

异迟眼蕈蚊在不同植物上的生长发育 及种群参数*

张艳霞** 郭苏帆 刘长仲***

(甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070)

摘 要 【目的】异迟眼蕈蚊 *Bradysia difformis* Frey 的幼虫取食为害作物的地下部分, 影响作物的品质, 为了明确韭菜、蚕豆、生菜、白菜和甘蓝 5 种植物对异迟眼蕈蚊生长发育以及繁殖的影响。【方法】本试验采用室内人工饲养测定的方法, 研究了 5 种不同植物对异迟眼蕈蚊生长发育, 繁殖力和存活率的影响, 并统计了其对应迟眼蕈蚊种群参数的影响。【结果】结果表明: 卵到蛹的发育历期依次为甘蓝、白菜、韭菜、生菜、蚕豆; 5 种植物对雌雄虫寿命影响不显著, 对雌虫产卵量以及蛹重均有影响, 其中在韭菜上的产卵量最大, 甘蓝最少, 在韭菜上蛹最重, 生菜上蛹最轻; 异迟眼蕈蚊的存活率随着生长发育降低, 总体在韭菜上的存活率高于其他寄主植物, 在生菜上的存活率均最低。统计分析不同植物对异迟眼蕈蚊种群参数的影响, 净增殖率和内禀增长率在韭菜上最大而在甘蓝上最小; 平均世代周期在蚕豆上最短, 甘蓝上最长; 种群加倍时间在韭菜上最短, 而在甘蓝上最长。【结论】由此可知, 异迟眼蕈蚊均可以在韭菜, 蚕豆, 生菜, 白菜和甘蓝上完成生长发育及繁殖, 其对 5 种植物的适应性依次为: 韭菜、蚕豆、白菜、甘蓝和生菜。**关键词** 异迟眼蕈蚊, 植物, 发育历期, 存活率, 种群动态参数

Population dynamics of *Bradysia difformis* Frey on different host plants

ZHANG Yan-Xia** GUO Su-Fan LIU Chang-Zhong***

(Gansu Agricultural University, College of Plant Protection, Lanzhou 730070, China)

Abstract [Objectives] To clarify the growth, development and reproductive rhythm of *Bradysia difformis* Frey on Chinese chives, broad beans, lettuce, chinese cabbage and wild cabbage. [Methods] *B. difformis* damages the underground parts of economic crops, which causes heavily losses of growing production. Experiments were conducted in an artificial climate chamber where *B. difformis* larvae were raised on different host plants and their growth, development and reproductive rhythm were measured to calculate population dynamics parameters. [Results] The developmental duration from egg to pupa was longest on wild cabbage, followed by Chinese cabbage, Chinese chives and lettuce, and shortest on broad bean. There was no significant difference in the longevity of females and males on different plants, but different plants had a significant effect on the average number of eggs per female and pupal weight. The maximum and minimum number of eggs laid per female were on leeks and wild cabbage, respectively. Pupae were heaviest on Chinese chives, the lightest on lettuce. The survival rates of *B. difformis* decreased with development, the survival rate of each instar was highest on leeks, and lowest on lettuce. Net reproductive rate (R_0) and intrinsic rate of increase (r_m) were highest on Chinese chives and lowest on wild cabbage. Mean generation time (T) as shortest on broad beans and longest on Wild cabbage. Population doubling time (t) was shortest on Chinese chive and longest on Wild cabbage. [Conclusion] Although *B. difformis* could complete its growth and reproduce on all five plants tested, these can be ranked in descending order of suitability as follows: Chinese chive, then broad bean, Chinese cabbage, wild cabbage, lettuce.

Key words *Bradysia difformis* Frey, plant, developmental duration, survival rate, parameters of population dynamics

*资助项目 Supported projects: 公益性行业(农业)科研专项

**第一作者 First author, E-mail: zhangyanxia303@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-11-01, 接受日期 Accepted: 2016-11-10

异迟眼蕈蚊 *Bradysia difformis* Frey 是一种为害药用菌、食用菌以及温室作物、苗圃花卉等的重要经济害虫 (White *et al.*, 2000; Menzel *et al.*, 2003)。2009 年, 异迟眼蕈蚊在我国云南省食用菌眼蕈蚊调查首次被发现并记录 (沈登荣等, 2009), 该虫适应性强, 主要以幼虫钻蛀到菌料中取食菌丝体或钻蛀到菇蕾或子实体中, 取食后受害部位呈海绵状, 并留下粉状淡黄色粪粒, 同时还可传播病害、线虫以及螨类, 从而造成生产中的严重减产及经济损失 (张宏瑞等, 2008; 沈登荣等, 2009)。近年来, 对异迟眼蕈蚊的研究国内主要集中在生物学特性以及田间防治方面 (张宏瑞等, 2008; 张爽等, 2014; 李玉红, 2015; 刘倩, 2015), 国外主要有基因遗传以及分子特性的研究 (Hurley *et al.*, 2010; Shin, 2013)。

甘肃省蔬菜产业发展迅速, 由传统方式向多元化种植模式发展, 如塑料大棚以及设施节能日光温室发展迅速, 确保了蔬菜周年上市, 极大的满足了人们的需求, 其中韭菜、白菜、甘蓝等蔬菜种植面积广, 且种植较为集中 (王晓巍, 2009; 韩瑜等, 2014), 一旦有害虫暴发, 容易造成严重损失。田间调查发现异迟眼蕈蚊常常与韭菜迟眼蕈蚊混合发生, 它们除了危害韭菜地下部分, 造成地上部分萎蔫、皱缩, 从而影响韭菜产量与品质之外, 幼虫还可取食蚕豆、生菜、白菜以及甘蓝根部, 影响蔬菜的生长, 致使蔬菜品质下降, 产量降低。已有相关研究表明韭菜迟眼蕈蚊可危害百合科 (韭菜、葱、蒜和百合), 十字花科 (萝卜、油菜和白菜) 以及菊科 (苦菊、芥蓝和生菜) 等多科 10 多种蔬菜的地下部分 (Hurley *et al.*, 2010; 张鹏等, 2015)。异迟眼蕈蚊取食豆科、菊科以及十字花科等蔬菜的根部是否可以完成其完整的世代周期尚未见报道, 本试验选取 5 种在甘肃省内种植面积较大的蔬菜种类, 研究异迟眼蕈蚊在不同植物上生长发育、存活率、雌雄虫寿命、产卵量, 计算其种群参数, 旨在明确异迟眼蕈蚊在不同植物上的生长发育规律, 以及对不同植物的适应性, 为异迟眼蕈蚊的预测预报提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及供试食料

供试虫源: 于 2013 年 4 月采集于甘谷县韭菜田的异迟眼蕈蚊, 通过实验室室内滤纸保湿培养法进行人工饲养扩繁, 为室内试验种群。

供试食料: 将韭菜, 蚕豆, 生菜, 白菜和甘蓝在室内盆栽种植, 2 个月后取其地下部分作为食料。

1.2 试验方法

1.2.1 供试虫源的处理 从室内种群中选取健康的雌雄成虫交配, 从卵开始, 分别以韭菜, 蚕豆, 生菜白菜和甘蓝的根部均切成 2~3 mm 的切段分别连续饲喂 2 代, 取第 2 代成虫所产的卵进行试验。室内人工气候培养箱 (宁波江南仪器) 保持温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $75\% \pm 1\%$, 黑暗条件下饲养幼虫, 成虫放于 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, RH $75\% \pm 1\%$, L:D=16:8, 弱光条件下交配产卵。

1.2.2 不同植物对异迟眼蕈蚊生长发育、存活率、产卵量、成虫寿命及蛹重的测定 采用培养皿内滤纸保湿的方法测定, 取异迟眼蕈蚊第 2 代雌虫 12 h 内所产的卵, 在体视解剖镜下选取 90 粒卵 (以卵透明, 表面平滑有光泽为健康), 每粒卵为一组, 置于上下铺有 2 层保湿滤纸的培养皿 ($d=9\text{ cm}$) 中, 分别以韭菜假茎, 蚕豆、生菜、白菜、甘蓝 5 种不同植物的根切段为饲料饲养。将处理置于人工气候培养箱中, 每日 8:30 和 20:30 两次定时观察其发育情况, 记录卵的孵化率, 幼虫的发育龄期, 蛹的历期以及各历期的死亡率, 按时添加新鲜食料, 并保持培养皿中滤纸的湿度。待有蛹羽化成成虫时, 将相同处理中同一时间段羽化的成虫, 按雌:雄=1:1 进行配对, 在相同的温湿度和弱光条件下, 放在铺有 3 层湿润保湿滤纸的透明塑料瓶中, 无需添加食料, 待其完全产卵后 (产卵完成后雌虫死亡), 取出塑料瓶中的卵, 并在解剖镜下观察并记录雌虫的产卵数量。每种植物上测定 20 对成虫的产卵量。

在相同的温湿度和弱光条件下, 将相同处理

下羽化的部分雌雄成虫(未交配),分别置于铺有湿润保湿滤纸的透明塑料瓶中,无需添加食料,每日定时两次观察其活动状况,并记录其生命长短。每个处理测定 20 头不同性别的成虫寿命。取 15 头化蛹 1~2 d 的蛹在千分之一的电子天平称重并记录。

1.3 数据计算及分析方法

根据实验数据组建不同植物对异迟眼蕈蚊影响的种群生命表,计算种群参数(韩秀楠等, 2012)。

净增殖率: $R_0 = \sum l_x m_x$; 平均世代周期: $T = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x$; 内禀增长率: $r_m = \ln R_0 / T$
周限增长率: $\lambda = e^{r_m}$; 种群加倍时间: $t = \ln 2 / r_m$ 。其中 x 为时间间隔(d), l_x 为在 x 期开始时的雌虫存活率, m_x 为在 x 期间内每头雌虫繁殖的雌虫后代个数。

试验数据利用 Excel 2007 整理数据, SPSS17.0 进行数据进行单因素方差分析和 Duncan's 新复极差法比较各虫态间发育历期及产卵量之间的差异性(唐起义和冯光明, 2002)。

2 结果与分析

2.1 不同植物对异迟眼蕈蚊发育历期的影响

异迟眼蕈蚊在不同供试植物上发育历期如

表 1 所示。卵在韭菜上的历期为 3.08 d 短于其余 4 种植物,且差异显著,蚕豆上的历期为 3.43 d,生菜上 3.93 d,两者差异不显著;白菜上为 3.34 d,甘蓝 3.32 d,差异不显著($df=4, P<0.05$);不同植物上幼虫的发育历期甘蓝 16.89 d 为最长,其次是白菜为 15.78 d,韭菜为 15.12 d,生菜为 14.89 d,在蚕豆上最短为 13.66 d,其中白菜和甘蓝之间差异不显著,蚕豆与生菜之间差异不显著,韭菜与蚕豆之间差异显著($df=4, P<0.05$);蛹在甘蓝上的历期为 4.55 d,与韭菜 2.67 d、蚕豆 2.95 d、生菜 3.08 d 和白菜 3.42 d 上的历期比较,差异显著,而韭菜、蚕豆和生菜之间差异不显著($df=4, P<0.05$);卵到蛹的发育历期由长到短为甘蓝 23.45 d,白菜 23.14 d,韭菜 21.38 d,生菜 20.02 d,蚕豆 19.26 d,甘蓝和白菜之间差异不显著,蚕豆与生菜之间差异不显著($df=4, P<0.05$);由此可知,异迟眼蕈蚊在 5 种不同植物上均能完成生长发育,且不同植物对其发育历期有影响。

2.2 供试植物对异迟眼蕈蚊雌雄虫寿命及产卵量的影响

不同植物对异迟眼蕈蚊成虫寿命和单雌产卵量的影响如表 2 所示。5 种植物对异迟眼蕈蚊雌雄虫寿命影响差异不显著,在不同供试植物中雄虫的寿命总体长于雌虫的寿命;不同的植物对

表 1 不同植物对异迟眼蕈蚊发育历期的影响
Table 1 Effect of different plants on the duration of *Bradysia difformis*

不同植物 Host plant	卵期 Egg duration (d)	幼虫期 Larval duration (d)					蛹期 Pupa Duration (d)	卵-蛹 Egg-pupa (d)
		1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	幼虫期 Larval duration		
韭菜 Chinese chive	3.08±0.54a	4.35±1.07ab	2.83±0.68c	3.69±0.81b	3.88±0.81ab	15.12±0.97b	2.67±0.10c	21.38±1.62b
蚕豆 Broad bean	3.43±0.78b	4.08±0.75b	3.37±1.07ab	2.86±0.80c	2.56±0.86c	13.66±0.96c	2.95±0.16bc	19.26±1.28c
生菜 Lettuce	3.39±0.55b	4.54±0.90a	3.02±0.76bc	3.50±0.77b	3.61±0.85b	14.89±1.09bc	3.08±0.13bc	20.02±2.00c
白菜 Chinese cabbage	3.34±0.98c	4.44±0.84ab	3.64±0.96b	3.65±0.75b	3.40±1.07b	15.78±0.73ab	3.42±0.11b	23.14±2.80a
甘蓝 Wild cabbage	3.32±0.58c	4.37±0.97ab	4.02±0.98a	4.25±1.03a	4.30±1.27a	16.89±1.14a	4.55±0.24a	23.45±2.16a

表中同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Data followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表 2 不同植物对异迟眼蕈蚊寿命、产卵量和蛹重的影响

Table 2 Effects of host plants on longevity, fecundity and pupal weight of *Bradysia difformis*

不同植物 Host plant	寿命 Longevity (d)		单雌产卵量 (粒) Average number of eggs per female	蛹重 (g) Pupa weight
	雌虫 Female	雄虫 Male		
韭菜 Chinese chive	2.67±0.61a	3.33±0.72a	91.60±3.79a	0.0011±0.0002a
蚕豆 Broad bean	2.53±0.74a	3.40±0.63a	78.07±3.41b	0.0010±0.0002ab
生菜 Lettuce	2.60±0.63a	3.27±0.70a	64.13±5.04c	0.0008±0.0001c
白菜 Chinese cabbage	2.59±0.64a	3.43±0.83a	63.73±4.63c	0.0009±0.0001bc
甘蓝 Wild cabbage	2.61±0.61a	3.06±0.59a	60.67±2.53c	0.0009±0.0002bc

雌虫产卵量有影响,其中在韭菜上的单雌产卵量最大,为 91.6 粒,其次是蚕豆 78.07 粒,生菜 64.13 粒,白菜 63.73 粒,甘蓝 60.67 粒,蚕豆上的产卵量与韭菜、生菜、白菜和甘蓝差异显著,生菜、白菜和甘蓝之间差异不显著 ($df = 4, P < 0.05$)。供试植物不同,异迟眼蕈蚊的蛹重有差异,其中韭菜上的蛹重最大为 0.0011 g,其次为蚕豆 0.0010 g,二者之间差异不显著 ($df = 4, P < 0.05$);取食生菜的蛹的质量最小为 0.0008 g,与韭菜和蚕豆相较差异显著;白菜与甘蓝之间蛹重差异不显著 ($df = 4, P < 0.05$)。

2.3 不同植物对异迟眼蕈蚊存活曲线的影响

不同植物对异迟眼蕈蚊的存活率影响如图 1。异迟眼蕈蚊在韭菜上的存活率高于其他植物,在生菜上的存活率最低;卵的存活率在蚕豆上为 90%,在其他几种植物上均达到 100%,幼虫在几种植物上的存活率下降显著;蛹和成虫在韭菜上存活率下降不明显,在蚕豆、生菜和甘蓝上存活率下降明显;蛹的存活率在白菜上降低幅度最明显。

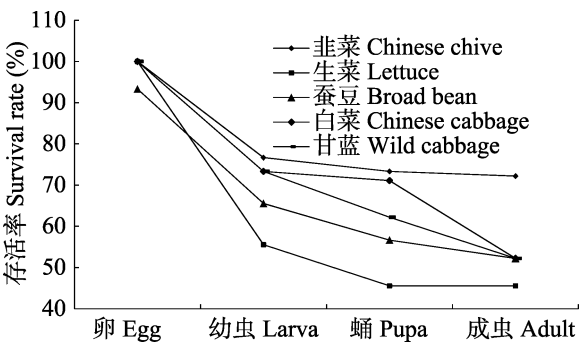


图 1 不同植物对异迟眼蕈蚊存活率的影响

Fig. 1 Survival curves of *Bradysia difformis* on different plants

2.4 不同植物对异迟眼蕈蚊生命参数的影响

不同植物对异迟眼蕈蚊种群参数的影响如表 3。净增殖率由大到小依次是韭菜 42.46、蚕豆 28.62、白菜 26.91、生菜 22.80 和甘蓝 18.95,韭菜与其余 4 种植物差异显著,蚕豆、生菜、白菜和甘蓝之间差异不显著 ($df = 4, P < 0.05$);平均世代周期在蚕豆上最短,甘蓝上最长,在韭菜、蚕豆、生菜之间差异不显著,白菜和甘蓝之间差异不显著 ($df = 4, P < 0.05$);内禀增长率

表 3 不同植物对异迟眼蕈蚊试验种群生命参数的影响

Table 3 Life parameters of experimental populations of *Bradysia difformis* on different host plants

不同植物 Host plant	净增殖率 R_0 Net reproductive rate	平均世代周期 T Mean generation time	内禀增长率 r_m Intrinsic rate of increase	周限增长率 λ Finite rate of increase	种群加倍时间 t Population doubling
韭菜 Chinese chive	42.46±3.09a	20.78±0.83b	0.17±0.02a	1.18±0.01ab	4.12±0.26c
蚕豆 Broad bean	28.62±6.88b	19.56±0.29b	0.16±0.01ab	1.19±0.01a	4.17±0.25c
生菜 Lettuce	22.80±4.44b	21.32±1.58b	0.15±0.02ab	1.16±0.02cd	4.77±0.63bc
白菜 Chinese cabbage	26.91±6.49b	23.86±1.33a	0.14±0.01bc	1.15±0.01cd	5.06±0.30b
甘蓝 Wild cabbage	18.95±2.40b	25.17±0.59a	0.12±0.01c	1.13±0.01d	5.96±0.79a

由高到低依次是韭菜 0.17、蚕豆 0.16、生菜 0.15、白菜 0.14 和甘蓝 0.12；种群加倍时间在韭菜上最短为 4.12，而在甘蓝上最长为 5.96，其中韭菜、蚕豆、生菜上差异不显著，生菜、白菜之间差异不显著 ($df=4$, $P<0.05$)。

3 结论与讨论

不同植物对异迟眼蕈蚊生长发育和繁殖的影响显著，在韭菜、蚕豆、生菜、甘蓝以及白菜这 5 种不同的植物上，异迟眼蕈蚊均能完成生长发育，韭菜最适宜于异迟眼蕈蚊的生长繁殖，蚕豆次之，其次为白菜、甘蓝和生菜。

幼虫的食料对取食昆虫的生长发育影响主要表现在发育历期、存活率、以及产卵量等方面，本研究过程中表明不同的供试植物对异迟眼蕈蚊的发育繁殖有影响。异迟眼蕈蚊首先在蚕豆上完成卵到蛹的发育，其次是在生菜、韭菜、白菜和甘蓝上。幼虫期是异迟眼蕈蚊取食的主要时期，幼虫期长则会延长其取食为害的时间，对寄主植物生长不利，而幼虫期短则会增加幼虫取食为害的世代数。不同植物不仅对异迟眼蕈蚊的生长发育有影响，对雌雄虫寿命、产卵量、蛹重和存活率也会有影响，食物对昆虫的生长发育、产卵量的影响成正相关，即有利于其幼虫生长发育的寄主亦对其产卵有利（江幸福等，1999；曹玲，2007）。试验研究结果中 5 种植物对雌雄虫寿命的影响差异不显著，整体来说雌虫的寿命短于雄虫；研究表明，雌虫寿命长对产卵有利，对单雌产卵量影响显著（阮永明和吴坤君，2001），试验中单雌产卵量在韭菜上最大，甘蓝上最小，存活率在韭菜上最大，生菜上最小。产卵量大，存活率高对异迟眼蕈蚊种群的繁殖扩大更为有利。

种群动态参数是反映了在特定环境下种群数量增长潜能的重要指标，其综合了昆虫生长发育以及生存生殖的生物统计数量，在研究分析中广泛应用（吴福安等，2006；赵明和鞠瑞亭，2010）。在 5 种不同的寄主植物上，异迟眼蕈蚊在韭菜上的净增殖率种群 (R_0) 和内禀增长率 (r_m) 均高于其他寄主植物，这表明异迟眼蕈蚊

在韭菜上的种群增长速度最快，增长率最高，而苟玉萍等（2015）亦研究表明异迟眼蕈蚊是为害韭菜的优势种群。不同植物的营养成分（糖、脂肪、蛋白质等）含量有差异，异迟眼蕈蚊取食对自身生长有利的植物更有利于其生长繁殖，明确异迟眼蕈蚊在不同供试植物上种群参数，反映出该虫在几种植物上的种群增长趋势和取食趋向，在生产过程中对虫情监测及预防提供科学的依据。

异迟眼蕈蚊取食的主要时期为幼虫期，加强对异迟眼蕈蚊幼虫的防治和预防可以降低作物减产的风险，虽然室内试验结论与实际田间实际生长变化有一定的差异，但是对田间调查、虫情预测预报以及该虫的综合防治和预防等可提供科学的有力凭证。

参考文献 (References)

- Cao L, 2007. Study on influence of foods on development reproduction and energy substances of *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [曹玲, 2007. 不同食料对甜菜夜蛾发育繁殖和能源物质的影响研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Gou YP, Liu Q, Liu CZ, 2015. Effects of host plants on the growth, development and fecundity of *Bradysia difformis* Frey. *Plant Protection*, 41(1): 28–32. [苟玉萍, 刘倩, 刘长仲, 2015. 不同寄主植物对异迟眼蕈蚊生长发育和繁殖的影响. 植物保护, 41(1): 28–32.]
- Han XN, Wang XQ, Zhao LP, Liu CZ, 2012. Effects of host plants on growth, development and fecundity of *Acyrtosiphon pisum*. *Plant Protection*, 38(1): 40–43. [韩秀楠, 王小强, 赵林平, 刘长仲, 2012. 不同寄主植物对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响. 植物保护, 38(1): 40–43.]
- Han Y, Zhang ZP, Lu WS, Li W, 2014. The present situation and development countermeasures of vegetables in greenhouse of Tianshui city of Gansu province. *Chinese Horticulture Abstracts*, (11): 57–59. [韩瑜, 张忠平, 逯文生, 李文, 2014. 甘肃天水市大棚蔬菜生产现状及发展对策. 中国园艺文摘, (11): 57–59.]
- Hurley BP, Slippers B, Wingfield BD, Govender P, Smith JE, Wingfield MJ, 2010. Genetic diversity of *Bradysia difformis* (Sciaridae: Diptera) populations reflects movement of an invasive insect between forestry nurseries. *Biological Invasions*, 12(4): 729–733.
- Jiang XF, Luo LZ, Hu Y, 1999. Influence of larval diets on

- development, fecundity and flight capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Entomologica Sinica*, 42(3): 270–275. [江幸福, 罗礼智, 胡毅, 1999. 幼虫食物对甜菜夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. 昆虫学报, 42(3): 270–275.]
- Li HY, 2015. Effect of five insecticides on *Bradysia difformis* and safety evaluation of their application on *Oyster mushroom*. Master dissertation, Nanning: Guangxi University. [李玉红, 2015. 5 种杀虫剂对异迟眼蕈蚊的药效及在平菇上使用的安全性评价. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学.]
- Liu Q, 2015. Effects of different temperatures and light conditions on the growth, development and fecundity of *Bradysia difformis* Frey. Master dissertation. Lanzhou: Gansu Agricultural University. [刘倩. 温度和光照对异迟眼蕈蚊生长发育及繁殖的影响. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.]
- Menzel F, Smith JE, Colauto NB, 2003. *Bradysia difformis* Frey and *Bradysia ocellaris* (Comstock) two additional Neotropical species of black fungus gnats (Diptera: Sciaridae) of economic importance a redescription and review. *Annals of the Entomological Society of America*, 96(4): 448–457.
- Ruan YM, Wu KJ, 2001. Performances of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* on different food plants. *Acta Entomologica Sinica*, 44(2): 205–212. [阮永明, 吴坤君, 2001. 不同食料植物对棉铃虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 44(2): 205–212.]
- Shen DR, Zhang HR, Li YZ, He SY, Zhang T, 2009. Taxonomy and dominance analysis of sciarid fly species (Diptera: Sciaridae) on edible fungi in Yunnan. *Acta Entomologica Sinica*, 52 (8): 934–940. [沈登荣, 张宏瑞, 李正跃, 和绍禹, 张陶, 2009. 云南食用菌眼蕈蚊分类及优势种分析. 昆虫学报, 52(8): 934–940.]
- Shin S, Jung S, Menzel F, 2013. Molecular phylogeny of black fungus gnats (Diptera Sciaroidea Sciaridae) and the evolution of larval habitats. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66(3): 833–846.
- Tang QY, Feng GM, 2002. Practical Statistical Analysis and DPS Data Processing System. Beijing: Science Press. 76, 85–90. [唐启义, 冯明光, 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社. 76, 85–90.]
- Wu FA, Zhou JX, Xu MD, Wang QL, Xu L, Lu C, Jing CJ, 2006. Statistical inference on the intrinsic rate of increase of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* on different mulberry cultivars (*Morus L.*) under laboratory condition. *Acta Entomologica Sinica*, 49(2): 287–294. [吴福安, 周金星, 余茂德, 王茜龄, 徐立, 鲁成, 敬成俊, 2006. 不同桑树品种上朱砂叶螨实验种群内禀增长率的统计推断. 昆虫学报, 49(2): 287–294.]
- Wang XW, 2009. The present situation and development countermeasures of vegetables of Gansu province. *Fazhan*, (1): 38–40. [王晓巍, 2009. 甘肃省蔬菜产业现状及发展策略. 发展, (1): 38–40.]
- White PF, Smith JE, Menzel F, 2000. Distribution of Sciaridae (Dipt) species infesting commercial mushroom farms in Britain. *Entomologists Mon. Mag.*, 13(6): 207–209.
- Zhang HR, Zhang XY, Shen DR, Zhang T, Li ZY, 2008. Study on biological characteristics of *Bradysia difformis* on edible mushrooms. *Edible Fungi of China*, 27(6): 54–56. [张宏瑞, 张晓云, 沈登荣, 张陶, 李正跃, 2008. 食用菌异迟眼蕈蚊 *Bradysia difformis* 的生物学特性. 中国食用菌, 27(6): 54–56.]
- Zhang P, Wang QH, Zhao YH, Chen CY, Mu W, Liu F, 2015. Investigation of crop damage and food preferences of *Bradysia difformis* Yang and Zhang. *Chinese Journal Applied Entomology*, 52(3): 743–749. [张鹏, 王秋红, 赵云贺, 陈澄宇, 穆卫, 刘峰, 2015. 韭菜迟眼蕈蚊对十三种蔬菜为害调查及趋性研究. 应用昆虫学报, 52(3): 743–749.]
- Zhang S, Zhang SY, Zhao YG, Jia JW, Huang JH, Chen AL, 2014. Adult behavior and a preliminary study of the sex pheromones of *Bradysia difformis*. *Chinese Journal Applied Entomology*, 51(4): 1069–1074. [张爽, 张绍勇, 赵应苟, 贾进伟, 黄俊浩, 陈安良. 异迟眼蕈蚊生物学特性及其性信息素初步研究. 应用昆虫学报, 51(4): 1069–1074.]
- Zhao M, Ju RT, 2010. Effects of temperature on the development and fecundity of experimental population of *Rhychophorus ferrugineus*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 37(6): 517–521. [赵明, 鞠瑞亭, 2010. 温度对红棕象甲实验种群生长发育及繁殖的影响. 植物保护学报, 37(6): 517–521.]