塑料大棚中黄曲条跳甲成虫的日间种群动态*

刘 欣[1**] 张 琴[2**] 邱 霞[1] 李 倩[1***]

（1. 中国计量大学生命科学学院，杭州 310018；2. 浙江省农产品绿色发展中心，杭州 310003）

摘 要 【**目的**】黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* 是浙江省塑料大棚十字花科蔬菜重要害虫，明确其在该种植环境中的活动动态对于制定精准防控策略具有重要的指导意义。【**方法**】采用黄、绿两种色板在 5:00-17:00 诱集黄曲条跳甲成虫并逐小时记录诱集数量与整点的环境温度和相对湿度；基于单因素方差分析与 Tukey's HSD 检验其活动动态，并通过逐步回归模型与广义相加模型分别验证环境温度、相对湿度及二者交互作用对其活动动态的影响；基于独立样本 *t* 检验明确黄、绿两种色板对黄曲条跳甲的诱集效果。【**结果**】本次诱集到黄曲条跳甲共 2 703 只，不同时段的数量从 0-109 只不等，平均 0-（46.20±11.06）只/h。日间活动动态呈单峰分布，时间因素显著影响活动动态（$F = 58.03$, $P < 0.05$），5:00-7:00 活动水平低，7:00 后逐渐上升，至 10:00 趋于稳定并持续至 12:00，12:00-13:00 达峰值后显著下降并持续稳定至 17:00。环境温度与相对湿度显著影响活动动态（$r^2 = 0.390\ 2$, $P < 0.05$）。黄曲条跳甲活动动态在 33.31 ℃以下与环境温度正相关（$r^2 = 0.349\ 1$, $P < 0.05$），随温度继续升高无明显变化趋势，与相对湿度呈负相关关系（$r^2 = 0.345\ 6$, $P < 0.05$）。黄、绿色板诱集的黄曲条跳甲数量无显著差异（$t = 0.21$, $df = 5\ 758$, $P = 0.85$）。【**结论**】研究结果阐明了塑料大棚中黄曲条跳甲的日间活动动态特征，为黄曲条跳甲的监测预警和精准防控提供了重要的理论依据。

关键词 黄曲条跳甲；塑料大棚；活动动态；环境温度；相对湿度

Diurnal population dynamics of *Phyllotreta striolata* adults in plastic greenhouses

LIU Xin[1**] ZHANG Qin[2**] QIU Xia[1] LI Qian[1***]

(1. College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 2. The Green Development Center for Agricultural Products in Zhejiang Province, Hangzhou 310003, China)

Abstract **[Aim]** To improve understanding of the population dynamics of the striped flea beetle (SFB), *Phyllotreta striolata*, an important pest of cruciferous vegetables in greenhouses, and thereby help develop more precise prevention and control strategies for this pest. **[Methods]** Two color plates, yellow and green, were used to collect adult SFB from 5:00 to 17:00. The number of SFB collected, and the hourly ambient temperature and relative humidity, were recorded. The results were analyzed with one-way ANOVA and Tukey's HSD tests, and the effects of ambient temperature, relative humidity, and the interaction between these, on SFB activity was verified using stepwise regression, and generalized additive, models, respectively. The effect of plate color plates (yellow vs green), on the number of SFB captured was assessed using an independent sample *t*-test. **[Results]** A total of 2 703 SFB were collected. The number caught in different periods ranged from 0 to 109 individuals, with an average of 0 to (46.20 ± 11.06) individuals captured per hour. Time of day significantly influenced SFB activity ($F = 58.03$, $P < 0.05$). Activity was low from 5:00 to 7:00, but gradually increased after 7:00 it to a stable level from 10:00 until 12:00. There was then an explosive peak in activity between 12:00 and 13:00, after which it significantly declined to a stable level until 17:00. Environmental temperature and relative humidity significantly affected activity ($r^2 = 0.390\ 2$, $P < 0.05$). Below 33.31 ℃, activity was positively correlated with the environmental temperature ($r^2 =$

*资助项目 Supported project：浙江省“三农九方”科技协作计划（2024SNJF075）

**共同第一作者 Co-first authors，E-mail：15355008488@163.com；252908521@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：liq2014@cjlu.edu.cn

收稿日期 Received：2024-12-11；接受日期 Accepted：2025-06-06

0.349 1, $P < 0.05$), and there was no obvious change as the temperature continued to rise. Relative humidity was negatively correlated with activity ($r^2 = 0.345\ 6$, $P < 0.05$). There was no significant difference in the number of SFB captured using yellow or green boards ($t = 0.21$, $df = 5\ 758$, $P = 0.85$). **[Conclusion]** These results clarify the daily activity patterns of the SFB in plastic greenhouses, and thereby provide an important theoretical basis for the monitoring, prevention and control of this pest.

Key words *Phyllotreta striolata*; plastic greenhouse; activity dynamics; environmental temperature; relative humidity

黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* 属鞘翅目 Coleoptera 叶甲科 Chrysomelidae，是世界性十字花科蔬菜害虫，广泛分布于亚洲、欧洲、北美洲和南非等 50 多个国家和地区(Anooj *et al.*，2020)。黄曲条跳甲主要危害芥菜 *Brassica juncea*、白菜 *B. rapa* var. *glabra*、萝卜 *Raphanus sativus*、油菜 *B. chinensis*、菜薹 *B. rapa* var. *purpuraria* 等十字花科蔬菜，播娘蒿 *Descurainia sophia*、菥蓂 *Thlaspi arvense* 和蔊菜 *Rorippa indica* 等十字花科杂草也是其常见自然寄主（高泽正等，2000；Reddy，2017；肖勇等，2023）。黄曲条跳甲在我国长江流域以南地区发生尤为严重，部分地区危害程度已超过小菜蛾 *Plutella xylostella* 成为十字花科蔬菜上的头号害虫，福建闽南、仙游等部分地区十字花科蔬菜受害率高达 100%（黄阿兴，2005；吴德飞，2009）。

浙江省十字花科蔬菜有露天与设施种植两种模式，露天种植常受恶劣天气如梅雨、台风等影响，而设施农业打破了传统种植的限制，无季节与天气限制，已成为蔬菜种植的主要方向（张德双等，2017；陈永生和刘先才，2020）。设施农业较为封闭且温湿度可调控，不仅改变了作物的生长条件，同时影响了害虫的生理与生态习性，导致害虫频繁暴发成灾，如烟粉虱 *Bemisia tabaci*、美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 等在温室中的繁殖率明显增高且发育历期缩短（Al-Khalash *et al.*，2021；Abubakar *et al.*，2022；李明江等，2023）。黄曲条跳甲每日有两个活跃高峰期，分别为 8:00-10:00 和 16:00-18:00，但设施农业中的高温高湿环境是否影响了黄曲条跳甲的发生尚需进行探索（任向辉等，2017；袁永达等，2018；魏亦云和虞国跃，2022；陈晓琴等，2024）。

基于昆虫趋光性的色板诱集法可明确目标害虫在特定区域的活动强度与节律，为深入分析害虫的行为特点及动态变化提供参考（帕提玛·乌木尔汗等，2018）。不同昆虫对不同波长光的趋性存在显著差异，如白蜡敛片叶蜂 *Tomostethus fraxini* 对深绿色、蓝色和黄色均有趋性，烟蓟马 *Thrips tabaci* 对蓝色趋性更为明显，而大青叶蝉 *Cicadella viridis* 对黄色的趋性最强，因此针对不同昆虫的调查需选择特定颜色色板（张志林等，2017；米娜，2019；薛正等，2024）。为及时精确反馈虫情变化及减少因色板粘性下降导致的计数误差，基于虫量与色板粘度，每小时对使用的色板进行更换（Pickens and Hayes，1994；Pavan *et al.*，2023）。室内实验及田间试验均表明黄曲条跳甲对黄、绿色均具有较强趋性，但两种色板在田间对黄曲条跳甲的诱集效果存在一定的差异，因此有待进一步验证（刘彬等，2021；Weber *et al.*，2022；Wang *et al.*，2025）。

综上所述，本研究拟采用黄、绿两色色板对塑料大棚中的黄曲条跳甲进行诱集，分析其日间活动动态，明确环境温度与相对湿度对其活动动态的影响，并验证 2 种色板在塑料大棚中诱集效果的差异。研究结果将为塑料大棚中黄曲条跳甲活动动态的实时监测和精准防控策略的制定提供重要的理论参考与依据。

1　材料与方法

1.1　试验场地

试验于 2024 年 4 月中旬至 5 月初在杭州萧山伟友农业开发有限公司进行（30.21° N，120.64° E）。在 35 m × 8 m 的温室大棚中设置 6 块 2 m × 5 m 的试验小区，各小区间纵向间隔为 10 m，横向间隔为 4 m，均种植鸡毛菜 *B. chinensis*，并在播种 15 d 后菜苗高度约为 15 cm 时开始试验（图 1）。

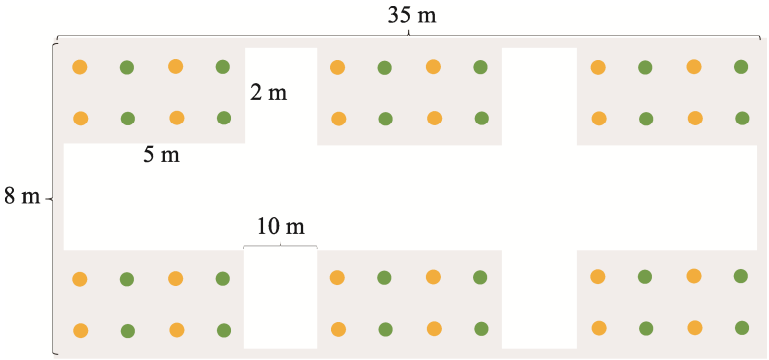

图 1　塑料大棚中黄曲条跳甲日间动态调查试验小区布设图

Fig. 1　The layout of the experimental plots for the daytime dynamic investigation of the *Phyllotreta striolata* in plastic greenhouses

灰色方块代表一个试验小区；黄点代表黄色色板；绿色点代表绿色色板。

The grey square represents an experimental plot; The yellow dot represents a yellow color plate; The green dot represents a green color plate.

1.2　调查方法

在每个试验小区内交替悬挂 4 张黄色色板[反射的黄光波长为（575 ± 10）nm]与 4 张绿色色板[反射的绿光波长为（520 ± 10）nm]。色板的布置为横向 4 行、纵向 2 列，每行色板颜色相同，不同行间黄绿色色板交替排列（图 1）。色板下缘距离地面 15 cm，悬挂高度根据植物生长情况进行适当调整。每日 5:00 开始悬挂色板，16:00 为当日最后一次悬挂，并于 17:00 回收此色板，每隔 1 h 回收并更换新色板（Pickens and Hayes，1994；Pavan *et al.*，2023），统计每块色板上黄曲条跳甲的数量并拍照记录。记录试验期间每个整点的环境温度和相对湿度（小米米家 LYWSD03MMC）。调查时间 4 月 29 日至 5 月 8 日，共持续进行 10 d。

1.3　数据分析

基于 RStudio（v4.4.1，R Core Team，2021）stats 统计包分析黄曲条跳甲诱集数量在不同时间段的差异，并对黄绿两种色板的诱集数量进行比较，以检验黄曲条跳甲日活动动态；分析诱集数量与环境温度、相对湿度之间的相关关系，以检验环境温度、相对湿度对黄曲条跳甲日活动动态的影响。首先，使用“aov”函数进行单因素方差分析，检验各时间段黄曲条跳甲数量的总体差异；随后，采用“Tukey HSD”函数进行 Tukey HSD 检验，以确定不同时间段黄曲条跳甲诱集数量差异。以数量的对数值作为因变量，环境温度和相对湿度为自变量，并假设高斯误差分布（Gaussian error distribution），建立全模型。随后，使用“step”函数进行前进、混合和后退逐步回归，并通过最小信息准则（Akaike information criterion，AIC）选择最佳模型，采用“qqnorm”函数对模型的前提假设进行检验，判断模型残差是否符合正态分布。随后使用“gam”函数，分析环境温度、相对湿度与黄曲条跳甲诱集数量的相关性关系。最后使用“t. test”函数进行独立样本 *t* 检验，比较黄绿两种色板每日黄曲条跳甲诱集数量的差异。

采用 ggplot2 和 plotly 包进行结果可视化。

2　结果与分析

2.1　诱集数量

本次调查共诱集到黄曲条跳甲 2 703 只，每日诱集数量 0-632 只不等，部分监测日出现 0 诱捕现象，4 月 29 日达诱集数量高峰为 632 只，调查期间平均（270.30 ± 58.20）只/d。每调查日的不同时段诱集到的黄曲条跳甲数量从 0-109 只不等。平均诱集数量从 0-（46.20 ± 11.06）只/h 不等，除 6:00-7:00 时段 0 诱捕外，各时段均有诱捕。

2.2　黄曲条跳甲日活动动态

黄曲条跳甲的日间活动动态呈现单峰分布（图 2），不同时段诱集到的黄曲条跳甲数量差

异显著（$F = 58.03$，$df = 11$，5 748，$P < 0.05$）。5:00-7:00 时段，黄曲条跳甲活动水平较低，且无显著波动。7:00-12:00 时段，黄曲条跳甲活动动态先逐步上升，至 9:00-10:00 趋于稳定，且在 9:00-12:00 期间，活动维持稳定活跃状态，无显著变化。12:00-13:00 时段，活动动态到达高峰，之后活动量显著下降（$t = 5.214\ 6$，$P < 0.05$），在 13:00-17:00 呈现稳定活跃水平。

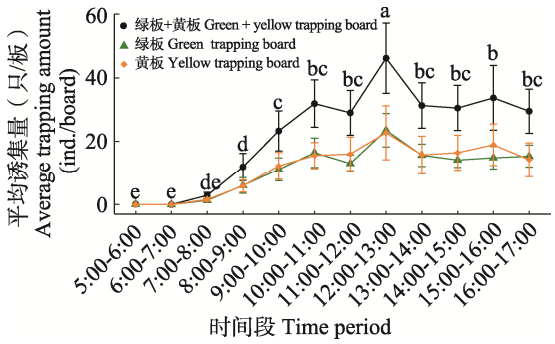

图 2　黄曲条跳甲日活动动态

Fig. 2　The daily activity rhythm of *Phyllotreta striolata*

图中数据为平均值±标准误；线上不同字母表示差异显著（$P < 0.05$，Tukey HSD 检验）。

Data in the figure are mean±SE. Different letters above the broken line indicate significant difference ($P < 0.05$, Tukey HSD test).

2.3　环境温度与相对湿度对活动动态的影响

黄曲条跳甲日间活动数量随温度升高逐渐增多，但其数量峰值与温度峰值并不一致（表 1，图 3）。5:00-12:00 日间温度由（17.53 ± 0.76）℃上升至（34.17 ± 2.16）℃，随温度上升黄曲条跳甲数量也逐步增多，至 13:00 平均温度达（33.31± 2.46）℃时，色板诱集到的黄曲条跳甲数量达到最大值为（46.20 ± 11.06）只。温度最高为（34.17 ± 2.16）℃，此时黄曲条跳甲数量为（29.00 ± 7.04）只。13:00-17:00 温度逐步下降至（25.99 ± 1.57）℃，黄曲条跳甲数量随温度降低变化差异不显著（$P > 0.05$）。

黄曲条跳甲日间活动数量随湿度下降而增多（表 1，图 3）。清晨田间相对湿度最大，5:00-6:00 和 6:00-7:00 时段相对湿度分别为 96% ± 2% 和 84% ± 2%，此时段黄曲条跳甲数量最低。随后相对湿度逐步下降，至 12:00-13:00 降至最低 53% ± 6%，黄曲条跳甲数量达到最大值；随后至调查结束湿度缓步上升，黄曲条跳甲数量也开始下降。

表 1　不同时段黄曲条跳甲数量、相对湿度与环境温度的 Tukey HSD 检验

Table 1　Tukey HSD test of the number of *Phyllotreta striolata*, relative humidity, and ambient temperature at different time periods

时间段 Time period	数量 Number	湿度 Humidity	温度 Temperature
5:00-6:00	e	a	g
6:00-7:00	e	b	f
7:00-8:00	de	c	e
8:00-9:00	d	d	c
9:00-10:00	c	e	b
10:00-11:00	bc	f	a
11:00-12:00	bc	f	a
12:00-13:00	a	f	ab
13:00-14:00	bc	f	b
14:00-15:00	bc	e	c
15:00-16:00	b	e	d
16:00-17:00	bc	d	e

字母按升序排列，a 表示黄曲条跳甲数量/环境温度的最高值或相对湿度的最低值。

The letters are arranged in ascending order, and "a" represents the maximum value of the number of *P. striolata*/environmental temperature or the minimum value of relative humidity.

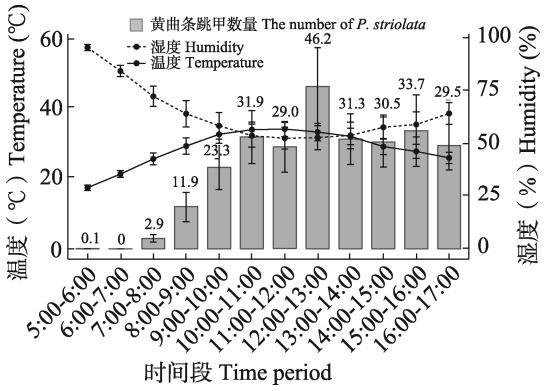

图 3　各时间段下黄曲条跳甲数量与环境温度和相对湿度的关系

Fig. 3　The relationship between the number of *Phyllotreta striolata* and the environmental temperature and relative humidity in each time period

基于逐步回归模型对环境因素与黄曲条跳甲数量的相关关系进行分析，表明二者均影响黄曲条跳甲活动动态（r^2 = 0.390 2, P < 0.05），基于“ln（黄曲条跳甲数量）= 2.26 + 0.06 × 温度− 2.38 × 湿度”的模型可大致估算黄曲条跳甲数量（表 2，表 3，图 4）。黄曲条跳甲活动动态与环境温度与相对湿度之间呈非线性相关，33.31 ℃范围内数量随温度升高而逐渐增多，呈局部正相关（Estimate = 0.06，P = 0.02，r^2 = 0.349 1），高于 33.31 ºC 数量趋于稳定（图 5：A）；活动动态与相对湿度呈显著负相关（Estimate = - 2.38，P = 0.02，r^2 = 0.345 6）（表 4，图 5：B）。

表 2　黄曲条跳甲数量与各变量间逐步回归模型选择过程

Table 2　Selection process of stepwise regression model between the number of *Phyllotreta striolata* and various variables

模型选择 Model selection	变量添加/移除 Variable addition/Removal	最小信息准则 Akaike information criterion, AIC
ln 黄曲条跳甲数量 Number of *P. striolata*= $\beta_0 + \epsilon$，AIC = 19.22	添加“温度”Add temperature	- 16.14
	添加“湿度”Add humidity	- 15.67
ln 黄曲条跳甲数量 Number of *P. striolata*= β_1×温度 Temperature+ β_0，AIC = - 16.14	添加“湿度”Add humidity	**- 19.82**
ln 黄曲条跳甲数量 Number of *P. striolata*= β_1×温度 Temperature + β_2×湿度 Humidity+ β_0，**AIC = - 19.82**	移除“湿度”Remove humidity	- 16.14
	移除“温度”Remove temperature	- 15.67
	添加“温湿度交互作用” Add temperature-humidity interaction	- 19.22

加粗部分为最优模型的 AIC 值。The bold part is the AIC value of the optimal model.

表 3　逐步回归最优模型下黄曲条跳甲数量与变量间的相关关系

Table 3　The optimal model analyzes the relationship between temperature, humidity, and the number of *Phyllotreta striolata*

变量 Variable	估计值 Estimate	标准误差 SE	*t* 值 *t*-value	*P* 值 *P*-value
环境温度 Environment temperature	0.06	0.03	2.48	0.02
相对湿度 Relative humidity	- 2.38	1.00	- 2.38	0.02

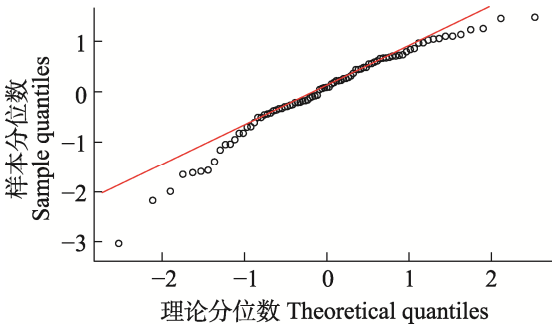

图 4　数据正态性检验分位数-分位数图（用于逐步回归模型前置验证）

Fig. 4　Quantile-quantile plot figure for checking the normality of modeling data (used for pre-validation of the stepwise regression model)

2.4　黄绿色板的诱集效果差异

自 4 月 29 日至 5 月 8 日黄色色板共诱集到 1 391 只黄曲条跳甲，每日诱集数量为 0-362 只不等，平均诱集量为（139.1 ± 22.4）只/d；绿色色板共诱集到 1 312 只，每日诱集数量为 0-270 只不等，平均诱集量为（131.2 ± 21.5）只/d。两种色板每日诱集数量无显著差异（t = 0.21，df = 1，5 758，P = 0.83）（图 2），且每小时黄绿色板的诱集数量也无显著差异（P > 0.05）（表 4）。

表 4　各时段黄绿色板诱集的黄曲条跳甲数量差异

Table 4　The difference in the number of *Phyllotreta striolata* between the yellow and green boards at each hour

时间段 Time period	*t* 值 *t*-value	*P* 值 *P*-value	时间段 Time period	*t* 值 *t*-value	*P* 值 *P*-value
5:00-6:00	1.00	0.32	11:00-12:00	- 1.41	0.16
6:00-7:00	\	\	12:00-13:00	0.27	0.79
7:00-8:00	- 0.50	0.61	13:00-14:00	- 0.05	0.96
8:00-9:00	0.07	0.94	14:00-15:00	- 1.02	0.31
9:00-10:00	- 0.59	0.56	15:00-16:00	- 1.56	0.12
10:00-11:00	0.38	0.70	16:00-17:00	0.45	0.65

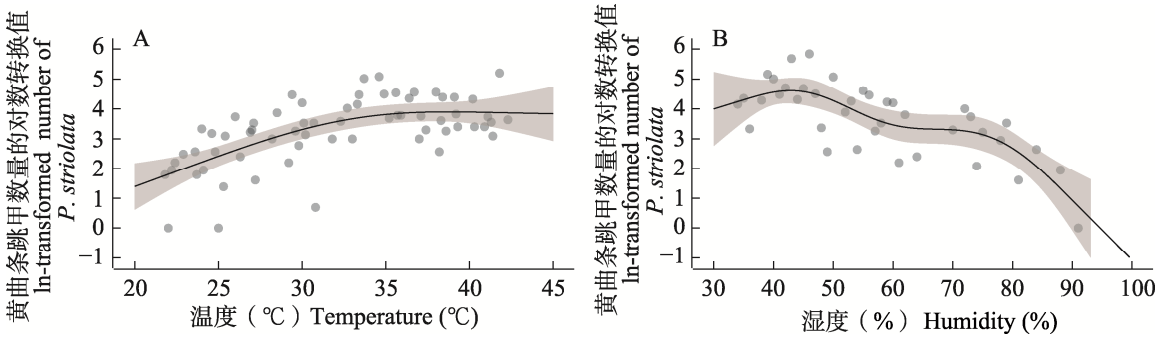

图 5　广义相加模型下温度（A）、湿度（B）与黄曲条跳甲数量的影响关系图

Fig. 5　Influence relationship of temperature (A) and humidity (B) on number of *Phyllotreta striolata* under generalized additive model

3　结论与讨论

本研究基于黄绿色板调查了塑料大棚中黄曲条跳甲的日间活动动态，并分析了环境温湿度对其数量的影响。结果表明黄曲条跳甲的活动动态呈单峰分布，5:00-7:00 活动水平低，7:00 后逐渐上升，至 10:00 趋于稳定并持续至 12:00，12:00-13:00 达到暴发性高峰，随后显著下降到稳定水平持续至 17:00。环境温度与相对湿度与黄曲条跳甲活动动态具有一定相关性，其中环境温度与黄曲条跳甲活动数量在局部范围内显著正相关，相对湿度与数量显著负相关，二者交互作用的影响不显著。黄色与绿色两种色板在诱集黄曲条跳甲效果上无显著性差异。

昆虫的活动动态受到温湿度及昼夜节律等多种因素的综合影响。环境温度是影响昆虫活动动态的关键因素，环境温度每升高 2 ℃，植食性昆虫每年可增加 1-5 个世代（Yamamura and Kiritani，1998）。当环境温度偏离昆虫适宜区间时，其活动数量显著减少，尤以高温的影响更为显著（史彩华等，2017；Halsch *et al.*，2021）。塑料大棚条件下黄曲条跳甲活动动态受环境温度影响较为明显，其最适温度约在（33.31±2.46）℃，在此环境温度下两种色板诱集到的黄曲条跳甲数量均最多。除环境温度外，相对湿度也会影响昆虫的代谢，对其繁殖、生长发育和存活率等均产生一定影响（李磊等，2016）。如随着相对湿度的增加，梨小食心虫 *Grapholitha molesta* 种群数量和蛀果率相应增加，湿度越高，害虫寿命延长，越利于其产卵、化蛹和羽化（庾琴等，2017）。黄曲条跳甲除成虫外其他阶段均生活在土壤中，因此对相对湿度较为敏感，基于 CLIMEX 3.0 对北美黄曲条跳甲种群气候敏感性分析的结果表明，降水量增加 40%则其种群数量减少 100%（Olfert *et al.*，2018）。本次调查中 6:00-8:00 的温湿度条件与 16:00-17:00 相似，而前者黄曲条跳甲数量接近于 0，基于田间观察发现此现象与清晨叶面露水较多导致黄曲条跳甲行动受限有关，在湿度过高的情况下，黄曲条跳甲成虫种群的扩张或维持也会受到影响（Soroka *et al.*，

2018）。黄曲条跳甲昼夜节律也影响其活动动态，研究表明室内人工光源条件下黄曲条跳甲日间以移动取食为主，而交配活动仅在夜间观察到（李倩等，2025），此种行为结果使得在日间开展田间监测时，其活动动态数据受昼夜节律影响的可能性显著降低。

设施栽培中黄曲条跳甲存在单一活动高峰。黄曲条跳甲成虫在室内昼夜节律的观察中存在 8:00-10:00 和 16:00-18:00 两个活动高峰，但本研究仅观察到 12:00-13:00 一个活动高峰，与双峰活动节律存在显著差异（李倩等，2025）。这种差异可能与塑料大棚特有的微环境特征有关，塑料大棚内温湿度日变化幅度较露天环境明显减弱（如午间高温持续时间延长、清晨露水蒸发延迟等），导致成虫活动节律的单一活动高峰。相较于露天环境中晨间升温与午后降温形成的双活动窗口，设施内相对稳定的高温环境可能促使成虫集中适应单一活动高峰。设施栽培会导致设施内外昆虫活动数量波动变化不同，塑料大棚下，斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* 数量波动较露天下平缓，西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 高峰期较露天环境延后 20-30 d（李向永等，2013；李如意等，2017）。

在室内实验或露天栽培条件下黄曲条跳甲适宜生存温度为 21-30 ℃，而在塑料大棚中其在（33.31±2.46）℃条件下数量最多，与室内或露天条件下的适宜温度并不一致。昆虫具有一定的表型可塑性，可提高其应对环境胁迫的抗性水平，高温胁迫是昆虫常面对的环境胁迫之一，但昆虫通过在一定高温范围内的持续暴露，其耐热性水平也会出现显著提高（van Heerwaarden *et al.*，2016；Ma *et al.*，2021）。经过热适应的黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 其耐受的上限温度均出现了显著提高，并且在果蝇对温度适应较长时间后这种效应可能具有种群特异性（Kellermann *et al.*，2017）。然而，通过可塑性对高温耐受能力的提高是有限的，烟草天蛾 *Manduca sexta* 通过驯化其最高临界温度仅能提高约 1-2 ℃（Kingsolver *et al.*，2016）。塑料大棚中黄曲条跳甲与露天栽培中黄曲条跳甲的耐热能力是否存在差异需要进一步验证。

本研究系统调查了黄曲条跳甲在塑料大棚条件下的日间活动规律，并深入分析了温度、相对湿度等环境因子对其活动动态的影响规律。研究结果首次明确了塑料大棚条件下黄曲条跳甲的活动动态特征，为设施农业中该害虫的活动动态监测预警及最佳防控时机的选择提供了重要的理论依据和实践指导。同时，由于昆虫雌雄个体对环境因子的响应可能存在差异，加之寄主植物的季节性变化对其活动规律的影响，目前的研究结果仍需通过以下方面进一步完善：（1）扩大样本量以提高数据的代表性；（2）延长调查周期以全面掌握活动动态变化规律；（3）综合考虑光照强度等其他关键环境因子的影响。

参考文献 (References)

Abubakar M, Koul B, Chandrashekar K, Raut A, Yadav D, 2022. Whitefly (*Bemisia tabaci*) management (WFM) strategies for sustainable agriculture: A review. *Agriculture*, 12(9): 1317.

Al-Khalash AJM, Baker SZ, Mahdi Al-Rubiai DR, 2021. Population dynamics of (*Liriomyza sativae*) Blanchard Diptera: And (*Agromyzidae*) and its parasitoids on climbing crop under (plastic greenhouse conditions). *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 21(3): 70–74.

Anooj SS, Raghavendra KV, Shashank PR, Nithya C, Sardana HR, Vaibhav V, 2020. An emerging pest of radish, striped flea beetle *Phyllotreta striolata* (Fabricius), from Northern India: Incidence, diagnosis and molecular analysis. *Phytoparasitica*, 48(5): 743–753.

Chen XQ, Peng LY, Yang JX, Lu Y, Yin XY, Zhang C, 2024. Occurrence and control of *Phyllotreta striolata* (Fabricius) in Shenzhen. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 65(8): 1884–1887. [陈晓琴, 彭李亚, 杨蕉旭, 鲁勇, 殷祥语, 张琛, 2024. 深圳市黄曲条跳甲发生调查及综合防治措施. 浙江农业科学, 65(8): 1884–1887.]

Chen YS, Liu XC, 2020. Development report of China vegetable mechanization in 2019. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 41(3): 46–53. [陈永生, 刘先才, 2020. 2019 年中国蔬菜机械化发展报告. 中国农机化学报, 41(3): 46–53.]

Gao ZZ, Wu WJ, Cui ZX, 2000. Studies on the host range of *Phyllotreta striotata* (F.). *Ecological Science*, 19(2): 70–72. [高泽正, 吴伟坚, 崔志新, 2000. 关于黄曲条跳甲的寄主范围. 生态科学, 19(2): 70–72.]

Halsch CA, Shapiro AM, Fordyce JA, Nice CC, Thorne JH, Waetjen DP,

Forister ML, 2021. Insects and recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2): e2002543117.

Huang AX, 2005. Occurrence and control of *Phyllotreta striolata* in vegetable fields in southern Fujian. *China Plant Protection*, 25(11): 21–22. [黄阿兴, 2005. 闽南菜田黄曲条跳甲发生与防治. 中国植保导刊, 25(11): 21–22.]

Kellermann V, van Heerwaarden B, Sgrò CM, 2017. How important is thermal history? Evidence for lasting effects of developmental temperature on upper thermal limits in *Drosophila melanogaster*. *Proceedings of the Royal Society B*: *Biological Sciences*, 284(1855): 20170447.

Kingsolver JG, MacLean HJ, Goddin SB, Augustine KE, 2016. Plasticity of upper thermal limits to acute and chronic temperature variation in *Manduca sexta* larvae. *Journal of Experimental Biology*, 219(Pt 9): 1290–1294.

Li L, Niu LM, Zhang FP, Han DY, Chen JY, Fu YG, 2016. Effect of habitats and climatic factors on the quantitative dynamics of male *Bactrocera tau* (Walker). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 37(9): 1793–1798. [李磊, 牛黎明, 张方平, 韩冬银, 陈俊谕, 符悦冠, 2016. 生境及气象因子对南瓜实蝇雄成虫数量动态的影响. 热带作物学报, 37(9): 1793–1798.]

Li MJ, Yang SW, Shang HP, Zhou SW, Liu JH, Li GT, Chen GH, Zhang XM, 2023. Population dynamics of *Bemisia tabaci* and its dominant natural enemies on summer tomato under different planting environments. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(1): 18–28. [李明江, 羊绍武, 尚昊培, 周顺文, 刘纪欢, 李贵涛, 陈国华, 张晓明, 2023. 不同种植环境夏番茄上烟粉虱及其优势天敌的种群动态. 中国生物防治学报, 39(1): 18–28.]

Li Q, Liu X, Xiong LS, Zhang Q, Ye FY, Qiu X, Wei SJ, Zheng YL, 2025. Circadian rhythms of the behavioral activities of *Phyllotreta striolata* (Coleoptera: Chrysomelidae) under artificial light-dark conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 68(4): 515–524. [李倩, 刘欣, 熊林燊, 张琴, 叶方源, 邱霞, 魏书军, 郑永利, 2025. 人工光暗条件下黄曲条跳甲成虫行为活动的昼夜节律. 昆虫学报, 68(4): 515–524.]

Li RY, Xiong Y, Li CY, Li MY, Hu CH, Li HY, Jiang SK, He LY, Yang XC, Zhang L, 2017. Effect of greenhouse on the occurrence and damage caused by *Drosophila suzukii* Matsumura in bayberry orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(5): 742–748. [李如意, 熊焰, 李成云, 李明玥, 胡纯华, 李红艳, 蒋少昆, 何丽英, 杨晓灿, 张亮, 2017. 塑料大棚在杨梅园中对斑翅果蝇发生与危害影响. 应用昆虫学报, 54(5): 742–748.]

Li XY, Chen FS, Zhao XQ, Yin YQ, Chen AD, 2013. The population dynamics of *Frankliniella occidentalis* in roses grown using different methods. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 210–214. [李向永, 陈福寿, 赵雪晴, 尹艳琼, 谌爱东, 2013. 西花蓟马在月季不同种植模式下的种群发生特点. 应用昆虫学报, 50(1): 210–214.]

Liu B, Xu JZ, Tian CY, Xu ZP, 2021. Trapping effects of different color plates and lures on *Phyllotreta striolata*. *China Plant Protection*, 41(3): 54–56, 62. [刘彬, 徐嘉政, 田椿燕, 须志平, 2021. 不同色板及诱芯对黄曲条跳甲的诱集效果. 中国植保导刊, 41(3): 54–56, 62.]

Ma CS, Ma G, Pincebourde S, 2021. Survive a warming climate: Insect responses to extreme high temperatures. *Annual Review of Entomology*, 66: 163–184.

Mi N, Zhang QK, Wang HH, Wu SY, Lei ZR, 2019. The phototaxis behavior of *Thrips tabaci* and trapping effect of different wavelength sticky cards in the field. *Scientia Agricultura Sinica*, 52(10): 1721–1732. [米娜, 张起恺, 王海鸿, 吴圣勇, 雷仲仁, 2019. 烟蓟马趋光规律及不同波长色板田间诱捕效果. 中国农业科学, 52(10): 1721–1732.]

Olfert O, Weiss RM, Soroka JJ, Elliott RH, 2018. Bioclimatic approach to assessing factors influencing shifts in geographic distribution and relative abundance of two flea beetle species (Coleoptera: Chrysomelidae) in North America. *Canadian Entomologist*, 150(1): 66–79.

Patima·Wumuerhan, Ma C, Wang F, Zhang YH, Wang YP, Jin GL, Ma SJ, Aziguli·Abulimiti, Yang M, Ji YL, Miriguli, Pan WP, Ma DY, 2018. Trapping effect of card traps with different colors and attractants against main pests in protected vegetables. *Plant Protection*, 44(6): 205–209. [帕提玛·乌木尔汗, 马成, 王芳, 张以和, 王岩平, 靳改龙, 马少军, 阿孜姑丽·阿布力米提, 杨媚, 吉艳玲, 米日古丽, 潘卫萍, 马德英, 2018. 不同色板和引诱剂对设施蔬菜主要害虫的诱杀效果. 植物保护, 44(6): 205–209.]

Pavan F, Cargnus E, Zandigiacomo P, 2023. Use of yellow sticky traps to study daily flight activity and behaviour of sap-sucking insects inhabiting European vineyards. *Bulletin of Insectology*, 76(1): 101–115.

Pickens LG, Hayes DK, 1994. Better traps mean fewer flies. *Agricultural Research*, 42(3): 12.

R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing.

Reddy GVP, 2017. Integrated Management of Insect Pests on Canola and Other *Brassica* Oilseed Crops. Wallingford, UK: CABI. 1–12.

Ren XH, Cui JX, Yang M, Li P, Niu XY, Li WJ, 2017. Radom forest model analysis on environment factors of *Phyllotreta striolata* occurrence in *Brassica chinensis* field. *Journal of Agricultural Science and Technolog*, 19(7): 117–123. [任向辉, 崔建新, 杨萌,

李鹏, 牛新月, 李文杰, 2017. 上海青菜田黄曲条跳甲发生环境因子的随机森林建模分析. 中国农业科技导报, 19(7): 117–123.]

Shi CH, Hu JR, Zhang YJ, 2017. Effects of heat stress on insect reproduction-physiology and outlook in agricultural insect pests control. *China Plant Protection*, 37(3): 24–32. [史彩华, 胡静荣, 张友军, 2017. 高温对昆虫生殖生理的影响及其在农业害虫防治中的展望. 中国植保导刊, 37(3): 24–32.]

Soroka J, Grenkow L, Otani J, Gavloski J, Olfert O, 2018. Flea beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) species in canola (Brassicaceae) on the northern Great Plains of North America. *Canadian Entomologist*, 150(1): 100–115.

van Heerwaarden B, Kellermann V, Sgrò CM, 2016. Limited scope for plasticity to increase upper thermal limits. *Functional Ecology*, 30(12): 1947–1956.

Wang FQ, Zhang Q, Zheng YL, Qiu X, Li Q, 2025. Effects of wavelength and light intensity on the phototaxis of the striped flea beetle, *Phyllotreta striolata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *International Journal of Pest Management*, Doi: 10.1080/09670874.2025.2481465.

Weber DC, Konstantinov AS, Khrimian A, Bier AD, Lubenow LA, Knodel JJ, Haber AI, Wallingford AK, Mason JAC, Kuhar TP, 2022. Trapping of crucifer-feeding flea beetles (*Phyllotreta* spp.) (Coleoptera: Chrysomelidae) with pheromones and plant kairomones. *Journal of Economic Entomology*, 115(3): 748–756.

Wei YY, Yu GY, 2022. *Phyllotreta striolata* hazard symptom recognition. *Vegetables*, 2022(2): 80–82, 85. [魏亦云, 虞国跃, 2022. 黄曲条跳甲的识别与防治. 蔬菜, 2022(2): 80–82, 85.]

Wu DF, 2009. Occurrence characteristics and integrated control techniques of *Phyllotreta striolata* in Xianyou County. *China Agricultural Technology Extension*, 25(11): 43–44. [吴德飞, 2009. 仙游县黄曲条跳甲的发生特点及综合防治技术. 中国农技推广, 25(11): 43–44.]

Xiao Y, Wu YH, Jing XF, Zhang J, Li ZY, 2023. Advances in integrated management of the striped flea beetle *Phyllotreta striolata* (Fabricius). *Plant Protection*, 49(2): 22–31, 64. [肖勇, 吴雨洪, 靖湘峰, 张杰, 李振宇, 2023. 我国黄曲条跳甲综合治理研究进展. 植物保护, 49(2): 22–31, 64.]

Xue Z, Huang XK, Feng M, Wang S, Yuan BQ, Zhao WX, Zhang JY, Zhang X, Yang MY, 2024. Preliminary biological observation and trapping test of *Tomostethus fraxini* (Hymenoptera: Tenthredinidae) in Beijing. *Plant Protection*, 50(4): 318–322. [薛正, 黄旭昆, 冯淼, 王松, 袁宝庆, 赵文秀, 张菁宇, 张旭, 杨梦怡, 2024. 北京地区白蜡敛片叶蜂生物学初步观察及色板诱集试验. 植物保护, 50(4): 318–322.]

Yamamura K, Kiritani K, 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology*, 33(2): 289–298.

Yu Q, Feng YT, Guo XJ, Guo GM, Hao C, Fan RJ, 2017. Effects of humidity on the survival and fecundity of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(6): 659–665. [庾琴, 封云涛, 郭晓君, 郭贵明, 郝赤, 范仁俊, 2017. 湿度对梨小食心虫存活和繁殖的影响. 昆虫学报, 60(6): 659–665.]

Yuan YD, Zhang TS, Chang XL, Teng HY, Shen BZ, Hu YP, Wu CP, Wang DS, 2018. The population dynamics and chemical control of *Phyllotreta striolata* (Fabricius) in Shanghai area. *Acta Agriculturae Shanghai*, 34(1): 58–62. [袁永达, 张天澍, 常晓丽, 滕海媛, 沈倍峥, 胡亚萍, 吴昌坪, 王冬生, 2018. 上海地区黄曲条跳甲发生规律与防治研究. 上海农业学报, 34(1): 58–62.]

Zhang DS, Zhang FL, Yu YJ, Zhao XY, Yu SC, Wang WH, Su TB, Lu GX, 2017. Key seedling raising methods for small plant propagation of *Brassica* vegetables. *China Vegetables*, 2017(1): 74–76. [张德双, 张凤兰, 余阳俊, 赵岫云, 于拴仓, 汪维红, 苏同兵, 卢桂香, 2017. 白菜类蔬菜小株采种主要育苗方式. 中国蔬菜, 2017(1): 74–76.]

Zhang ZL, Fu YL, Yang T, Lin ZF, 2017. Evaluation of colored boards for trapping *Cicadella viridis* (Hemiptera: Cicadellidae) in cotton fields. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 32(4): 415–418. [张志林, 付应林, 杨婷, 林珠凤, 2017. 色板对棉田大青叶蝉田间诱集效果的研究. 福建农业学报, 32(4): 415–418.]