环境昆虫学报 2020，42（4）：944－951
Journal of Environmental Entomology
http: //hjkcxb. alljournals. net
doi: 10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2020. 04. 18

黎天天，周国磊，周国鑫，刘兴泉，张涛. 温度对米象成虫飞行行为的影响［J］. 环境昆虫学报，2020，42（4）：944－951.

温度对米象成虫飞行行为的影响

黎天天[1,3]，周国磊[2]，周国鑫[1]，刘兴泉[1*]，张 涛[1,3*]
（1. 浙江农林大学农业与食品科学学院，杭州 311300；2. 北京市粮食科学研究院，北京 110110；
3. 国家粮食和物资储备局科学研究院，北京 100037）

摘要：为探明温度对米象成虫的飞行行为的影响，应用起飞测定装置和昆虫飞行磨对不同温度条件下米象成虫的飞行参数进行了测定。结果显示23℃时，米象即可起飞；23～35℃内，60.0%～73.3%的米象个体具备飞行能力；温度对米象雌成虫的24 h累计飞行距离、24 h累计飞行时间和飞行速度均有显著影响，随温度的升高其飞行能力先增强后减弱，在32℃时上述3个飞行参数均有最大值。米象雄成虫的24 h累计飞行距离、24 h累计飞行时间和飞行速度受温度影响不显著，整体随测定温度的增加呈现先增大后减小的趋势，在29℃时有最大值。米象雌雄成虫的日常日行活动呈现一定的节律性，每日上午和傍晚以后有两个飞行活动高峰。研究结果明确了米象成虫在不同温度条件下的飞行行为特征，可为米象的扩散和害虫感染的预防提供数据支持。

关键词：米象；温度；起飞行为；飞行能力；日节律
中图分类号：Q968.1；S433.5 **文献标识码**：A **文章编号**：1674－0858（2020）04－0944－08

Effects of temperature on flight behavior of *Sitophilus oryzae* adults

LI Tian-Tian[1,3], ZHOU Guo-Lei[2], ZHOU Guo-Xin[1], LIU Xing-Quan[1*], ZHANG Tao[1,3*] (1. College of Agriculture and Food Science, Zhejiang Agriculture and Forest University, Hangzhou 311300, China; 2. Beijing Grain Science Research Institute, Beijing 110110, China; 3. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: The flight behavior of *Sitophilus oryzae* at five different temperatures were tested by a computer monitored flight mill system and flight chambers. The results showed that *S. oryzae* could fly above 23℃, and the flight initiation rate of *S. oryzae* was low and there were no significant differences between temperatures. The temperatures had a significant effect on the flight distance, flight duration during 24 h and flight velocity of female adults which increased initially and then decreased with the increase of the measured temperatures. The above three flight parameters had the maximum at 32℃. The flight distance during 24 h, flight duration during 24 h and flight velocity of male adults were not significantly affected by temperatures and had the maximum at 29℃ which had the same trend as the female as the measured temperature increases. The daily flight activities of *S. oryzae* presented a certain rhythm, and there were two peaks of flight activities (in the morning and evening). The results clarified the flight behavior characteristics of *S. oryzae* under different temperatures, which could provide reference for the spread and the prevention of *S. oryzae*.

Key words: *Sitophilus oryzae*; temperatures; flight initiation; flight capacity; daily rhythm

---

基金项目：国家重点研发计划“北粮南运散粮集装箱保质运输技术与装备研发及示范”（2018YFD0401403）
作者简介：黎天天，女，1989年生，湖南长沙人，硕士研究生，主要研究方向为食品安全与质量控制，E－mail: ltt1125@163.com
* 通讯作者 Author for correspondence: 张涛，博士，副研究员，主要研究方向为植物检疫与入侵生物学，E－mail: zt@chinagrain.org；刘兴泉，博士，教授，主要研究方向为食品加工与安全，E－mail: liuxq@zafu.edu.cn
收稿日期 Received: 2019－05－27；接受日期 Accepted: 2019－08－29

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

米象 *Sitophilus oryzae* Linnaeus，属鞘翅目 Coleoptera 象甲科 Curculionidae，是我国主要储粮害虫之一，严重为害各类谷物及其加工品。如小麦被米象侵蚀后，其储存品质会下降（王殿轩等，2014）；如处理措施不及时，会造成小麦等级降低（彭娟，2013），严重影响小麦生理生化品质和加工品质（张玉荣等，2014）。

2017 年普查结果显示，我国米象分布范围已经由广东、云南、湖南、江西等 8 个南方省份（陈启宗，1984；张生芳等，2014），扩散到浙江、湖北、河南、山东等省份（王殿轩等，2017）。调查显示，1975 年时江西省内尚未发现米象，到 1980 年时江西 13 个县已有米象发生（杨志远等，1981），这表明米象在地方上的扩散是逐步进行的。近年来，昆虫的短距离扩散逐渐被人们所重视（李臻，2009）。其中，飞行是昆虫进行短距离扩散的一种重要方式，储粮害虫如谷蠹 *Rhyzopertha dominica*、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 和玉米象 *Sitophilus zeamais* 等的飞行能力已有报道（崔建新等，2015；周国磊等，2018；王欠欠等，2019）；玉米象雄虫 28℃时单次可飞行 649 m，22 h 飞行距离可达到 1 629.72 m（Cui *et al.*，2016），表明玉米象具有相当强的飞行能力，可通过飞行途径进行传播。

有报道作为玉米象近缘种的米象也具备飞行能力（白旭光，2008）。Cox 等曾研究了不同温度下米象的起飞率和起飞温度（Cox *et al.*，2007）；Vásquez-Castro 等研究了取食小麦和玉米的米象起飞率的差异（Vásquez-Castro *et al.*，2009）；Throne 等报道了仓外米象飞行活动的季节性活动规律（Throne and Cline，1989；1991；1994）。温度是影响米象的生长发育、呼吸速率和运动行为等生命活动的重要因素（黄建国，1982；夏世祥，2000；王殿轩等，2011；2016），对其飞行活动也有重要影响（Bishara，1969）。但目前尚未见到温度等对米象飞行能力影响的报道，本文通过起飞测定装置和昆虫飞行磨系统对米象在不同环境温度下的各项参数进行测定，从起飞行为、飞行能力和飞行日节律 3 个方面对米象的飞行行为进行了分析，可为米象扩散研究、感染预防提供行为学参考和理论依据。

1　材料与方法

1.1　试虫准备

试虫：米象，北京通州品系，由国家粮食和物资储备局科学研究院粮食储运研究所提供；用含水量 14% ±2% 的小麦，在生化培养箱（30 ± 0.5℃，RH 70% ±1%）饲养。成虫羽化后 2 ~ 4 周后用于试验。

1.2　试验环境

参考不同温度条件下米象的起飞率和玉米象的飞行能力等相关研究方法（Cox *et al.*，2007；Cui *et al.*，2007；崔建新等，2015），将测试温度设置为 23、26、29、32 和 35℃，共 5 个温度梯度。

试验在地下恒温实验室内进行，室内的加热装置可按设定温度自动调节输出功率，以保证实验环境温度稳定在设定温度，同时采用实验室内的 5 个水银温度计对环境温度进行校正。环境湿度由加湿器进行控制，并通过干湿球湿度计进行校正，相对湿度保持在 RH 65% ±5%。测试在黑暗环境下进行。

1.3　方法

1.3.1　米象成虫起飞率测定

米象成虫起飞率测定使用起飞测定装置（图 1）。起飞测定装置，由外径为 8 cm、高 10 cm 的玻璃试虫培养瓶和直径 20 cm 圆形滤纸折成的圆锥组成。实验前，培养瓶内壁涂一层稀释后的聚四氟乙烯分散液，形成光滑内膜，防止实验过程中米象沿培养瓶内壁上爬；瓶口用中心开有半径为2 cm 圆孔的滤纸封好，圆锥顶部高度与试虫培养瓶平齐，且位于封口滤纸的开孔中心。测试时将米象成虫放置在培养瓶底部，米象成虫仅可通过沿圆锥侧壁上爬至圆锥顶部时，才能飞出。测试前在测试温度下放置 2 h 以适应温度，每次测试接入米象成虫为 100 头，24 h 后统计虫数并根据玻璃培养瓶内的数量和试虫总数计算米象成虫的起飞率。每处理设置 3 个重复。

1.3.2　米象成虫飞行测定

飞行能力测定使用适宜小型昆虫的飞行磨系统。测试前将试虫在受测温度下放置 2 h，之后用 502 强力胶和万能胶混合胶液将针长 5 cm 的吊针

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

末端粘在米象成虫的前胸背板上；待胶液干后，检查确保胶液未流入试虫关节内，腹部可正常活动，毛笔拨动时试虫鞘翅能正常展开。试虫飞行1圈的长度为0.314 m。测试进行26 h，为避免吊飞前操作对米象飞行活动的影响，后24 h的数据用于计算（周国磊等，2018）。每个设置温度下测定米象成虫30头，设5个温度处理，试验后通过解剖鉴别米象雌雄。

飞行磨软件系统记录米象的飞行距离、飞行时间、飞行速度和飞行次数等参数。米象在受测期间试虫绕轴飞行1圈以上视为有飞行行为产生，具备飞行能力；飞行比例即为具备飞行能力的米象试虫数占测试试虫总数的百分率。通过对受测米象每日在不同时间段的飞行次数、飞行距离和飞行时间等参数进行比较，分析其飞行日节律。

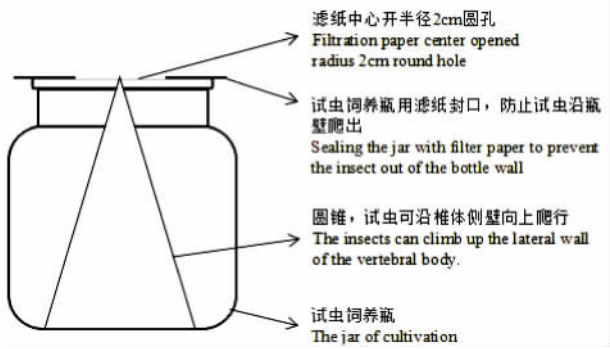

图1 起飞测定装置示意图

Fig. 1 Diagram of the flight initiation test device

1.4 数据统计分析

数据用SPSS 20.0软件进行统计分析。米象成虫在起飞测定装置中的起飞率和其在飞行磨上的飞行比例用*t*-检验进行显著性检验。米象成虫在不同温度下的飞行距离、飞行时间和飞行速度等飞行参数，数据经对数转换符合正态分布后用于单因素方差（One-Way ANOVA）分析、Duncan氏新复极差法多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 温度对米象成虫起飞的影响

在起飞测定装置中，在26℃和30℃下起飞率分别为最低0.7%和最高3.0%，但统计分析表明测定的不同温度间对米象成虫的起飞率均无显著影响（$F=1.5$，$P>0.05$）。此外，飞行磨测定数据也表明温度对米象成虫的飞行比例也无显著影响（$F=0.3$，$P>0.05$）。但是，各测定温度下米象的飞行比例均显著高于起飞率（表1）。

表1 不同温度和测定条件下米象成虫的起飞情况

Table 1 Flight initiation of *Sitophilus oryzae* adults at different temperatures under two test methods

温度（℃）Temperature	起飞率（%）Flight initiation	飞行比例（%）Flight ratio
23	1.7±1.2 a	63.3±6.7 a*
26	0.7±0.3 a	60.0±10.0 a*
29	1.0±0.6 a	70.0±10.0 a*
32	3.0±0.6 a	66.7±13.3 a*
35	1.3±0.7 a	73.3±6.7 a*

注：表中数据为均值±标准误。同列数据后标有相同字母表示差异不显著（$P<0.05$）。* 表示在该温度下起飞率和飞行比例之间差异显著（$P<0.05$）。Note: The data in the table are mean ± SE. Data in the same column with same letters are not significantly different at $P<0.05$. * indicates that there is a significant difference between the flight initiation and the flight ratio at this temperature ($P<0.05$).

2.2 温度对米象成虫飞行能力的影响

温度可显著地影响米象雌成虫的24 h累计飞行距离（$F=3.42$，$P<0.05$），随温度的升高米象雌成虫累计飞行距离逐步增大，在32℃时24 h累计飞行距离达最大值385.06 m，后急剧下降（图2 A）。雄成虫的24 h累计飞行距离也随温度的升高呈现先增加大后减小的变化趋势，但各温度间无显著差异。在测试范围内，除32℃外，米象雌虫的24 h累计飞行距离小于雄虫（图2 A）。

米象雌成虫的24 h累计飞行时间受温度影响显著（$F=2.80$，$P<0.05$），随温度的升先增长后缩短。在32℃条件下雌成虫的24 h累计飞行时间最长（$P<0.05$）可达3.01 h，29℃时次之，在23℃、26℃和35℃条件下最小（$P<0.05$）。雄成虫的24 h累计飞行时间在5个测试温度间无显著差异（$F=0.43$，$P=0.79$），随温度升高的变化趋势与24 h累计飞行距离相同。在29℃条件下雄虫的24 h累计飞行时间最长为2.65 h，在26℃条件下最短为0.99 h（图2 B）。

5个测试温度下米象雌雄成虫的飞行速度见图2 C，米象雌成虫的飞行速度受温度影响显著（$F=3.81$，$P<0.05$），在26℃时最小为0.33 cm/s，之后随测试温度的升高而增大，32℃条件下有最大值1.62 cm/s，温度继续升高其飞行

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

速度又降低。雄成虫的飞行速度受温度影响不显著（$F = 0.28$，$P = 0.89$），在 35℃ 条件下飞行速度最小，仅有 0.74 cm/s，在 29℃ 条件下速度最快，为 1.19 cm/s。

2.3　米象成虫飞行日节律

32℃ 条件下，米象成虫在每日的各时段均有飞行活动，且雌、雄成虫的飞行次数、飞行距离和飞行时间均在每日出现两个高峰（图 3）。米象雌成虫在 4:00 – 10:00 和 19:00 – 23:00 这两个时间段 3 个飞行参数均高于日平均水平；雄成虫的第一个飞行活动高峰较雌成虫有所滞后，在每日的 9:00 – 12:00，第二个飞行活动高峰与雌成虫时间重叠。经相关性分析，米象成虫飞行参数间相关系数 R 达到极显著水平（$P < 0.01$），表明米象成虫飞行次数、飞行距离和飞行时间呈极显著正相关（表 2）。

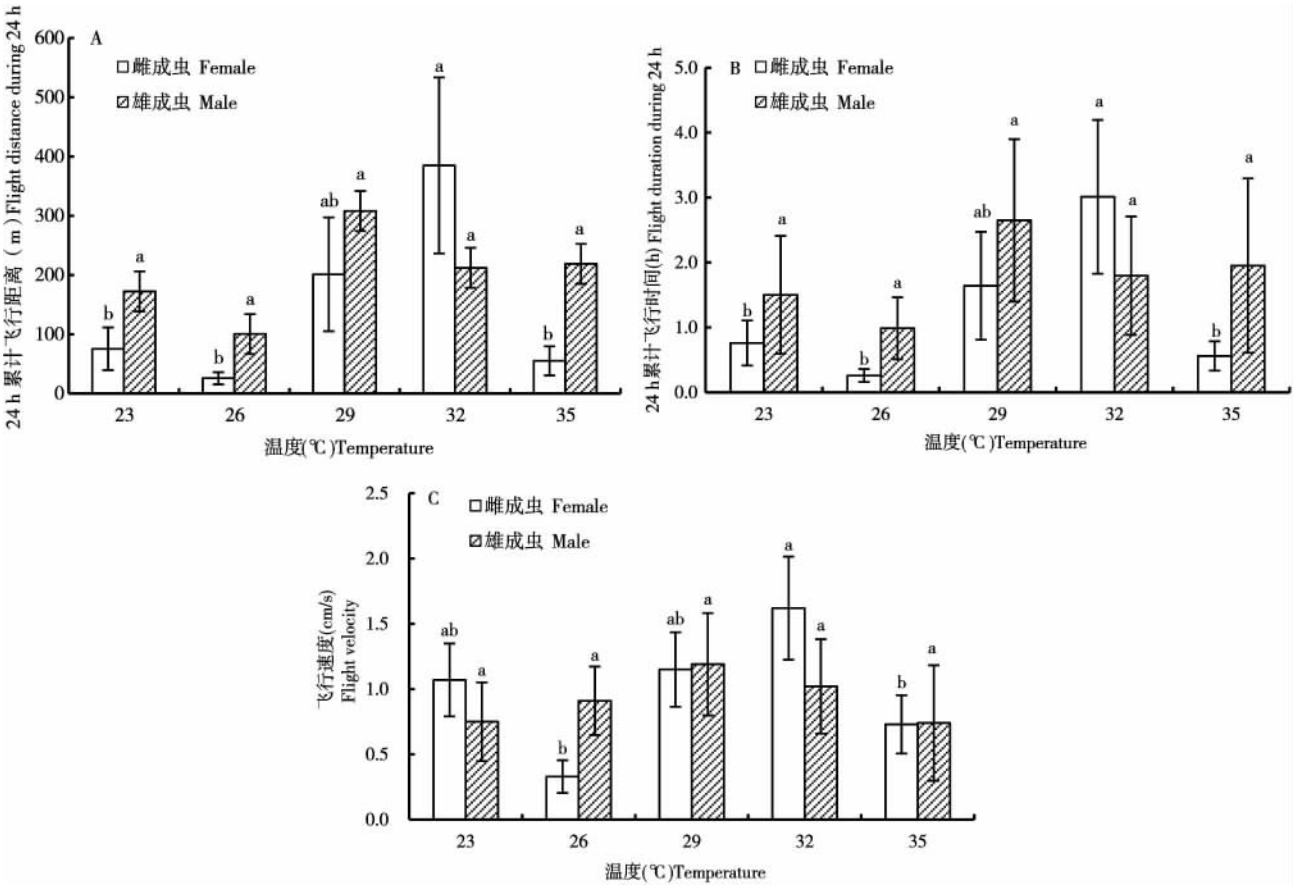

图 2　温度对米象成虫飞行能力的影响

Fig. 2　Flight capability of *Sitophilus oryzae* adults at different temperatures

注：图中数据为均值 ± 标准误。数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 差异显著，下同。Note: Data are means ± SE and followed by different small letters at the same rows are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan´s new multiple range test. The same as below.

表 2　米象成虫飞行参数的相关分析

Table 2　Pearson´s correlations coefficients among flight parameter of *Sitophilus oryzae* adults

参数 Parameter	飞行距离（m）Flight distance	飞行时间（h）Flight duration	飞行次数（次）Flight frequency
飞行距离 Flight distance	1.000	0.980**	0.953**
飞行时间 Flight duration		1.000	0.925**
飞行次数 Flight frequency			1.000

注：**，$P < 0.01$。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

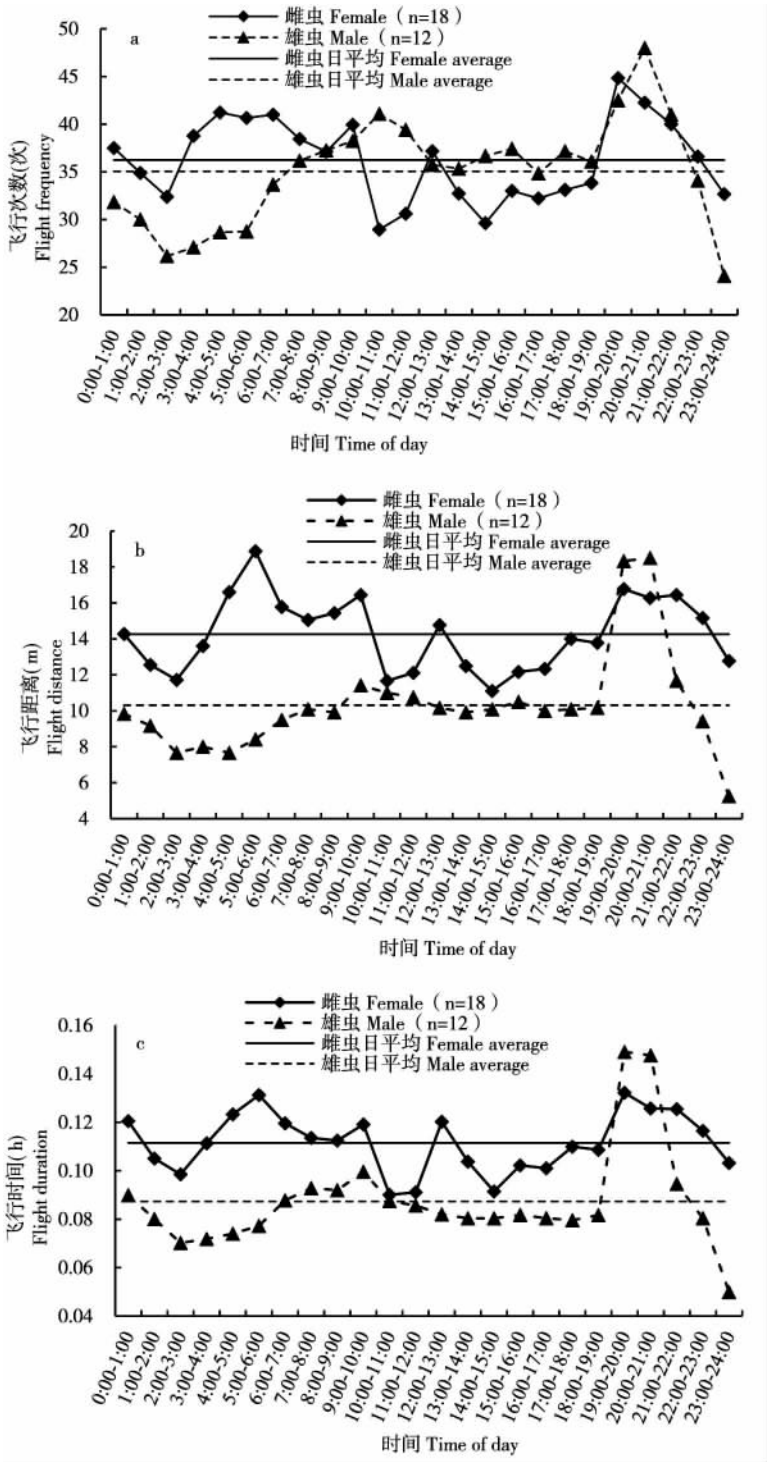

图 3 米象成虫在每日各时段的飞行次数、飞行距离和飞行时间

Fig. 3 Flight frequency, flight distance and flight duration of *Sitophilus oryzae* adults at various times of day

3 结论与讨论

3.1 起飞情况

室内长期培养对储粮害虫起飞率的影响是普遍存在的，有报道指出锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* 和米扁虫 *Ahasverus advena* 的起飞率在经长期室内饲养后会下降（Dolder，1995）；野外采集的谷蠹 *Rhyzopertha dominica* 起飞率明显高于实验室内饲养的谷蠹（Aslam *et al.*，1994）。本研究中测得米象的起飞率较低，最高仅为 3.0%，可能也是由于室内长期饲养导致米象的飞行意愿降低。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温度是昆虫进行飞行活动的诱因之一（苏春芳等，2014），本研究结果显示米象成虫在23℃条件下便有飞行行为产生，这表明其最低起飞温度可能低于23℃。这一结果明显地低于UK（>10 year）品系的最低起飞温度27.5℃（Cox *et al.*，2007），这之间的不同可能来源于两个方面的原因：其一，可能是不同地理种群的米象成虫起飞率存在差异（Bishara，1969；Grenier *et al.*，1994；Cox *et al.*，2007），如锈赤扁谷盗、米扁虫和谷蠹等多种储粮害虫上均有发生（Cox *et al.*，2007；周国磊等，2018）；其二，可能是室内长期饲养对米象的飞行行为产生了一定的影响。实验室内饲养的米象由于食料充足、条件适宜，与野外米象种群出现较大生理等差异。Cox 等（2007）报道，同为UK品系的米象，在实验室内饲养10年以上的和饲养1年的两组米象，前者在27.5℃条件下有起飞行为，而后者则在实验期间未观察到起飞现象（Cox *et al.*，2007）。

在起飞测定装置中，米象的起飞是一种主动飞行行为，在这种条件下测定的起飞率的高低可以反映米象成虫主动飞行意愿的强弱。而在飞行磨上，悬吊的米象成虫处于一种被动飞行状态，这一条件下的测得的飞行比例则体现了米象种群中具备飞行能力的个体所占的比例大小。测定结果显示米象种群中具备飞行能力的个体所占的比例显著高于起飞率，可达到60.0%～73.3%。这一结果说明在23～35℃条件下，利用空间诱捕器通过飞行途径米象进行诱杀是一种很好的处理方式，且受温度干扰小，但在应用上由于米象的主动意愿较低，需要通过信息素或食物引诱剂等方式来增强其起飞意愿（Cox *et al.*，2007），具体条件仍需要进一步研究验证。

3.2　飞行能力

测定结果显示米象雌雄成虫的最适飞行温度分别为32℃和29℃，这一差异可能是为了在夏季雄虫能优先完成聚集，以便交配时雌虫能选择更为优良的个体（崔建新等，2015）。与另一种主要储粮害虫玉米象 *Sitophilus zeamais* 进行比较，米象的最适飞行温度高于玉米象28℃，可见米象较玉米象更适应高温环境，在分布上米象主要发生在我国气温较高的中南部地区，而玉米象则是全国各地均有分布（王殿轩等，2017）。

米象雌雄成虫的飞行距离在24 h内分别可达385.06 m和308.00 m，这说明其具有一定的短距离传播能力。在一个米象为害套袋苹果的报道中，虫源便是来自果园外马路上晾晒的玉米（万春先等，2004），米象极可能是从滋生地通过飞行的方式感染苹果的。在粮库中米象也完全有能力在不同的粮仓间传播，一旦仓内有米象发生应特别注意开关门窗等操作，避免感染其他储粮。

3.3　飞行日节律

米象雌雄成虫每天有两个飞行活动高峰。第一个高峰在日出前后开始，此时气温逐渐升高，飞行意愿增强，表现的更为活跃，另一种仓储害虫花斑皮蠹 *Trogoderma variabile* 的飞行活动也有类似的特征（Wright and Morton，1995）。第二个飞行活动高峰在19∶00开始，米象具有负趋光性，这应该是其在这一时段飞行更为活跃的主要原因。昆虫的飞行行为受遗传因素的影响（Edde，2012），米象的这一飞行节律应该是其在野外生存形成的一种行为模式，即使经实验室多代培养，生存环境发生了变化，但仍旧保留了这一行为特征。据此，在仓储管理上当有米象发生时，在其飞行活动高峰期利用空间诱捕器进行诱杀能获得更好的效果，但其他活动应尽量安排在下午进行，避开飞行活动高峰期以防扩散。

综上结果可知，在本实验条件下，米象成虫在23℃条件下具有飞行行为，虽然其群体中具备飞行能力的个体占比较高（在60%以上），但自然状态下起飞意愿低。环境温度对米象成虫的飞行能力影响显著，随温度的升高，米象的飞行能力先增加后降低。性别对米象成虫飞行能力无显著影响。适宜的温度下，米象具备短距离扩散的能力，此时应特别注意防止飞虫感染。米象的飞行活动具有一定的节律性，在上午和前半夜飞行更为活跃。当有米象发生时，利用这一习性适时进行诱杀可取得更好的防治效果。

参考文献（References）

Aslam M, Hagstrum DW, Dover BA. The effect of photoperiod on the flight activity and biology of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) [J]. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 1994, 67(1): 107–115.

Bai XG. Storage Pests and Control [M]. Beijing: Science Press, 2008. [白旭光. 科学出版社 [M]. 北京: 科学出版社, 2008]

Bishara SI. Comparisons of some aspects of flight activity of *Sitophilus zeamais* Mots. and *Sitophilus oryzae* L. [J]. *Bulletin of the Entomological Society of Egypt*, 1969, 52: 477–500.

Chen QZ. Investigation on distribution of common stored grain insects in

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

China [J]. *Journal of Zhengzhou Grain College*, 1984, 4: 5 – 10, 17. [陈启宗. 我国常见贮粮昆虫的分布调查 [J]. 郑州粮食学院学报, 1984, 4: 5 – 10, 17]

Cox PD, Wakefield ME, Jacob TA. The effects of temperature on flight initiation in a range of moths, beetles and parasitoids associated with stored products [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2007, 43 (2): 111 – 117.

Cui JX, Li SJ, Spurgeon DW, *et al.* Flight capacity of *Sitophilus zeamais* Motschulsky in relation to gender and temperature [J]. *Southwestern Entomologists*, 2016, 41 (3): 667 – 674.

Cui JX, Jia WY, Lu YJ, *et al.* Impact of temperature on the flight capacity of *Sitophilus zeamais* [J]. *Journal of Henan Institute of Science and Technology* (Natural Science Edition), 2015, 43 (2): 24 – 29. [崔建新, 贾文英, 鲁玉杰, 等. 温度对玉米象飞行能力的影响 [J]. 河南科技学院学报 (自然科学版), 2015, 43 (2): 24 – 29]

Cox PD, Dolder HS. A simple flight chamber to determine flight activity in small insects [J]. *Journal of Stored Products Research*, 1995, 31 (4): 311 – 316.

Edde PA. A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2012, 48 (1): 1 – 18.

Grenier AM, Nardon C, Nardon P. The role of symbiotes in flight activity of *Sitophilus* weevils [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1994, 70 (3): 201 – 208.

Huang JG. Study on the biology of *Sitophilus oryzae* Linnaeus and *Sitophilus zeamais* Motschulsky [J]. *Journal of Zhengzhou Grain College*, 1982, 1: 1 – 10. [黄建国. 米象、玉米象生物学的研究 (初报) [J]. 郑州粮食学院学报, 1982, 1: 1 – 10]

Li Z. Flight and Dispersal Behavior of Chinese White Pine Beetle (*Dendroctonus armandi*) in Qinling Mountains [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2009. [李臻. 华山松大小蠹飞行扩散行为的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009]

Peng J. Study on the Effect of *Sitophilus oryzae* Linnaeus and *Rhyzopertha dominica* Fabricius on Cereal Quality Indicators [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013. [彭娟. 米象和谷蠹对粮食质量指标变化影响研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2013]

Su CF, Liu AP, Gao SJ, *et al.* Influence of temperature and humidity on flight capacity of *Agrypon flexorius* Thunberg [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (5): 612 – 617. [苏春芳, 刘爱萍, 高书晶, 等. 温度和湿度对草地螟阿格姬蜂飞行能力的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (5): 612 – 617]

Throne JE, Cline LD. Seasonal abundance of maize and rice weevils (Coleoptera: Curculionidae) in South Carolina [J]. *Journal of Agricultural Entomology*, 1991, 8 (2): 93 – 100.

Throne JE, Cline LD. Seasonal flight activity and seasonal abundance of selected stored – product Coleoptera around grain storages in South Carolina [J]. *Journal of Agricultural Entomology*, 1994, 11 (4): 321 – 338.

Throne JE, Cline LD. Seasonal flight activity of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), and the rice weevil, *S. oryzae* (L.), in South Carolina [J]. *Starch – Stärke*, 1989, 39 (2): 52 – 56.

Vásquez – castro JA, De Baptista GC, Trevizan LR, *et al.* Flight activity of *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) and its relationship with susceptibility to insecticides [J]. *Neotropical Entomology*, 2009, 38 (3): 405 – 409.

Wang CX, Gao KJ, Jiang HS. Survey of *Sitophilus oryzae* Linnaeus infected bagging apple [J]. *China Plant Protection*, 2004, 24 (4): 43 – 43. [万春先, 高坤金, 姜好胜. 米象为害套袋苹果调查 [J]. 中国植保导刊, 2004, 24 (4): 43 – 43]

Wang DX, Jang BR, Bai XG, *et al.* Study of distribution of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus oryzae* Linnaeus in seventy five prefecture – level cities of ten provinces of China [J]. *Journal of Henan University of Technology* (Natural Science Edition), 2017, 38 (3): 110 – 114. [王殿轩, 姜碧若, 白旭光, 等. 中国10省75地市米象和玉米象的分布调查研究 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2017, 38 (3): 110 – 114]

Wang DX, Li ZD, Lu Q, *et al.* Study on the movement behavior of *Sitophilus oryzae* Linnaeus at different temperatures [J]. *Journal of Henan University of Technology* (Natural Science Edition), 2011, 32 (4): 6 – 9. [王殿轩, 李兆东, 陆群, 等. 不同温度下米象的运动行为研究 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2011, 32 (4): 6 – 9]

Wang DX, Peng J, Lang ZH, *et al.* Study on the change of gluten water absorption of wheat infected by *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. *Grain Processing*, 2014, 39 (2): 75 – 78. [王殿轩, 彭娟, 梁振海, 等. 米象和谷蠹感染小麦后面筋吸水量变化研究 [J]. 粮食加工, 2014, 39 (2): 75 – 78]

Wang DX, Zheng Z, Yuan YK, *et al.* Detection and calculation on developmental zero temperature of *Sitophilus oryzae* Linnaeus and *Sitophilus zeamais* Motschulsky [J]. *Journal of Henan University of Technology* (Natural Science Edition), 2016, 37 (2): 11 – 15, 31. [王殿轩, 郑祯, 袁玉珂, 等. 米象和玉米象发育始点温度的测定与计算 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2016, 37 (2): 11 – 15, 31]

Wang QQ, Zhou GL, Zhang T, *et al.* Effects of temperature and humidity on flight capacity of adults *Tribolium castaneum* (Herbst) [J/OL]. *Journal of Environmental Entomology*: 1 – 10 [2019 – 03 – 03]. http: //kns. cnki. net/kcms/detail/44. 1640. Q. 20181207. 1127. 002. html. [王欠欠, 周国磊, 张涛, 等. 温湿度对赤拟谷盗成虫飞行能力的影响 [J/OL]. 环境昆虫学报: 1 – 10 [2019 – 03 – 03]. http: //kns. cnki. net/kcms/detail/44. 1640. Q. 20181207. 1127. 002. html]

Wright EJ, Morton R. Daily flight activity of *Trogoderma variabile* (Coleoptera: Dermestidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) [J]. *Journal of Stored Products Research*, 1995, 31 (3): 177 – 184.

Wu XF, Feng HQ, Xue FS, *et al.* Orientation behaviors of insects in migratory process [J]. *Plant Protection*, 2006, 32 (5): 1 – 5. [吴先福, 封洪强, 薛芳森, 等. 昆虫迁飞过程中的定向行为 [J]. 植物保护, 2006, 32 (5): 1 – 5]

Xia SX. Effects of low temperature in rice storage on physiological

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

functions of *Sitophilus oryzae* Linnaeus and *Sitophilus zeamais* Motschulsky［J］. *Sichuan Grain and Oil Technology*, 2000, 2: 33 – 36.［夏世祥. 大米储藏中低温对玉米象和米象生理作用的影响［J］. 四川粮油科技, 2000, 2: 33 – 36］

Yang ZY, Wu GX. Preliminary investigation on the distribution of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus oryzae* Linnaeus［J］. *Journal of Zhengzhou Grain College*, 1981, 2: 83 – 84.［杨志远, 吴国雄. 对米象、玉米象分布的初步调查［J］. 郑州粮食学院学报, 1981, 2: 83 – 84］

Yang ZY, Wu GX. Preliminary investigation on the distribution of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus oryzae* Linnaeus in Jiangxi Province［J］. *Jiangxi Plant Protection*, 1981, 2: 22.［杨志远, 吴国雄. 江西省米象和玉米象分布的初步调查［J］. 江西植保, 1981, 2: 22］

Zhang SF, Fan XH, Gao Y, *et al.* Stored Products Beetles［M］. Beijing: Science Press, 2014: 440.［张生芳, 樊新华, 高渊, 等. 储藏物甲虫［M］. 北京: 科学出版社, 2014: 440］

Zhang T, Wu Y, Liu LJ, *et al.* Geographical distribution of *Tribolium Castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in China［J］. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33 (5): 70 – 75.［张涛, 伍祎, 柳丽君, 等. 我国赤拟谷盗地理分布研究［J］. 中国粮油学报, 2018, 33 (5): 70 – 75］

Zhang T. Geographical Distribution, Spread Pathway and Biological Control Techniques of Predatory Mites of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in China［D］. Beijing: China Agricultural University, 2017.［张涛. 我国赤拟谷盗地理分布、扩散路径与捕食螨生物防治技术研究［D］. 北京: 中国农业大学, 2017］

Zhang YR, Wang HR, Zhou XQ, *et al.* Damaged grain classification of wheat infected by boring pests［J］. *Cereal & Feed Industry*, 2014, 12 (9): 7 – 11.［张玉荣, 王海荣, 周显青, 等. 蛀食性害虫侵害小麦后损伤分型指标研究［J］. 粮食与饲料工业, 2014, 12 (9): 7 – 11］

Zhou GL, Cao Y, Wang QQ, *et al.* Effect of temperature on flight behavior of the adult lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius)［J］. *Journal of Henan University of Technology* (Natural Science Edition), 2018, 39 (6): 105 – 110.［周国磊, 曹阳, 王欠欠, 等. 温度对谷蠹成虫飞行行为的影响［J］. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2018, 39 (6): 105 – 110］

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net