in its habitat in Kalamaili Nature Reserve, Xinjiang, China [J]. *Parasite*, 2015, 22: 34.
- Liu SH, Li K, Hu DF. The incidence and species composition of *Gasterophilus* (Diptera, Gasterophilidae) causing equine myiasis in northern Xinjiang, China [J]. *Veterinary Parasitology*, 2016, 217: 36 - 38.
- Ma CS, Zhang K, Sun J, *et al.* Impact of acute oral exposure to thiamethoxam on the homing, flight, learning acquisition and short-term retention of *Aapis cerana* [J]. *Pest Management Science*, 2019, 75 (11): 2975 - 2980.
- Makumbe LDM, Moropa TP, Manrakan A, *et al.* Effect of sex, age and morphological traits on tethered flight of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) at different temperatures [J]. *Physiological Entomology*, 2020, 45 (2 - 3): 110 - 119.
- Martini X, Rivera M, Hoyte A, *et al.* Effects of wind, temperature, and barometric pressure on Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) flight behavior [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (6): 2570 - 2577.
- Nilssen AC, Anderson JR. Flight capacity of the reindeer warble fly, *Hypoderma tarandi* (L.), and the reindeer nose bot fly, *Cephenemyia trompe* (Modeer) (Diptera: Oestridae) [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1995, 73 (7): 1228 - 1238.

(下转第 252 页)

