

南阳金银花田金龟子种群动态 及其气象驱动因子解析*

陈培育^{1**} 曹 双¹ 阴志刚¹ 周晓静¹ 祝晓红² 田彩虹³ 苗 进^{3***}

(1. 南阳市科学院, 河南省伏牛山道地中药材开发工程研究中心, 南阳 473038; 2. 南阳市气象局, 南阳 473001;

3. 河南省农业科学院植物保护研究所, 河南省农作物病虫害防治重点实验室, 郑州 450002)

摘 要 【目的】明确河南南阳金银花 *Lonicera japonica* 田金龟子群落结构、优势种群及其种群消长规律, 探明关键气象因子对主要种类种群动态的影响, 为该地区金龟子的精准监测与绿色防控提供科学依据。【方法】2021–2023 年, 在南阳金银花主产区利用频振式杀虫灯进行系统监测, 结合形态学特征与线粒体 *CO I* 基因进行种类鉴定, 采用相对多度指数分析群落结构, 运用 Pearson 相关分析与多元逐步回归方法, 分析气象因子对种群的影响。【结果】共鉴定出金龟子 3 科 3 属 5 种, 其中暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* 和铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* 为优势种, 相对多度分别为 62.04%–65.01% 和 28.99%–29.59%; 古黑异丽金龟 *Anomala antiqua* 为常见种。3 种金龟子成虫发生盛期在 6 月下旬至 7 月中旬重叠, 6 月 28 日至 7 月 3 日为诱虫量高峰期。种群动态对气象因子的响应存在种间差异: 铜绿丽金龟诱虫量与旬平均气温呈显著正相关 ($Y = -507.803 + 33.721X$, $P = 0.001$), 与温度呈稳定正相关 (r 最高达 0.992); 暗黑鳃金龟诱虫量与旬平均最低气温呈显著正相关 ($Y = -984.381 + 86.190X$, $P < 0.001$), 降水、日照的影响年际间波动较大; 古黑异丽金龟与最低温、相对湿度呈正相关 (r 最高分别达 0.945 和 0.786), 与日照时长呈负相关。金龟子危害盛期与金银花第 2、3 茬花生长期重叠, 而与决定年产量的头茬花 (5 月) 采收期错位。【结论】明确了南阳金银花田以暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟为优势种的群落结构, 揭示了 3 种主要金龟子种群消长规律及种间差异化的气象响应模式。基于作物-害虫物候匹配关系, 提出了在成虫始发期 (3 月下旬至 4 月) 和头茬花采收后 (5 月底起) 两个关键窗口进行精准防控的策略, 为该地区金银花田金龟子的预测预报与分类治理提供了理论依据。

关键词 金银花; 金龟子; 种群动态; DNA 条形码; 气象因子; 综合防治

Analysis of the population dynamics and meteorological driving factors of the main scarab beetle species in honeysuckle fields, in Nanyang, Henan Province

CHEN Pei-Yu^{1**} CAO Shuang¹ YIN Zhi-Gang¹ ZHOU Xiao-Jing¹
ZHU Xiao-Hong² TIAN Cai-Hong³ MIAO Jin^{3***}

(1. Henan Funiushan Genuine Traditional Chinese Medicine Development Engineering Research Center, Nanyang Academy of Sciences, Nanyang 473038, China; 2. Nanyang Meteorological Service, Nanyang 473001, China; 3. Henan Key Laboratory of Crop Pest Control, Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract [Aim] To clarify the community structure, dominant species, and population dynamics of scarab beetles in honeysuckle (*Lonicera japonica*) fields in Nanyang, Henan Province, and to investigate the influence of key meteorological factors on the population dynamics of major species, thereby providing a scientific basis for the precise monitoring and

*资助项目 Supported projects: 河南省现代农业产业技术体系建设专项资金 (HARS-22-11-Z2); 河南省农业科学院科技创新团队专项 (2024TD18); 河南省科技研发计划联合基金 (242301420138, 232301420114)

**第一作者 First author, E-mail: chenpeiuyu1984@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: miaojin1977@163.com

收稿日期 Received: 2025-12-08; 接受日期 Accepted: 2026-04-15

environmentally-friendly control of scarab beetles in this region. **[Methods]** From 2021 to 2023, systematic monitoring was conducted in the main honeysuckle-producing area of Nanyang using frequency-vibrating, insecticidal lamps. Species identification was performed based on morphological characteristics and mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (*CO I*) gene sequences. Community structure was analyzed using the relative abundance index, and the relationship between population dynamics and meteorological factors was examined using Pearson correlation analysis and multiple stepwise regression. **[Results]** A total of five scarab beetle species belonging to three genera and three families were identified. Among these, *Holotrichia parallela* and *A. corpulenta* were the dominant species, with relative abundances of 62.04%-65.01% and 28.99%-29.59%, respectively. *A. antiqua* was a common species. The peak occurrence periods of adults of the three main scarab beetle species overlapped from late June to mid-July, with the most concentrated period of peak daily abundance occurring from June 28 to July 3. Interspecific differences were observed in the effects of meteorological factors on the population dynamics of each species. Captures of *A. corpulenta* were significantly influenced by the 10-day mean temperature ($Y = -507.803 + 33.721X$, $P = 0.001$) and showed a stable positive correlation with temperature (r up to 0.992). Captures of *H. parallela* were also significantly correlated with the 10-day mean minimum temperature ($Y = -984.381 + 86.190X$, $P < 0.001$), however, its responses to precipitation and sunshine duration varied considerably among years. Captures of *A. antiqua* was positively correlated with minimum temperature and relative humidity (r up to 0.945 and 0.786, respectively) and negatively correlated with sunshine duration. The peak damage period of scarab beetles coincided with the second and third growth flushes of honeysuckle, but not with the harvest period of the first flush (May), which determines the annual yield. **[Conclusion]** *H. parallela* and *A. corpulenta* are the dominant scarab beetle species in honeysuckle fields in Nanyang, Henan Province. The population dynamics of the three major species, and interspecific differences in their meteorological response patterns were elucidated. Based on the crop-pest phenological matching relationship, a precise control strategy, targeting two key control windows; the initial adult occurrence period (late March to April) and the period after the harvest of the first flush (from late May onward), is proposed. These findings provide a theoretical basis for the prediction, forecasting, and species-specific management, of scarab beetles in honeysuckle fields in this region.

Key words *Lonicera japonica*; scarab beetles; population dynamics; DNA barcoding; meteorological factors; integrated pest management

金银花 *Lonicera japonica* 为我国大宗药食同源药材,其干燥花蕾具有重要的经济与药用价值(刘天亮等, 2021)。在规模化种植中,金银花常遭受蛴螬(鞘翅目金龟总科幼虫)的严重危害(吴朝峰和马雪梅, 2012)。这类地下害虫不仅直接啃食根系导致植株衰弱,其造成的伤口还易诱发根部病害,严重时致植株成片死亡;成虫阶段的金龟子亦取食花蕾与嫩叶,严重影响金银花的产量与品质(李霞等, 2023)。由于金龟子生活史隐蔽、种群波动显著,且对常规化学农药的抗性日益增强,其有效防控始终是生产实践中的难点(张美翠等, 2014)。

金龟子的发生动态受生物与非生物因子的综合调控。气候条件(温度、湿度、降水等)直接影响其卵的孵化、幼虫发育及成虫羽化(周洪旭等, 2009; 李兴权等, 2010); 土壤类型、pH 值、有机质含量等环境因子亦显著影响蛴螬的分

布与存活(党志红等, 2009)。此外,农田管理措施(如寄主植物布局、轮作制度等)与天敌(寄生性昆虫、病原微生物等)共同调节其种群数量(李素娟等, 2003)。然而,目前对金龟子种群暴发的关键驱动机制及多因子互作效应仍缺乏系统认知,制约了预测预报与精准防控技术的发展。

南阳地处豫西南,属北亚热带与暖温带过渡带,是我国重要的金银花产区,其独特的生态条件可能影响金龟子群落结构及发生规律。灯光诱集是监测金龟子种群动态的有效手段,已广泛应用于多种作物害虫监测(商显坤等, 2017; 陈莉等, 2025)。然而,金龟子近缘种形态相似、田间混合发生,仅依靠形态鉴定易产生误差(路园园等, 2023)。DNA 条形码技术凭借其准确、高效的优点,已成为物种鉴定的重要工具(何孟兰等, 2023; 付忠洪等, 2025)。

本研究于 2021-2023 年在南阳金银花产区, 利用频振式杀虫灯系统监测金龟子种群动态, 结合 DNA 条形码技术进行物种鉴定, 旨在明确当地金龟子群落组成与优势种, 揭示主要物种的种群消长规律, 分析其与关键气象因子的关系。研究结果可为南阳地区金银花田金龟子害虫的监测预警与绿色防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 诱虫灯设置

本研究于 2021-2023 年, 在河南省新野县城郊乡 (32°29' N, 111°21' E) 的金银花种植基地进行。采用频振式太阳能杀虫灯 (YF-TY-40, 河南云飞科技发展有限公司) 诱集昆虫, 灯管功率为 15 W。在田间按“Z”字型布设 5 盏杀虫灯, 灯管安装高度为距离地面 1.5 m, 确保灯体周围无高大建筑物或树木遮挡。每年 3 月 1 日至 10 月 31 日开启诱虫灯, 其启闭由自动光控开关控制。

1.2 金龟子的采集与鉴定

1.2.1 样本采集与形态学鉴定 每日清晨收集集虫网袋中的昆虫, 置于 -20 °C 冰箱中冷冻致死。随后进行分拣, 统计金龟子的种类和数量。参考《中国经济昆虫志》(马文珍, 1995) 进行种类鉴定, 照片使用 Keyence 显微系统 (型号: VHX-X1) 拍摄, 比例尺为 2 000 μm 。

1.2.2 分子鉴定 选取形态完整的金龟子个体, 使用血液/细胞/组织基因组 DNA 提取试剂盒 [DP304, 天根生化科技 (北京) 有限公司] 提取其全基因组 DNA。以提取的 DNA 为模板, 利用线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I (COI) 基因的特异性引物 (LCO1490 和 HCO2198) 进行 PCR 扩增。反应体系为 25 μL , 包含 1 μL DNA 模板、上下游引物各 1 μL 、2 $\times$ Taq PCR Master Mix 12.5 μL , 以及 Double-distilled water (dd H₂O) 9.5 μL 。扩增程序为: 94 °C 预变性 3 min; 94 °C 变性 30 s, 55 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 45 s, 35 个循环; 最后 72 °C 延伸 10 min。PCR 产物通过 1% 琼脂糖凝胶电泳 (120 V, 20 min) 进行检测。

对扩增成功的产物进行纯化, 然后送至生工生物工程 (上海) 股份有限公司进行双向测序。

1.3 数据分析

1.3.1 相对多度指数 $R_i (\%) = N_i / N \times 100\%$ N_i 为第 i 种昆虫的诱集数量, N 为诱集到昆虫的总数量, 则 R_i 表示某种昆虫个体数量在群落总数量的占比。

优势种: $R_i \geq 10\%$; 常见种: $1\% \leq R_i < 10\%$; 稀有种: $R_i < 1\%$ (周先涌等, 2020)。

1.3.2 系统发育树的构建 对测序返回的 COI 基因序列进行拼接, 利用 NCBI 数据库的 Blast 工具进行同源序列比对, 以辅助鉴定金龟子种类。从 NCBI 数据库下载相关金龟子的 COI 基因序列, 采用 MEGA 7.0 软件, 基于 Tamura 3-parameter 模型和邻接法构建系统发育树, 进行聚类分析以验证形态学鉴定结果。

1.3.3 多元逐步回归分析 为明确金龟子种群动态消长的关键气象驱动因子, 采用 SPSS 22.0 软件, 对 2021-2023 年 3 种主要金龟子的旬诱虫量 (Y) 与同期旬平均气温、旬平均最高气温、旬平均最低气温、旬平均相对湿度、旬降水量及旬日照时数进行多元逐步回归分析 (Stepwise regression)。变量引入标准为 $P \leq 0.05$, 剔除标准为 $P \geq 0.10$ 。

1.3.4 相关性分析 为探究气象因子对金龟子种群动态的影响, 采用 SPSS 22.0 软件进行皮尔逊相关系数分析 (Pearson correlation coefficient), 分析主要金龟子发生盛期的气象因子 (降雨量、日照时长、最高温、最低温、均温、相对湿度) 与诱虫量的相关性, 筛选出与金龟子发生程度显著相关的关键气象因子。参照 Evans (1996) 中的分级标准, 将相关系数 $|r|$ 划分为: $0.8 \leq |r| \leq 1.0$ 为极强相关, $0.6 \leq |r| < 0.8$ 为强相关, $0.4 \leq |r| < 0.6$ 为中等强度相关, $0.2 \leq |r| < 0.4$ 为弱相关, $0.0 \leq |r| < 0.2$ 为极弱相关。

2 结果与分析

2.1 主要金龟子的种类鉴定

样品 1 体长约 16 -22 mm, 黑褐色至黑色,

无金属光泽, 体表有微弱绒状感; 前足胫节外齿 2 个, 较为尖锐; 腹部臀板三角形, 末端较尖 (图 1: A, D)。其 *COI* 基因序列为 658 bp, 与暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* 序列 (登录号: PV204271) 同源性 99.12%; 基于 *COI* 基因构建系统发育树表明, 样品 1 和暗黑鳃金龟参考序列聚为一支, 且该分支获得 100% 的 Bootstrap 支持率 (图 2: A)。

样品 2 体长约 18 -21 mm, 铜绿色, 带有金属光泽, 前胸背板两侧有黄边; 前足胫节外齿 2 个; 腹部臀板三角形 (图 1: B, E)。其 *COI* 基因序列为 685 bp, 与铜绿丽金龟 *Anomala*

corpulenta 序列 (登录号: PP697533) 同源性 98.83%, 样品 2 与铜绿丽金龟参考序列聚为一支, 且该分支获得 100% 的 Bootstrap 支持率 (图 2: B)。

样品 3 体长约 15-18 mm, 黑色或黑褐色, 具强烈光泽, 体表外观呈油状光泽; 前足胫节外齿 3 个, 这是与三者最显著的区别之一; 腹部臀板半圆形 (图 1: C, F)。其 *COI* 基因序列为 680 bp, 与古黑异丽金龟 *Anomala antiqua* 序列 (登录号: OR225987) 同源性 98.56%, 样品 3 与古黑异丽金龟参考序列聚为一支, 且该分支获得 100% 的 Bootstrap 支持率 (图 2: C)。

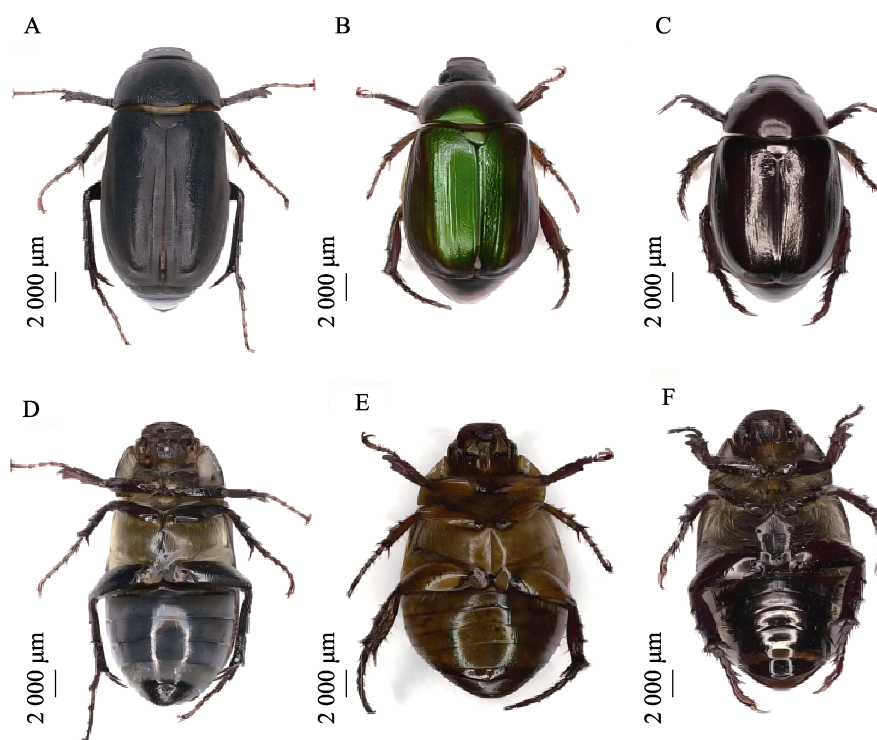


图 1 3 种金龟子背面、腹面图

Fig. 1 Illustrations of the dorsal and ventral views of three types of scarab beetles

A, D. 暗黑鳃金龟背面和腹面图; B, E. 铜绿丽金龟背面和腹面图; C, F. 古黑异丽金龟背面和腹面图。

A, D. Dorsal and ventral views of *Holotrichia parallela*; B, E. Dorsal and ventral views of *Anomala corpulenta*; C, F. Dorsal and ventral views of *Anomala antiqua*.

2.2 金龟子群落结构

3 年间共诱到 5 种金龟子, 分别是暗黑鳃金龟、铜绿丽金龟、古黑异丽金龟、白星花金龟 *Protaetia brevitaris* 和黄褐丽金龟 *Anomala exoleta*。其中, 暗黑鳃金龟的相对多度为

62.04%-65.01%, 铜绿丽金龟的相对多度为 28.99%-29.59%, 古黑异丽金龟的相对多度为 5.29%-8.58%, 白星花金龟和黄褐丽金龟的相对多度均低于 1% (表 1)。该地区暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟为优势种, 古黑异丽金龟为常见种, 白星花金龟和黄褐丽金龟为稀有种。

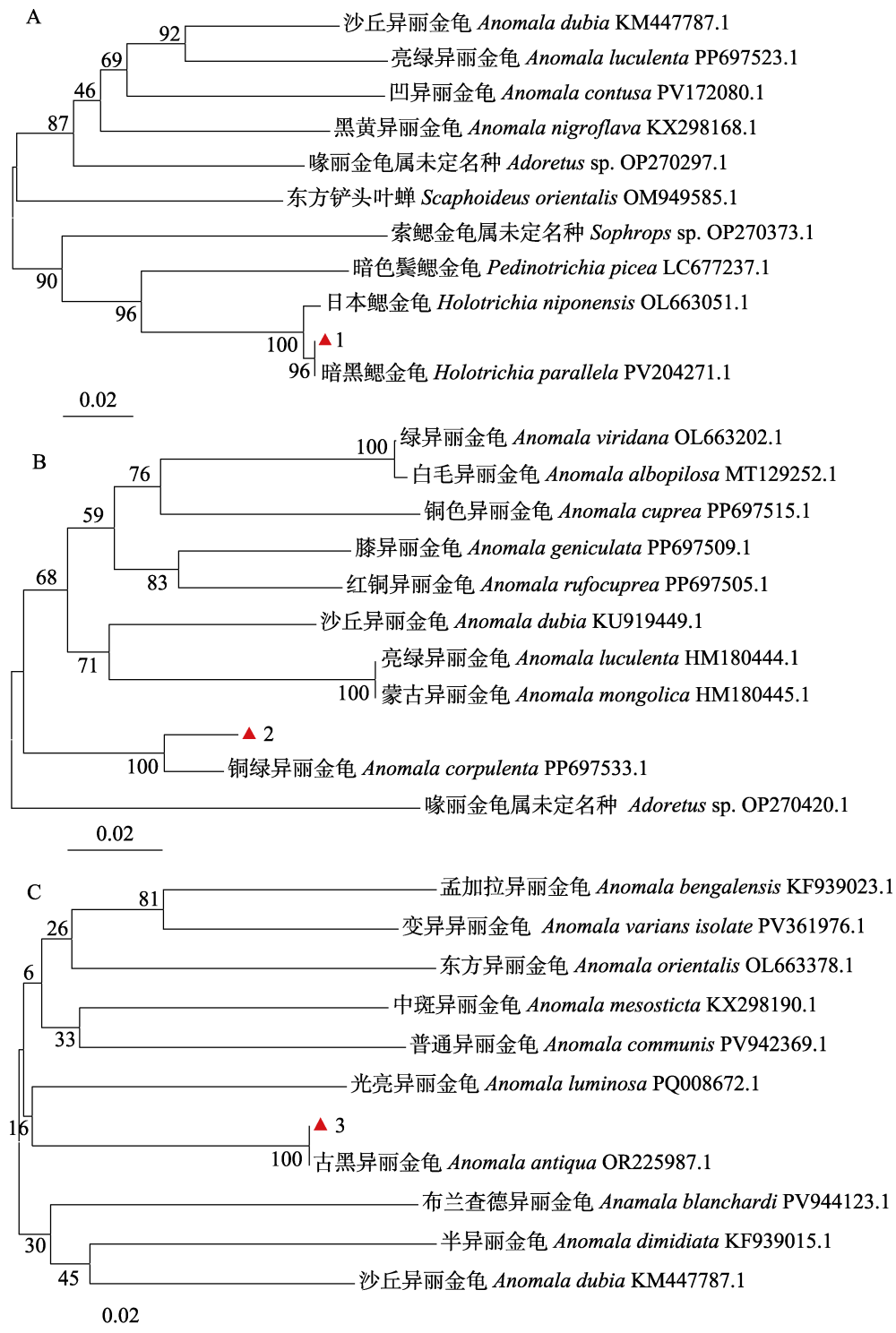


图 2 基于 CO I 序列构建的 3 种金龟子的系统发育树

Fig. 2 Phylogenetic tree of three scarab beetle species based on the CO I sequences

A. 暗黑鳃金龟; B. 铜绿丽金龟; C. 古黑异丽金龟。1: 暗黑鳃金龟; 2: 铜绿丽金龟;

3: 古黑异丽金龟。物种名后为 GenBank 登录号, 进化树分支上方展示了 Bootstrap 值。

A. *Holotrichia parallela*; B. *Anomala corpulenta*; C. *Anomala antiqua*. 1: *H. parallela*; 2: *A. corpulenta*; 3: *A. antiqua*.

GenBank accession numbers are provided after species names, and bootstrap values are shown above the branches of the phylogenetic tree.

表 1 2021-2023 年诱集金龟子的数量和相对多度指数

Table 1 Number and relative abundance of scarab beetles captured by searchlight traps from 2021 to 2023

物种 Species	2021		2022		2023	
	数量 (头) Numbers (ind.)	相对多度 (%) Relative abundance (%)	数量 (头) Numbers (ind.)	相对多度 (%) Relative abundance (%)	数量 (头) Numbers (ind.)	相对多度 (%) Relative abundance (%)
暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i>	12 841	62.04	10 793	64.95	9 281	65.01
铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	6 051	29.23	4 818	28.99	4 225	29.59
古黑异丽金龟 <i>Anomala antiqua</i>	1 777	8.58	983	5.92	755	5.29
白星花金龟 <i>Protaetia brevitarsis</i>	9	0.04	8	0.05	5	0.04
黄褐丽金龟 <i>Anomala exoleta</i>	21	0.10	16	0.10	11	0.08
总数 Total	20 699	—	16 618	—	14 277	—

—代表无数值。— means no data.

2.3 主要金龟子的种群动态

2.3.1 混合种群的消长动态 2021-2023 年金龟子混合种群的动态趋势高度一致,表现出明显的季节性变化特征。金龟子在 3 月初至 5 月中旬零星发生 (日均诱集量<10 头), 5 月底至 6 月初

种群数量开始逐渐上升,并于 6 月下旬达到年度峰值。年度间峰值存在差异,2022 年峰值诱虫量 4 016 头,高于 2021 年 (916 头) 和 2023 年 (1 441 头)。3 年的种群衰退期基本一致,7 月中旬以后诱虫量迅速下降,8 月至 10 月持续处于低水平 (图 3)。

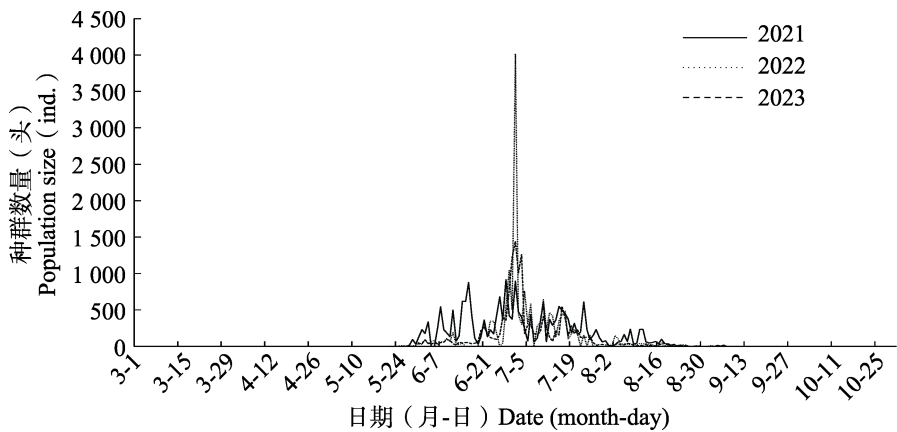


图 3 2021-2023 年金龟子混合种群动态

Fig. 3 Mixed population dynamics of scarabs in 2021-2023

2.3.2 主要种群的消长动态 暗黑鳃金龟始见虫日 2022 年最早,为 3 月 15 日,终见虫日 2021 年最晚,为 10 月 1 日;诱虫量高峰日集中在 6 月下旬至 7 月上旬,但不同年份间存在差异,2022 年峰日虫量最多,为 2 280 头,其次为 2023

年的 990 头,2021 年峰日虫量最低,为 891 头 (表 2)。3 年间,暗黑鳃金龟成虫数量呈下降趋势,从 2021 年的 12 841 头下降至 2023 年的 9 281 头;虫量高峰期为 6 月中旬至 8 月中旬 (图 4: A)。

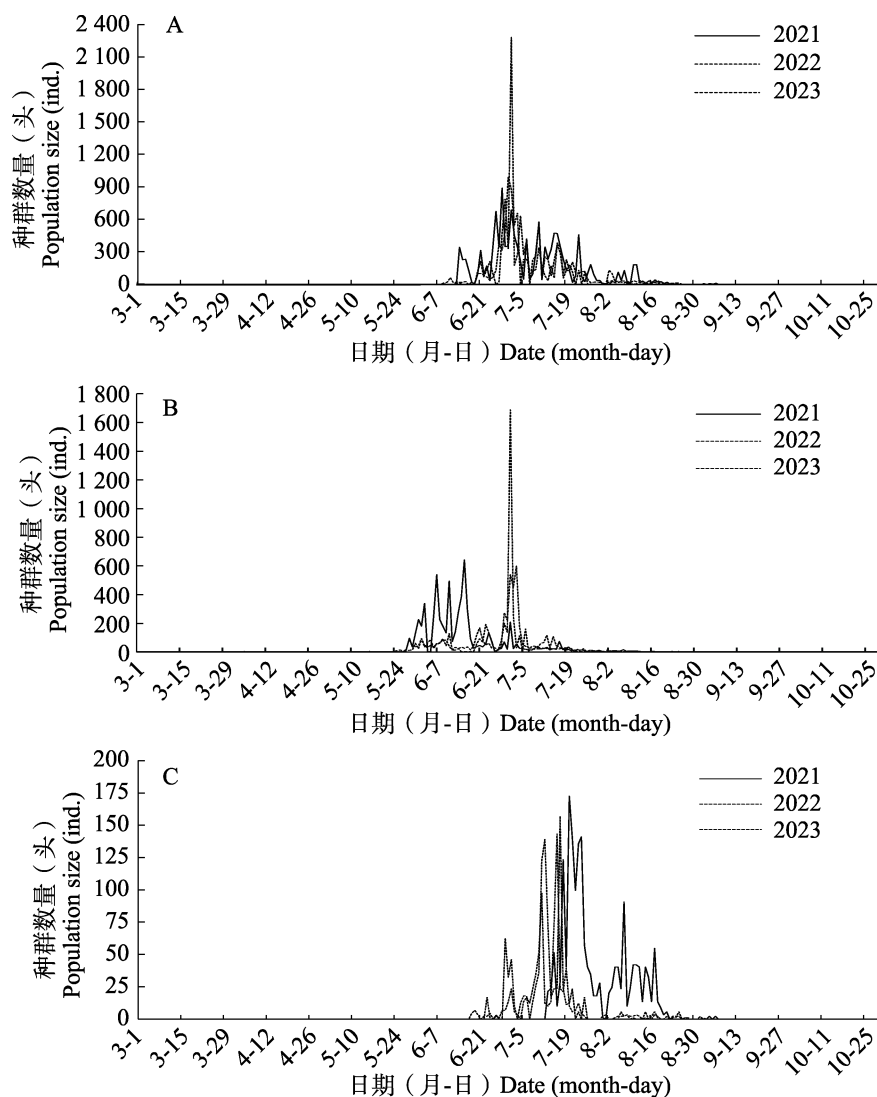


图 4 3 种金龟子的种群消长动态

Fig. 4 Population dynamics of three scarab beetles

A. 暗黑鳃金龟; B. 铜绿丽金龟; C. 古黑异丽金龟。

A. *Holotrichia parallela*; B. *Anomala corpulenta*; C. *Anomala antiqua*.

铜绿丽金龟始见虫日 2021 和 2023 年均出现在 5 月 16 日, 2022 年为 5 月 26 日, 终见虫日则以 2022 年最晚, 为 8 月 25 日; 峰日虫量存在明显的年际差异, 其中 2022 年峰日虫量最高, 达 1 689 头, 显著高于 2021 (642 头) 和 2023 年 (597 头) (表 2)。发生盛期方面, 2021 年始盛较早, 诱虫高峰期为 5 月下旬至 7 月下旬; 2022 和 2023 年的高峰期相对集中, 出现在 6 月下旬至 7 月中旬。年诱虫量呈持续下降趋势, 2021 年为 6 051 头, 2022 年降至 4 818 头, 2023 年进一步减少至 4 225 头 (表 2, 图 4: B)。

古黑异丽金龟始见虫日 2023 年最早 (6 月 18 日), 终见虫日 2021 年最晚 (9 月 6 日)。峰日虫量存在年际差异, 2021 年峰日虫量最高 (173 头), 2022 年次之 (157 头), 2023 年最低 (143 头) (表 2)。发生盛期方面, 2022 和 2023 年古黑异丽金龟集中于 6 月下旬至 7 月上旬, 而 2021 年相对较晚, 为 7 月中旬至 7 月下旬。与另外两种金龟子相似, 年诱虫量呈逐年下降趋势, 由 2021 年的 1 777 头降至 2023 年的 755 头 (图 4: C)。

综合 3 年监测数据, 3 种金龟子成虫发生

盛期存在一定的重叠。铜绿丽金龟盛期主要在 5 月下旬至 7 月下旬 (2021 年) 或 6 月下旬至 7 月中旬 (2022-2023 年), 暗黑鳃金龟盛期为 6 月中旬至 8 月中旬, 古黑异丽金龟盛期为 6 月下旬至 7 月上旬 (2022-2023 年) 或 7 月中旬至 7 月下旬 (2021 年) (图 4: A-C)。三

者的共同重叠区间为 6 月下旬至 7 月中旬(约 6 月 20 日-7 月 20 日)。在此区间内, 3 种金龟子种群数量均处于年度较高水平, 形成全年主要的叠加危害期。进一步分析表明, 6 月 28 日至 7 月 3 日为 3 种金龟子峰日虫量最集中的时段 (表 2)。

表 2 主要金龟子的见虫日、高峰日和峰日虫量

Table 2 Occurrence dates, peak date, and peak number of major scarab beetles

种类 Species	始见虫日 (月-日) First observation date (month-day)			终见虫日 (月-日) Last observation date (month-day)			高峰日 (月-日) Peak occurrence date (month-day)			峰日虫量 (头) Peak daily population (ind.)		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i>	3-17	3-15	3-28	9-21	10-1	9-12	6-28	7-1	6-30	891	2 280	990
铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	5-16	5-25	5-16	8-17	8-25	8-23	6-16	7-1	7-3	642	1 689	597
古黑异丽金龟 <i>Anomala antiqua</i>	6-26	6-23	6-18	9-16	9-1	9-2	7-20	7-1	7-16	173	143	143

2.4 诱虫量与气象因子的关系

基于 2021-2023 年 3 种主要金龟子的旬诱虫量, 与同期旬平均气温、旬平均最低气温、旬平均相对湿度、旬降水量及旬日照时数进行逐步回归分析。结果显示, 3 种金龟子对气象因子的响应存在种间差异。铜绿丽金龟成虫诱捕量受旬平均气温影响显著, 回归方程为 $Y = -507.803 + 33.721X$ ($F_{1,70} = 11.815$, $P = 0.001$)。暗黑鳃金龟与古黑异丽金龟的诱虫量均受旬平均最低气温显著显著, 回归方程分别为 $Y = -984.381 + 86.190X$ ($F_{1,70} = 23.685$, $P < 0.001$) 和 $Y = -114.836 + 9.787X$ ($F_{1,70} = 15.441$, $P < 0.001$)。其余气象因子 (旬平均相对湿度、旬降水量、旬日照时数等) 对诱虫量的影响均未达到显著水平 ($P > 0.05$)。

采用 Pearson 相关分析法, 分别分析铜绿丽金龟发生盛期 (5-7 月) 及暗黑鳃金龟、古黑异丽金龟发生盛期 (6-8 月) 的气象因子与各自时段诱虫量之间的相关性。结果表明, 暗黑鳃金龟发生盛期的诱虫量与降水量的相关系数在 2022 年为强正相关 ($r = 0.648$), 2023 年转为强负相关 ($r = -0.711$); 与日照时长的相关系数在 2021 年为极强正相关 ($r = 0.816$), 2022 ($r = -0.588$)

和 2023 年 ($r = -0.948$) 转为负相关; 与均温的相关系数在 2021 年为极强正相关 ($r = 0.999$), 2022 年中等负相关 ($r = -0.412$) (表 3)。

铜绿丽金龟发生盛期的诱虫量与均温、最高温、最低温在 2021-2023 年均呈正相关, 其中与最高温的相关系数由 2021 年的 0.594 逐年升至 2023 年的 0.992; 与降水量的相关性年际波动明显, 2021 年为强负相关 ($r = -0.864$), 2022 年为极强正相关 ($r = 0.967$), 2023 年为弱正相关 ($r = 0.283$); 与日照时长的相关性同样存在年际波动, 2021 年为强正相关 ($r = 0.648$), 2022 年为中等负相关 ($r = -0.533$), 2023 年为极强正相关 ($r = 0.900$) (表 4)。

古黑异丽金龟发生盛期的诱虫量与相对湿度在 3 年间均为正相关 (2021 年 $r = 0.786$, 2022 年 $r = 0.723$, 2023 年 $r = 0.407$); 与日照时长在 2022 ($r = -0.741$) 和 2023 年 ($r = -0.707$) 均为负相关; 与最低温在 3 年间均为正相关 (2021 年 $r = 0.945$, 2022 年 $r = 0.427$, 2023 年 $r = 0.700$); 与月降水量的相关系数年际差异较大, 2021 ($r = 0.529$) 和 2022 年 ($r = 0.791$) 为正相关, 2023 年为极强负相关 ($r = -0.950$) (表 5)。

表 3 6-8 月气候因子对暗黑鳃金龟发生量的影响

Table 3 Impact of climatic factors during June-August on *Holotrichia parallela* population dynamics

年 Year	关联度 Correlation degree					
	均温 (°C) Mean temperature (°C)	最高温 (°C) Maximum temperature (°C)	最低温 (°C) Minimum temperature (°C)	相对湿度 (%) Relative humidity (%)	降水量 (mm) Precipitation (mm)	日照时长 (h) Sunshine duration (h)
2021	0.999**	0.909	0.675	- 0.255	- 0.569	0.816
2022	- 0.412	- 0.198	0.233	0.566	0.648	- 0.588
2023	0.270	0.040	0.309	- 0.042	- 0.711	- 0.948

*和**分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上相关性显著 (皮尔逊相关系数分析, 双尾); 未标注*的相关系数均不显著。下表同。

* and ** indicate significant correlations at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels (Pearson correlation coefficient, two-tailed), respectively; Correlation coefficients without an asterisk are not significant. The same below.

表 4 5-7 月气候因子对铜绿丽金龟发生量的影响

Table 4 Impact of climatic factors during May-July on *Anomala corpulenta* population dynamics

年 Year	关联度 Correlation degree					
	均温 (°C) Mean temperature (°C)	最高温 (°C) Maximum temperature (°C)	最低温 (°C) Minimum temperature (°C)	相对湿度 (%) Relative humidity (%)	降水量 (mm) Precipitation (mm)	日照时长 (h) Sunshine duration (h)
2021	0.473	0.594	0.333	- 0.292	- 0.864	0.648
2022	0.862	0.767	0.952	0.700	0.967	- 0.533
2023	0.967	0.992	0.919	0.554	0.283	0.900

表 5 6-8 月气候因子对古黑异丽金龟发生量的影响

Table 5 Impact of climatic factors during June-August on *Anomala antiqua* population dynamics

年 Year	关联度 Correlation degree					
	均温 (°C) Mean temperature (°C)	最高温 (°C) Maximum temperature (°C)	最低温 (°C) Minimum temperature (°C)	相对湿度 (%) Relative humidity (%)	降水量 (mm) Precipitation (mm)	日照时长 (h) Sunshine duration (h)
2021	0.386	- 0.022	0.945	0.786	0.529	- 0.207
2022	- 0.590	- 0.395	0.427	0.723	0.791	- 0.741
2023	0.670	0.480	0.700	0.407	- 0.950	- 0.707

3 结论与讨论

科学有效的害虫防治策略建立在准确的物种鉴定基础之上 (Pedigo and Rice, 2009)。不同种类金龟子在生物学特性、生态习性 & 危害方式等方面存在显著差异, 这些差异直接决定了防治时机与方法的选择。在活动节律方面, 暗黑鳃

金龟和华北大黑鳃金龟 *Holotrichia obliqua* 等多在夜间活动, 表现出明显的趋光性 (许亚岚等, 2020); 而中华弧丽金龟 *Popillia quadriguttata* 和苹毛丽金龟 *Proagopertha lucidula* 则主要在白天活动, 对糖醋液具有强烈趋性 (Chen *et al.*, 2013; 阎雄飞等, 2023)。在危害方式上, 白星花金龟仅成虫阶段取食植物地上部分 (吴学三

等, 2021), 而毛黄鳃金龟 *Holotrichia trichophora* 则仅以幼虫形态危害作物根系 (魏鸿钧等, 1989)。这种显著的种间差异决定了必须采取分类治理的策略。不同地区金银花田金龟子优势种群存在明显差异。例如, 山东平邑以铜绿丽金龟和暗黑鳃金龟为主 (李霞等, 2023), 河南封丘以铜绿丽金龟为优势种 (任应党等, 2004), 河北巨鹿则主要以黑绒鳃金龟 *Maladera orientalis* 和黄褐丽金龟危害为主 (信兆爽, 2017; 安静杰等, 2023)。南阳金银花田共鉴定出暗黑鳃金龟、铜绿丽金龟、古黑异丽金龟、白星花金龟和黄褐丽金龟 5 种金龟子。这一鉴定结果为针对不同种类金龟子制定差异化防控策略提供了关键科学依据。暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟为该地区的优势种群, 这一结果与山东平邑的优势种组成较为接近, 但与河北巨鹿存在差异, 可能源于不同区域气候条件及种植模式的综合影响。

不同种类金龟子对气象因子的响应具有显著的种间差异 (梁超等, 2015; 闫会等, 2015), 这一特性对于制定针对性的预测预报策略具有重要意义。本研究发现, 铜绿丽金龟种群数量主要受旬平均气温影响, 表现出典型的喜温特性; 暗黑鳃金龟与古黑异丽金龟则主要受旬平均最低温影响。然而 Pearson 相关分析结果在年际间呈现明显的波动, 尤以降水与日照因子为甚, 这与巩中军等 (2024) 关于温度、湿度、降水组合效应与害虫活动期时效性耦合的结论一致。铜绿丽金龟与温度虽始终正相关, 但强度年际差异显著: 2022 年盛期 (5-7 月) 少雨高日照, 高温的促进作用充分体现; 2021 年盛期降水频繁, 物理冲刷部分抵消了温度效应, 相关系数偏低。暗黑鳃金龟对降水的响应在 2022 年为强正相关, 2023 年为强负相关。这种差异一方面是由于水热组合的无规律性影响显著, 土壤湿度过低或过高均抑制幼虫存活与成虫羽化 (冯晓洁等, 2017); 另一方面, 降水量对种群消长的影响与降水时期有关, 2022 年暗黑鳃金龟羽化高峰期前的 6 月下旬, 累计降水 51.1 mm, 土壤墒情改善利于成虫出土; 而 2023 年高峰期 (6 月底至 7 月初) 遭遇持续强降雨, 直接抑制了成虫活动。

古黑异丽金龟与相对湿度、日照时长的相关性较为稳定, 但 2023 年盛期亦受降水影响, 发生量较 2021 和 2022 年明显下降, 进一步印证降水时段分布对成虫活动的影响。综上, 在实际测报中应充分考虑不同物种的生态适应性差异, 实施差异化预测策略, 以提高测报准确性与防控精准度。

相较于土壤处理防治地下幼虫, 针对成虫的防控能直接减少田间落卵量, 从源头上控制下一代蛴螬的发生基数, 实现更高的防控效率 (张美翠等, 2014)。本研究发现, 尽管 3 种金龟子成虫的发生时序存在差异, 但其发生盛期在 6 月下旬至 7 月中旬 (约 6 月 20 日-7 月 20 日) 形成重叠, 其中 6 月 28 日至 7 月 3 日是 3 种金龟子峰日虫量最集中的时段, 在此期间暗黑鳃金龟、铜绿丽金龟和古黑异丽金龟的种群数量均处于年度高位, 是防控的关键时期。更重要的是, 这一发生规律与金银花物候期形成战略性错位: 5 月的头茬花作为核心产量形成期 (占全年总产的 55%-60%) 恰逢成虫低发期, 而成虫危害盛期主要与第 2、3 茬花期重叠。这种物候错位为实施精准防控提供了关键的时间窗口。基于作物-害虫物候匹配原理 (景天忠等, 2022), 本研究提出分阶段的链式治理策略: 第 1 阶段 (3 月下旬至 4 月) 针对暗黑鳃金龟始见期, 采用灯光与糖醋液诱杀 (陈琦等, 2020) 等物理防控手段, 旨在压低越冬代成虫基数, 减少初始产卵量; 第 2 阶段 (头茬花采收后的 5 月底起) 则利用金银花主要产量已形成的有利时机, 在严格遵守安全间隔期的前提下, 选用高效低毒化学或生物农药进行冠层喷雾, 此阶段防控既能保护叶片光合功能以保障后续花产量, 又能持续抑制成虫产卵, 实现“压成虫、控卵量、减蛴螬”的链式治理目标。该策略充分考虑金银花产量形成特性 (刘天亮等, 2021), 后三茬花产量与品质逐级递减, 至第 4 茬花已基本丧失采收价值。因此, 将防控资源集中于关键物候期, 既可有效保护主要经济产量, 又能最大限度减少农药使用。这种基于生态位点调控的防控思路, 不仅体现了害虫综合治理的精髓, 更为南阳地区金银花产业的

绿色可持续发展提供了兼具科学性和可操作性的技术路径。

参考文献 (References)

- An JJ, Song J, Guo JL, Dang ZH, Gao ZL, Li YF, 2023. Differences in insecticide sensitivity between adults and larvae of *Maladera orientalis* Motschulsky in honeysuckle field and screening of biological agents. *Plant Protection*, 49(6): 332–337. [安静杰, 宋健, 郭江龙, 党志红, 高占林, 李耀发, 2023. 金银花田东方绢金龟成虫和幼虫药剂敏感性差异及生物农药筛选. 植物保护, 49(6): 332–337.]
- Chen L, Chen Q, Hou YH, Liu D, Gong ZJ, Du MY, Wang WH, Shen HL, Fan ZY, Li SM, Duan Y, 2025. Population dynamics analysis of peanut scarabs by light trapping in Luohe, Henan Province. *Plant Protection*, 51(3): 318–324, 353. [陈莉, 陈琦, 侯艳红, 刘迪, 巩中军, 杜梦园, 王文豪, 沈海龙, 范志业, 李世民, 段云, 2025. 河南省漯河地区花生田金龟子灯诱种群数量动态分析. 植物保护, 51(3): 318–324, 353.]
- Chen Q, Zhang YD, Fan ZY, Liu D, Shen HL, Hou YH, Chen L, Duan Y, Huang JR, Li SM, 2020. Trapped effects of two lights on the scarab (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 193–198. [陈琦, 张运栋, 范志业, 刘迪, 沈海龙, 侯艳红, 陈莉, 段云, 黄建荣, 李世民, 2020. 两种光源对金龟子的诱捕效果. 环境昆虫学报, 42(1): 193–198.]
- Chen RZ, Klein MG, Sheng CF, Li Y, Li QY, 2013. Male and female *Popillia quadriguttata* (Fabricius) and *Protaetia brevitarsis* (Lewis) (Coleoptera: Scarabaeidae) response to Japanese beetle floral and pheromone lures. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 16(4): 479–484.
- Dang ZH, Li YF, Gao ZL, Pan WL, 2009. Influence of soil moisture on growth and development of *Holotrichia oblita*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(1): 135–138. [党志红, 李耀发, 高占林, 潘文亮, 2009. 土壤含水量对华北大黑鳃金龟生长发育的影响. 昆虫知识, 46(1): 135–138.]
- Evans JD, 1996. Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Pub. Co. 138–173.
- Feng XJ, Xi GC, Liu FS, Wu Y, Liu CQ, Wang QL, 2017. Effects of temperature, soil water content and food on the survival and development of *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 60(8): 920–926. [冯晓洁, 席国成, 刘福顺, 吴娱, 刘春琴, 王庆雷, 2017. 温湿度和食物对暗黑鳃金龟幼虫存活及生长发育的影响. 昆虫学报, 60(8): 920–926.]
- Fu ZH, Yin J, Duan KY, Lu F, Yi CH, Liu Q, He QJ, 2025. Molecular identification of *Eupatorius* spp. (Insecta) in the Gaoligong Mountain Region. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 40(3): 28–35. [付忠洪, 尹晶, 段可怡, 卢斐, 易传辉, 柳青, 和秋菊, 2025. 高黎贡山地区尤犀金龟属昆虫物种分子鉴定. 云南农业大学学报(自然科学), 40(3): 28–35.]
- Gong ZJ, Duan Y, Zhang J, Li HL, Jiang YL, Guo P, Zhang ZQ, Li T, Miao J, Wu YQ, 2024. Population dynamics and influencing factors of underground pests in Xinxiang, Henan Province. *Journal of Environmental Entomology*, 46(1): 116–126. [巩中军, 段云, 张晶, 李慧玲, 蒋月丽, 郭培, 张自启, 李彤, 苗进, 武予清, 2024. 河南省新乡地区金龟甲发生动态及影响因子分析. 环境昆虫学报, 46(1): 116–126.]
- He ML, Cai YF, Wu DH, Su F, Wan QL, Wang ZH, Chen XC, Wu YF, Qiao K, Cai H, 2023. Identification of main vector insects of the phytoplasma based on mitochondrial COI gene and morphological characteristics. *Plant Protection*, 49(1): 262–270. [何孟兰, 蔡银枫, 吴道慧, 苏帆, 万琼莲, 王柱华, 陈相聪, 吴艳芬, 乔开, 蔡红, 2023. 基于线粒体 COI 基因及形态特征的喜树丛枝植原体主要媒介昆虫种类鉴定. 植物保护, 49(1): 262–270.]
- Jing TZ, Liu LP, Xie YL, 2022. A review on insect phenology models. *Journal of Environmental Entomology*, 44(3): 606–616. [景天忠, 刘丽萍, 谢雨龙, 2022. 昆虫物候模型研究进展. 环境昆虫学报, 44(3): 606–616.]
- Li SJ, Liu AZ, Wu YQ, Luo JR, Yin HE, 2003. Distribution, damage characteristics and integrated control technologies of major Scarabaeidae (white grubs) species in Henan Province (part I). *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 32(4): 16–18. [李素娟, 刘爱芝, 武予清, 罗金荣, 殷花娥, 2003. 河南省主要金龟子(蛴螬)种类分布、危害特点及综合防治技术(一). 河南农业科学, 32(4): 16–18.]
- Li X, Yu Y, Song ZQ, Men XY, Cui HY, Li LL, Song YY, Wang JH, Guo WX, 2023. Species investigation of grubs in honeysuckle fields in Pingyi, Shandong Province. *Shandong Agricultural Sciences*, 55(3): 142–147. [李霞, 于毅, 宋振巧, 门兴元, 崔洪莹, 李丽莉, 宋莹莹, 王建华, 郭文秀, 2023. 山东平邑地区金银花田蛴螬的种类调查. 山东农业科学, 55(3): 142–147.]
- Li XQ, Chen C, Wen YD, Guo XX, Shi YQ, 2010. Effects of the climate factors on the occurrence of scarab beetles. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 38(27): 15012–15013. [李兴权, 陈川, 文耀东, 郭小侠, 石勇强, 2010. 气候因素对金龟子发生的影响. 安徽农业科学, 38(27): 15012–15013.]
- Liang C, Guo W, Lu XJ, Li RJ, Yu HH, Wang W, Zhao D, Xu DQ, 2015. The annual occurrence dynamics and its influencing

- factors of *Holotrichia oblita* (Faldermann) adults. *Plant Protection*, 41(3): 169–172, 177. [梁超, 郭巍, 陆秀君, 李瑞军, 于浩海, 王伟, 赵丹, 徐大庆, 2015. 华北大黑鳃金龟成虫周年发生动态及影响因素分析. 植物保护, 41(3): 169–172, 177.]
- Liu TL, Yang LL, Dong CM, Gao QG, Qi DM, Xu XL, Li JH, 2021. Study on the fingerprint and composition changes of *Lonicerae japonicae* Flos at different harvest periods. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 44(10): 2358–2362. [刘天亮, 杨林林, 董诚明, 高启国, 齐大明, 徐晓丽, 李江华, 2021. 金银花不同采收期指纹图谱及成分变化情况研究. 中药材, 44(10): 2358–2362.]
- Lu YY, Ding Q, Yang XK, Bai M, 2023. Advances in taxonomy of Chinese Rutelinae. *Journal of Environmental Entomology*, 45(3): 611–619. [路园园, 丁强, 杨星科, 白明, 2023. 中国丽金龟亚科昆虫分类学研究进展. 环境昆虫学报, 45(3): 611–619.]
- Ma WZ, 1995. Economic Insect Fauna of China. Beijing: Science Press. 32–162. [马文珍, 1995. 中国经济昆虫志. 北京: 科学出版社. 32–162.]
- Pedigo LP, Rice ME, 2009. Entomology and Pest Management. 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. 45–46.
- Ren YD, Liu YX, Shen XC, Liu HY, Wang F, Zhou LY, Li DP, Jiang QA, 2004. Main pests and control methods of honeysuckle. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 33(9): 66–68. [任应党, 刘玉霞, 申效诚, 刘红彦, 王飞, 周凌云, 李德平, 蒋其鳌, 2004. 金银花主要害虫及防治. 河南农业科学, 33(9): 66–68.]
- Shang XK, Huang CH, Pan XH, Wei JL, Yang ZW, Chen JX, 2017. Species composition and occurrence dynamics of scarabs under light traps in Beihai sugarcane area of Guangxi. *Journal of Plant Protection*, 44(4): 693–694. [商显坤, 黄诚华, 潘雪红, 魏吉利, 杨忠伟, 陈家翔, 2017. 广西北海蔗区灯下金龟子种类组成及发生动态. 植物保护学报, 44(4): 693–694.]
- Wei HJ, Zhang ZL, Wang YC, 1989. Soil Insect Pests of China. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. 1–482. [魏鸿钧, 张治良, 王荫长, 1989. 中国地下害虫. 上海: 上海科学技术出版社. 1–482.]
- Wu CF, Ma XM, 2012. Present situation and countermeasures to control pests and diseases of *Lonicera japonica* in Henan. *Hubei Agricultural Sciences*, 51(13): 2732–2735. [吴朝峰, 马雪梅, 2012. 河南金银花病虫害防治现状及对策. 湖北农业科学, 51(13): 2732–2735.]
- Wu XS, Guo F, Tian H, Jiang L, Yang YT, Chen WL, 2021. Orientation behavior of *Protaetia brevitarsis* to nine plants. *Plant Protection*, 47(6): 141–147. [吴学三, 郭峰, 田翊, 姜霖, 杨玉婷, 陈文龙, 2021. 白星花金龟对 9 种植物的趋避行为. 植物保护, 47(6): 141–147.]
- Xin ZS, 2017. Occurrence regularity and pollution-free control techniques of scarab beetles in *Lonicera japonica* fields in Julu County. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2017(5): 39. [信兆爽, 2017. 巨鹿县金银花田金龟子发生规律及无公害防治技术. 现代农村科技, 2017(5): 39.]
- Xu YL, Pan HS, Liang GM, Yang YZ, Lu YH, 2020. Field evaluation of light-emitting diodes with different wavelengths as traps of *Anomala corpulenta* and *Holotrichia parallela*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 57(11): 2028–2033. [许亚岚, 潘洪生, 梁革梅, 杨益众, 陆宴辉, 2020. 不同波长 LED 灯对铜绿丽金龟和暗黑鳃金龟的田间诱捕效果. 新疆农业科学, 57(11): 2028–2033.]
- Yan H, Xue C, Zhang YG, Ma DF, Li Q, 2015. Species and occurrence of scarab in sweet potato growing areas of Xuzhou, Jiangsu. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(7): 128–129, 233. [闫会, 薛程, 张允刚, 马代夫, 李强, 2015. 江苏徐州甘薯种植区金龟子种类调查及发生趋势初探. 江苏农业科学, 43(7): 128–129, 233.]
- Yan XF, Bai XR, Yang T, Liu YH, Li G, 2023. Trapping effect of different attractants and traps on *Proagopertha lucidula*. *Plant Protection*, 49(6): 317–322. [闫雄飞, 白晓蕊, 杨涛, 刘永华, 李刚, 2023. 不同引诱剂与诱捕器对苹毛丽金龟的诱集效果. 植物保护, 49(6): 317–322.]
- Zhang MC, Yin J, Li KB, Cao YZ, Wu JX, 2014. Research progress on the occurrences of white grub and its control. *China Plant Protection*, 34(10): 20–28. [张美翠, 尹姣, 李克斌, 曹雅忠, 仵均祥, 2014. 地下害虫蛴螬的发生与防治研究进展. 中国植保导刊, 34(10): 20–28.]
- Zhou HX, Tan XM, Li CY, Zheng GL, Li GX, 2009. Effect of nourishment and humidity on the development and reproduction of *Holotrichia oblita*. *Acta Agriculture Boreali-sinica*, 24(4): 201–204. [周洪旭, 谭秀梅, 李长友, 郑桂玲, 李国勋, 2009. 营养和湿度对华北大黑鳃金龟生长发育和生殖的影响. 华北农学报, 24(4): 201–204.]
- Zhou XY, Zhao SY, Yan R, Xiao RX, Wu KM, 2020. Study on the community structure of nocturnal aerial insects in Southern Hainan Province. *Journal of Environmental Entomology*, 42(3): 638–659. [周先涌, 赵胜园, 闫冉, 肖日新, 吴孔明, 2020. 海南南部夜间空中昆虫群落结构研究. 环境昆虫学报, 42(3): 638–659.]