

利福平对两种色型豌豆蚜种群参数的影响^{*}

吕 宁 刘长仲^{**}

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 兰州 730070)

摘 要 为了明确利福平(rifampicin)不同处理对2种色型豌豆蚜生长发育和种群参数的影响,将利福平分别按同时喷洒蚕豆植株和蚜虫虫体(Ⅰ)、只喷洒蚜虫虫体(Ⅱ)和只喷洒蚕豆植株(Ⅲ)3种方式处理以及对照,获得各处理的发育历期、平均体重、体重差、相对日均体重增长率和平均繁殖力等生物学参数。结果表明:1)3种利福平处理的若虫发育历期和世代历期均显著长于同色型对照($P<0.05$),成蚜寿命表现为处理Ⅰ和处理Ⅲ均显著长于同色型对照($P<0.05$),处理Ⅱ有延长成蚜寿命的作用,但与同色型对照差异不显著($P>0.05$);处理Ⅰ中,红、绿色型豌豆蚜若虫发育历期(9.46和9.84 d)、成蚜寿命(19.40和18.47 d)和世代历期(28.88和28.29 d)均达到最大值。2)3种处理的2种色型豌豆蚜平均体重、体重差和相对日均体重增长率均表现为下降,且与同色型对照差异显著($P<0.05$),而繁殖力显著低于同色型对照($P<0.05$)。3)3种处理的2种色型豌豆蚜种群净生殖率、平均世代周期、内禀增长率、周限增长率和种群加倍时间与同色型对照差异显著($P<0.05$),但红绿色型间种群参数差异不显著($P>0.05$)。

关键词 豌豆蚜; 生态型; 生长发育; 种群参数; 利福平

中图分类号 S435.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)10-2700-06

Effects of rifampicin on population parameters of two color morphs of *Acyrtosiphon pisum* Harris. LÜ Ning, LIU Chang-zhong^{**} (Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Education Ministry; Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province; College of Grassland Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730030, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(10): 2700–2705.

Abstract: The objective of this study was to clarify the effects of rifampicin (antibiotics) on the growth, development and population parameters of two color morphs (red and green) of *Acyrtosiphon pisum* Harris. In laboratory, four treatments were set up: control (CK), spraying rifampicin on plant surface and aphid body at the same time (Ⅰ), spraying rifampicin on aphid body (Ⅱ) and spraying rifampicin on plant surface (Ⅲ). Biological parameters (the average weight, weight difference, mean relative daily weight growth rate during the developmental period, and the mean fecundity per female) were measured. The results showed that: 1) nymph and generation durations of the two color morphs in the three rifampicin treatments were significantly longer than those of the same color type in the control ($P<0.05$). Adult longevity of either treatment Ⅰ or treatment Ⅲ was obviously longer than that of the same color type in the control ($P<0.05$), while the adult longevity of treatment Ⅱ showed no significant difference compared to the same color type in the control ($P<0.05$). In treatment Ⅰ, the development durations, adult longevity and generation durations of the red and green morphs were 9.46, 19.40 and 28.22, and 9.84, 18.47 and 28.29 days, respectively. 2) The average weight, weight difference and relative growth rate of the two color morphs in the three rifampicin treatments were all significantly reduced compared with the same color morph in the control ($P<0.05$), while the reproductive rate of each of the two color morphs was lower than that of the same color type in the control ($P<0.05$). 3) The net reproductive rate, mean generation duration, intrinsic rate of increase, finite rate of increase and double population time of the two color morphs in the three rifampicin treat-

^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20136202110007)和国家自然科学基金项目(31260433)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn

收稿日期: 2014-04-04 接受日期: 2014-07-09

ments were significantly different from the same color morph in the control ($P < 0.05$). However, all the population parameters were not significant between the two color morphs ($P > 0.05$).

Key words: *Acyrtosiphon pium* Harris; ecotype; growth and development; population parameters; rifampicin.

豌豆蚜(*Acyrtosiphon pium* Harris)是为害多种豆科作物和牧草的世界性害虫,其为害不仅使牧草和作物品质下降,还造成严重的产量损失(James *et al.*, 2013)。近年来,我国豌豆蚜种群发生了很大的变化,从苜蓿(*Medicago sativa*)田的次要害虫上升为主要害虫(杜军利等, 2012)。豌豆蚜有红、绿2种色型,具有体色的多态性,一般认为主要与温度和季节变化有关(Matsumoto & Tsuji, 1979; 邓明明等, 2011)。Caillaud 和 Losey(2010)从遗传学的角度解释豌豆蚜的红绿色型是由单一的等位基因控制。红色型豌豆蚜具有能合成类胡萝卜素的相关基因并能合成类胡萝卜素,其体内合成类胡萝卜素的相关基因来自于真菌基因的横向漂移(Nancy & Tyler, 2010)。Tsutomu 等(2014)认为,立克次氏小体属的兼性共生细菌的侵染使豌豆蚜的体色从红色变为绿色。Balog 和 Schmitz(2013)研究表明,捕食作用是维持豌豆蚜红绿色型同时存在且比例稳定的一个重要因素。

在 Aphid-Buchnera 共生关系中,蚜虫不仅为共生细菌提供生存场所和营养物质,还能对共生菌的生长发育繁殖进行有效调控(Hinde, 1971; Liu, 1974)。共生菌能为蚜虫提供多种必需氨基酸和营养物质,对蚜虫的新陈代谢有重要作用(Robbins *et al.*, 1971; Renobles *et al.*, 1987)。在共生体中,寄主基因的表达和共生能力是密切相关的,必须氨基酸的合成是蚜虫和共生细菌基因表达量和表达内容共同作用的结果(Hansen & Moran, 2011)。巴克纳氏菌生活在寄主蚜虫血腔内的特殊细胞——含菌细胞(简称菌胞)(mycetocyte 或 bacteriocyte)中(Douglas, 1988)。在较高 CO_2 浓度下,菌胞可以促进调节氨基酸代谢(Guo *et al.*, 2013)。共生菌还可以抵御自然天敌(包括寄生蜂和致病真菌)对寄主蚜虫的寄生或侵染,保护周围具有相同基因的昆虫(Piotr *et al.*, 2013)。抗生素通过体壁渗透或取食行为进入蚜虫体内,作用于体内的共生细菌,打破蚜虫-巴克纳氏菌共生关系的平衡,进而导致共生能力下降或丧失,体内营养条件恶化,影响蚜虫正常的生长繁殖(Wikinson & Ishikawa, 2001)。通过抗生素

的处理可直接影响蚜虫体内共生菌最终影响蚜虫的生长发育和繁殖。目前,国内尚未见抗生素对豌豆蚜影响的相关报道。本文通过研究利福平不同处理方式对红、绿色型豌豆蚜生长发育和种群参数的影响,以期明确抗生素对豌豆蚜的作用方式以及不同色型豌豆蚜对抗生素胁迫的反应,旨在为豌豆蚜的综合防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫与供试植物

红、绿色型豌豆蚜采自甘肃农业大学(兰州)试验基地,带回实验室用盆栽蚕豆(*Vicia faba* L.)植株饲养,在温度(24 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,光周期 16 : 8(L : D),相对湿度 70% ~ 80% 条件下饲养形成实验室稳定种群备用。供试植物为蚕豆品种临蚕 9 号,由甘肃省临夏农业科学院提供。

1.2 试验药剂和仪器

利福平(rifampicin),生工生物工程(上海)股份公司;RXZ-300C 型培养箱,宁波江南仪器厂。

1.3 试验处理

1.3.1 喷洒植株表面 用 2% 甘油配制 0.2% 的利福平溶液。用喷壶(50 mL)将利福平溶液均匀喷洒于保留 6 ~ 8 片叶片并去除生长中心蚕豆苗上,每株用量 15 mL,然后每株移接 5 头无翅成蚜使产幼蚜,12 h 后移去成蚜,每株蚕豆苗上留下 10 头小于 1 日龄的若蚜,并视这些若蚜为 1 日。每个处理重复 6 次。

1.3.2 同时喷洒蚜虫和植株表面 首先,每株蚕豆苗保留 6 ~ 8 片叶片并去除生长中心,其上移接 5 头无翅成蚜,12 h 后将成蚜移去,每株留下 16 头 1 日龄若蚜,然后用喷壶(50 mL)将利福平溶液同时均匀喷洒在植株和虫体上,每株用量 15 mL。6 h 后检查若蚜存活情况,每株保留 10 头若蚜,剔除多余,每个处理重复 6 次。

1.3.3 直接喷洒虫体 将 1 日龄的若蚜放在滤纸上,用喷壶(50 mL)将利福平溶液均匀喷洒于虫体,每 100 头用量 7 mL,待虫体表面凉干后,将蚜虫移到保留 6 ~ 8 片叶片并去除生长中心的蚕豆苗上,每

株10头。重复6次。

1.3.4 对照设计 将保留6~8片叶片蚕豆植株去除生长中心后,接5头无翅成蚜,12 h后将成蚜移去,每株留下16头1日龄若蚜,然后用喷壶(50 mL)将2%甘油溶液同时均匀喷洒在植株和虫体上,每株用量15 mL。6 h后检查若蚜存活情况,每株保留10头若蚜,剔除多余,重复6次。

1.4 调查方法

在对1日龄若蚜进行处理前用十万分之一电子天平称重(W_1),处理后饲养若蚜,每12 h检查一次,统计若蚜蜕皮数量,当若蚜发育为成蚜后第2次称重(W_2),统计成蚜寿命(蚜虫羽化到死亡的时间)和单头产蚜量,并记录数据。计算体重差(dW , $dW=W_2-W_1$)、发育历期(DD ,为1龄若蚜到蚜虫羽化的时间)及相对日均体重增长率(mean relative growth rate,简称为MRGR(胡祖庆等,2010))

$$MRGR=\frac{\ln W_2-\ln W_1}{DD}$$

1.5 数据处理

根据试验数据组建红、绿色型豌豆蚜生殖力表,计算种群动态参数:净增殖率 $R_0=\sum L_xM_x$;平均世代周期 $T=\sum XL_xM_x/\sum L_xM_x$;内禀增长率 $r_m=\ln R_0/T$;周限增长率 $\lambda=\exp(r_m)$;种群加倍时间 $t=\ln 2/r_m$ 。式中, X 为时间间隔(d); L_x 为任一个体在 X 期间的存活率; M_x 为 X 期间平均每雌产蚜数。所有数据统计及分析均在Excel 2003和SPSS 19.0进行。同色型间差异显著性分析采用邓肯新复极差法,红绿两种色型间差异显著性分析采用 t 检验。

2 结果与分析

2.1 3种处理对2种色型豌豆蚜发育历期的影响

经利福平3种处理,2种色型豌豆蚜的若虫发

育历期、成蚜寿命和世代历期与同色型对照相比都有所延长,但不同色型和不同处理之间存在差异(表1)。利福平同时喷洒植株虫体后绿色型豌豆蚜一龄发育历期与对照差异显著,其他处理无显著差异。3种处理红色型的一龄发育历期与对照差异不显著;3种处理对绿色型豌豆蚜二龄、三龄和四龄发育历期有显著影响。3种处理红色型的三龄和四龄发育历期与对照差异显著;3种处理2种色型豌豆蚜若虫发育历期的影响与对照差异显著,且绿色型3种处理间存在显著差异。同时喷洒植株虫体后,绿色型的若虫期比对照延长3.73 d,延长了61.05%,红色型若虫期延长3.44 d;喷洒植株处理和同时喷洒植株虫体处理对2种色型豌豆蚜成蚜寿命的影响与同色组对照差异显著,喷洒虫体处理与同色组对照差异不显著。

2.2 3种处理对2种色型豌豆蚜体重和生殖力的影响

利福平处理使豌豆蚜平均体重减轻,相对日均体重增长率减小(表2)。3种处理对2种色型成蚜平均体重的影响与同色型对照差异显著,同时喷洒植株虫体处理影响最大,绿色型体重减轻66.37%,红色型体重减轻74.07%;3种处理对2种色型成蚜体重差的影响效果与平均体重作用相似。同时喷洒植株虫体影响作用最大,绿色型和红色型体重差分别减轻70.44%和78.21%;3种处理对2种色型相对日均体重增长率的影响与同色型对照差异显著。绿色型相对日均体重增长率表现为喷洒植株和同时喷洒植株虫体与喷洒虫体差异显著,但喷洒植株和同时喷洒植株虫体间差异不显著。红色型表现为喷洒虫体和喷洒植株与同时喷洒植株虫体间差异显著。

利福平3种处理对2种色型豌豆蚜的繁殖力均

表1 利福平3种处理对2种色型豌豆蚜发育历期的影响
Table 1 Effects of three treatments of rifampicin on the developmental duration of red and green morphs of pea aphid (*Acyrtosiphon pium* Harris)

测定指标	喷洒虫体处理		喷洒植株处理		喷洒植株和虫体处理		对照	
	绿色型	红色型	绿色型	红色型	绿色型	红色型	绿色型	红色型
一龄	1.54±0.08 AB	1.50±0.06 a *	1.55±0.07 AB	1.46±0.08 a	1.70±0.05 A	1.59±0.07 a	1.40±0.06 B	1.42±0.06 a *
二龄	1.56±0.07 B	1.44±0.06 b	1.97±0.08 A	1.91±0.06 a *	1.97±0.07 A	1.84±0.06 a *	1.24±0.04 C	1.23±0.04 b
三龄	1.99±0.14 B	2.21±0.09 b	2.42±0.10 A	2.33±0.07 b	2.66±0.09 A	2.92±0.08 a *	1.63±0.03 C	1.59±0.04 c
四龄	3.04±0.07 B	3.23±0.16 a	3.25±0.14 B	3.19±0.14 a *	3.54±0.06 A	3.08±0.09 a	1.85±0.03 C	1.80±0.04 b
若虫期	8.14±0.27 C	8.40±0.23 b	9.19±0.26 B	8.94±0.24 ab *	9.84±0.18 A	9.46±0.20 a	6.11±0.12 D	6.02±0.09 c *
成蚜寿命	16.42±0.63 BC	16.07±0.86 bc *	18.11±0.63 AB	18.48±0.79 ab *	18.47±0.74 A	19.40±0.78 a	15.36±0.61 C	15.06±0.89 c *
世代历期	24.36±0.71 B	24.29±0.78 b *	27.11±0.74 AB	27.49±0.90 a *	28.29±1.22 A	28.88±0.80 a *	21.32±0.62 C	21.20±0.79 c *

不同大写字母表示绿色型处理间差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示红色型处理间差异显著($P<0.05$),*,2种色型间差异显著,下同。

表2 利福平3种处理对红、绿色型豌豆蚜体重和繁殖力的影响

Table 2 Effects of three treatments of rifampicin on weight and production of red and green morphs of pea aphid (*Acyrtosiphon pium* Harris)

处理	色型	平均体重 (mg)	体质量差 (mg)	相对日均体质量 增长率(%)	平均繁殖力 (头)
喷洒虫体	绿色型	1.49±0.04 B	1.29±0.06 B	0.39±0.01 B	14.32±1.24 B
	红色型	1.25±0.08 b	1.05±0.08 b	0.22±0.01 b	10.38±1.61 b
喷洒植株	绿色型	1.33±0.07 B	1.14±0.07 B	0.21±0.01 C	11.89±1.26 B
	红色型	1.16±0.06 bc	0.96±0.06 bc	0.20±0.06 b	5.38±0.99 bc
喷洒植株和虫体	绿色型	1.14±0.10 C	0.94±0.10 C	0.18±0.01 C	9.65±1.05 B
	红色型	0.98±0.09 c	0.78±0.09 c	0.16±0.01 c	3.50±1.15 c
对照	绿色型	3.39±0.15 A	3.18±0.05 A	0.45±0.01 A	54.81±1.45 A
	红色型	3.78±0.07 a	3.58±0.07 a	0.53±0.01 a	60.78±2.72 a

有显著影响。绿色型3种处理间差异不显著,同时喷洒植株虫体处理后繁殖力与对照相比下降82.39%,喷洒虫体处理与对照相比繁殖力下降73.87%;红色型喷洒植株处理和同时喷洒植株虫体处理与喷洒虫体处理差异显著,同时喷洒植株虫体处理对红色型繁殖力影响与喷洒虫体处理差异显著,与对照相比,同时喷洒植株虫体处理繁殖力下降94.25%,喷洒虫体处理下降82.92%。

2.3 3种处理对2种色型豌豆蚜种群参数的影响

由表3可见,利福平3种处理对2种色型豌豆蚜种群净增殖率和种群加倍时间的影响差异显著,其中,同时喷洒植株虫体处理后,2种色型豌豆蚜的净增殖率显著低于同色型其他处理及对照,其种群净增殖率红色型比对照下降93.47%,绿色型下降83.37%;利福平3种处理显著延长2种色型豌豆蚜的种群加倍时间,且处理间差异显著,同时喷洒植株虫体处理影响最大,红、绿色型豌豆蚜均达到最大值8.14和4.75 d;利福平3种处理显著延长2种色型豌豆蚜的平均世代周期,其中同时喷洒植株虫体的影响最大,红、绿色型分别延长3.24和2.91 d;喷洒

虫体处理的影响最小,红、绿色型分别仅延长2.05和1.62 d。

利福平3种处理均能显著降低2种色型豌豆蚜的种群内禀增长率和周限增长率。3种处理间绿色型的种群内禀增长率差异显著,与对照种群内禀增长率相比,同时喷洒植株虫体处理减少54.55%,喷洒虫体处理减少42.42%。红色型种群内禀增长率受喷洒植株处理和同时喷洒植株虫体的影响作用显著大于喷洒虫体的影响,喷洒植株处理和同时喷洒植株虫体间差异不显著,与对照相比,同时喷洒植株虫体处理种群内禀增长率减少76.47%;利福平3种处理对2种色型豌豆蚜种群周限增长率的影响与内禀增长率的趋势相似,同时喷洒植株虫体处理对2种色型豌豆蚜种群周限增长率的影响与同色型喷洒虫体处理和对照差异显著。

2.4 相同处理对2种色型豌豆蚜生长发育和种群参数的影响

利福平喷洒虫体处理绿色型豌豆蚜一龄龄期、成蚜寿命和世代历期均高于红色型,且差异显著,对2种色型豌豆蚜若虫发育历期、平均体重、体重差

表3 利福平3种处理对红、绿色型豌豆蚜种群参数的影响

Table 3 Population parameters of red and green morphs of pea aphid (*Acyrtosiphon pium* Harris) under three treatments of rifampicin

处理	色型	净增殖率	内禀增长率	周限增长率	平均世代周期 (d ⁻¹)	种群加倍时间 (d ⁻¹)
喷洒虫体	绿色型	12.99±0.15 B	0.188±0.001 B	1.24±0.02 B	13.59±0.23 B	3.61±0.10 C
	红色型	9.75±0.26 b	0.162±0.002 b	1.19±0.01 b	14.99±0.13 b	4.28±0.06 c
喷洒植株	绿色型	10.93±0.29 C	0.167±0.004 C	1.17±0.05 BC	14.49±0.06 A	4.28±0.07 B
	红色型	4.76±0.09 c	0.103±0.003 c	1.10±0.01 c	14.86±0.27 a	6.92±0.04 b
喷洒植株和虫体处理	绿色型	8.63±0.17 D	0.147±0.002 D	1.11±0.02 C	14.88±0.12 A	4.75±0.09 A
	红色型	3.57±0.10 d	0.083±0.002 c	1.06±0.03 c	15.29±0.24 a	8.14±0.14 a
对照	绿色型	51.88±0.30 A	0.329±0.007 A	1.40±0.04 A	11.97±0.05 C	2.08±0.04 D
	红色型	54.66±0.25 a	0.338±0.014 a	1.37±0.03 a	12.05±0.12 c	2.10±0.04 d*

和平均繁殖力的影响均不显著(表1、表2)。喷洒植株处理对红、绿色型间二龄龄期、四龄龄期、若虫发育历期、成蚜寿命和世代历期的影响差异显著,绿色型豌豆蚜的平均体重、体重差和相对日均体重增长率均与红色型,差异不显著。同时喷洒植株虫体处理后,红、绿色型间世代历期、二龄和三龄龄期影响差异显著,若虫发育历期、成蚜寿命、平均体重、体重差、相对日均体重增长率和平均繁殖力的影响差异均不显著;利福平3种处理后绿色型种群净生殖率、内禀增长率和周限增长率的值均与红色型差异不显著,3种处理后红色型种群平均世代周期和种群加倍时间均与绿色型差异不显著。

3 讨论

豌豆蚜作为农牧业重要的农业害虫,由于生物防治技术的成熟和高成本等缺点,在生产中主要防治措施为在豌豆蚜的盛发期施用化学杀虫剂,但由于长期不科学的使用农药,造成严重的“3R”(农药残留、害虫抗药性和害虫再猖獗)问题(丁岩钦,1993)。根据害虫综合防治指导思想,害虫防治不是以消灭害虫种群为目的,而是将其种群的数量控制在经济和环境可接受的范围之内(赵志模和周新远,1984;文礼章,2010)。本研究表明,利福平3种处理均能延长红、绿色型若虫发育历期和成蚜寿命,降低其繁殖力,并随着喷洒虫体处理、喷洒植株处理和同时喷洒植株虫体处理的顺序影响逐渐增大,这一结果和前期研究关于利福平对黑豆蚜和麦长管蚜实验种群结果一致(Adams,1996;苗雪霞,2002;胡祖庆,2007)。利福平作为一种抗生素,其对豌豆蚜生长发育的影响大于其他抗生素,尤其是繁殖力(吕宁和刘长仲,2014)。抗生素处理使蚜虫合成与传播病毒有关的蛋白受阻,传毒能力下降,有利于减轻病毒病的发生(Van den Heuvel *et al.*,1994)。利福平处理不仅影响个体生长发育,还对种群数量具有抑制作用。因而其可作为豌豆蚜的一种新的防治措施,且其与环境的相容性良好,对天敌安全。

净生殖力(R_0)、平均世代周期(T)、内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)和种群加倍时间(t)是在特定环境中种群动态变化的重要参数(刘长仲,2012)。利福平3种处理后,2种色型豌豆蚜净生殖率(R_0)和内禀增长率(r_m)下降,种群加倍时间(t)延长,说明利福平处理对2种色型豌豆蚜种群数量增长具有抑制作用。与惠婧婧(2009)研究化学药剂吡虫啉

亚致死浓度 LC_{40} 对绿色型豌豆蚜实验种群参数的影响对比,利福平喷洒虫体处理($R_0 = 12.92$)、喷洒植株处理($R_0 = 11.00$)和同时喷洒植株虫体处理($R_0 = 8.71$)对种群净生殖力(R_0)的影响分别与吡虫啉亚致死浓度 LC_{20} ($R_0 = 12.69$)、 LC_{30} ($R_0 = 10.35$)和 LC_{40} ($R_0 = 9.91$)作用效果接近。利福平喷洒虫体处理后绿色型豌豆蚜的内禀增长率($r_m = 0.189$)与吡虫啉亚致死高浓度 LC_{40} ($r_m = 0.184$)作用效果相似,而喷洒植株($r_m = 0.167$)和喷洒植株虫体2种处理($r_m = 0.147$)明显低于吡虫啉亚致死高浓度 LC_{40} 处理。同种处理方式中,红色型豌豆蚜的种群净生殖率(R_0)和内禀增长率(r_m)显著低于绿色,表明利福平处理对红色型豌豆蚜种群参数的影响大于绿色型。

本文仅在实验室条件下研究利福平处理对豌豆蚜 F_0 生长发育和种群参数的影响,对后代的生长发育繁殖及种群参数是否存在影响有待进一步研究。

参考文献

- 邓明明,高欢欢,李丹,等. 2011. 温度对麦长管蚜体色变化的影响. 生态学报, **31**(23): 7203-7210.
- 丁岩钦. 1993. 论害虫种群的生态控制. 生态学报, **13**(2): 99-105.
- 杜军利,张廷伟,钱秀娟,等. 2012. 紫外线(UV-B)辐射对不同色型豌豆蚜生物学特性的影响. 中国生态农业学报, **20**(12): 1626-1630.
- 胡祖庆,亢菊侠,赵惠燕,等. 2010. 不同紫外(UV-B)辐射时间对两种体色型麦长管蚜后代生物学特征的影响. 生态学报, **30**(7): 1812-1816.
- 胡祖庆. 2007. 胞内共生菌对不同体色型麦长管蚜影响的研究(硕士学位论文). 杨凌: 西北农林科技大学.
- 惠婧婧,刘长仲,孟银凤,等. 2009. 吡虫啉对豌豆蚜的亚致死效应. 植物保护, **35**(5): 86-88.
- 刘长仲,杜军利,张廷伟,等. 2012. 温度对三叶草彩斑蚜种群参数的影响. 应用生态学报, **23**(7): 1927-1932.
- 吕宁,刘长仲. 2014. 不同抗生素对豌豆蚜生物学特性的影响. 中国生态农业学报, **22**(2): 208-216.
- 苗雪霞. 2002. 黑豆蚜(*Aphis craccivora*)胞内共生菌的研究(博士学位论文). 上海: 中国科学院上海生命科学研究院.
- 文礼章. 2010. 昆虫学研究方法与技术导论. 北京: 科学出版社.
- 赵志模,周新远. 1984. 生态学引论: 害虫综合防治的理论及应用. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社.
- Adams D, Wilkinson TL, Douglas AE. 1996. The aphid-bacterial symbiosis: A comparison between pea aphids and black bean aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **53**: 275-278.
- Balog A, Schmitz OJ. 2013. Predation drives stable coexistence

- ratios between red and green pea aphid morphs. *Journal of Evolutionary Biology*, **26**: 545–552.
- Caillaud MC, Losey JE. 2010. Genetics of color polymorphism in the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Journal of Insect Science*, **10**: 1–13.
- Douglas AE. 1988. Sulphate utilization in an aphid symbiosis. *Insect Biochemistry*, **18**: 599–605.
- Guo HJ, Sun YC, Li YF, *et al.* 2013. Pea aphid promotes amino acid metabolism both in *Medicago truncatula* and bacteriocytes to favor aphid population growth under elevated CO₂. *Global Change Biology*, **19**: 3210–3223.
- Hansen AK, Moran NA. 2011. Aphid genome expression reveals host-symbiont cooperation in the production of amino acids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**: 2849–2854.
- Hinde R. 1971. The control of the mycetome symbiotes of the aphids *Brevicoryne brassicae*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum rosae*. *Journal of Insect Physiology*, **17**: 1791–1800.
- James WR, Markus R, Ben DW, *et al.* 2013. Biology and trophic interactions of lucerne aphids. *Agricultural and Forest Entomology*, **15**: 335–350.
- Liu TP. 1974. The effect of corpora allata on the plasma membrane of the symbiotic bacteria of the oocyte surface of *Periplaneta americana* L. *General and Comparative Endocrinology*, **23**: 118–123.
- Matsumoto K, Tsuji H. 1979. Occurrence of two colour types in the green peach aphid, *Myzus persicae*, and their susceptibility to insecticides. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, **23**: 92–96.
- Nancy AM, Tyler J. 2010. Lateral transfer of genes from fungi underlies carotenoid production in aphids. *Science*, **328**: 624–627.
- Piotr L, Margriet VA, Julia F, *et al.* 2013. Unrelated facultative endosymbionts protect aphids against a fungal pathogen. *Ecology Letters*, **16**: 214–218.
- Renobles M, Cripps C, Stanley-Samuelson DW. 1987. Biosynthesis of linoleic acid in insect. *Trends in Biochemical Sciences*, **12**: 364–366.
- Robbins WE, Kaplanis JN, Svoboda JA. 1971. Steroid metabolism in insects. *Annual Review of Entomology*, **16**: 53–72.
- Tsutomu T, Ryuichi K, Akiko F, *et al.* 2014. Phenotypic effect of “*Candidatus Rickettsiella viris*,” a facultative symbiont of the pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*), and its interaction with a coexisting symbiont. *Applied and Environmental Microbiology*, **80**: 525–533.
- Van den Heuvel JFJM, Verbeek M, van der F. 1994. Endosymbiotic bacteria associated with circulative transmission of potato virus by *Myzus persicae*. *Journal of General Virology*, **75**: 2559–2565.
- Wikinson TL, Ishikawa H. 2001. On the functional significance of symbiotic microorganisms in Homoptera: A comparative study of *Acyrtosiphon pisum* and *Nilaparvata lugens*. *Physiological Entomology*, **26**: 86–93.

作者简介 吕 宁,男,1987 年生,硕士研究生,主要研究方向为害虫综合治理。E-mail: lning2013@126.com
责任编辑 张 敏
