技术与方法

豌豆蚜虫龄期特征及鉴别*

赵怀志** 杨 炀 张嘉乐 李江杰 赵川德 石 岩*** 刘同先

（青岛农业大学植物医学学院，昆虫生态与分子生物学实验室，青岛 266109）

摘 要 **【目的】** 为明确豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 虫龄的鉴别特征，以期达到准确快速识别豌豆蚜龄期的目的。**【方法】** 采用显微成像技术观察并测定不同翅型、不同虫龄个体的体长、体宽、头宽、腹管长度、尾片长度、触角长度和后足胫节长度 7 项指标。**【结果】** 不同龄期豌豆蚜形态特征存在差异，无翅型与有翅型个体的腹管长度在各龄期间均无重叠，可作为豌豆蚜龄期鉴定的重要指标。后足胫节和触角长度，可以作为龄期划分的辅助指标。此外，触角节数可以用来区分 1 龄和 2 龄若蚜，翅基发育程度可以用来区分有翅型豌豆蚜 3 龄与 4 龄，尾片的发育程度可作为区分若蚜与成蚜的典型形态特征。**【结论】** 以个体的腹管长度作为豌豆蚜龄期鉴定的主要指标，配合后足胫节长、触角长度、触角节数、尾片与翅基的发育程度，可达到快速鉴定豌豆蚜各个龄期的目的。

关键词 豌豆蚜；龄期；形态特征；尾片；触角

Morphological characteristics for distinguishing the instars of *Acyrthosiphon pisum*

ZHAO Huai-Zhi** YANG Yang ZHANG Jia-Le LI Jiang-Jie
ZHAO Chuan-De SHI Yan*** LIU Tong-Xian

(Laboratory of Insect Ecology and Molecular Biology, College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract **[Objectives]** The objective of this research was to identify morphological characteristics that can accurately distinguish the instars of *Acyrthosiphon pisum*. **[Methods]** Seven morphological indices of winged and wingless morphs, including body length, body width, head width, cornicle length, cauda length, antenna length, number of antennal segments and hind tibia length, were measured under an ultra-wide area, 3D microscope. **[Results]** Although the morphological characteristics measured differed among both wingless and winged instars contiguous instars overlapped in all except cornicle length, which was therefore the only morphological characteristic that could reliably distinguish different instars. Hind tibia and antenna length are, however, useful as auxiliary characteristics. Additionally, the number of antennal segments can be used to differentiate between 1st and 2nd instar nymphs, and cauda shape to differentiate between nymphs and adults. **[Conclusion]** The instars of *A. pisum* can be accurately and quickly identified on the basis of cornicle length. Hind tibia length, the number of antennae and degree of cauda development also facilitate distinguishing the instars of this species.

Key words *Acyrthosiphon pisum*; instar; morphological characteristics; cauda length; antennae

豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 具有繁殖速度快、环境适应性强及快速传播植物病毒病害等特点，已成为威胁豆科木本植物的重要有害生物。在美国，豌豆蚜的危害可导致苜蓿生产者每年损

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金青年基金（32001907）

**第一作者 First author，E-mail：zhi17852427525@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：shiyanyuanyi@aliyun.com

收稿日期 Received：2020-01-06；接受日期 Accepted：2020-11-19

失大约 6 000 万美元（Harmon *et al.*，2009）。在我国西北苜蓿种植区，豌豆蚜每年可造成苜蓿生产 10%-30%的经济损失（马亚玲和刘长仲，2014）。豌豆蚜危害植物时，其若虫和成虫群集在植物的幼嫩部位，以刺吸式口器吸取植物韧皮部汁液，从而影响植物的生长发育、开花结实等正常的生命活动，严重危害时可造成植株死亡，给农业生产带来巨大的经济损失（刘金平等，2005；Jin *et al.*，2014）。2010 年科学家采用鸟枪法成功完成了豌豆蚜全基因组序列的测定工作，使其成为首个被破译基因组的蚜虫，也是第一个被测序的半翅目昆虫（Richards *et al.*，2010）。近年来，豌豆蚜的相关研究已逐渐深入到了组学水平，使其成为遗传学、生态学及进化生物学研究的模式物种（Thottappilly *et al.*，1997；Ollivier *et al.*，2010；Tamborindeguy *et al.*，2010；Vellichirammal *et al.*，2016；张丽和袁明龙，2017）。

豌豆蚜龄期的准确鉴定，可用于预测蚜虫的发育期与大暴发时间，结合相关的管理措施用以进行蚜虫的防治（Kugler and Ratcliffe，1983；赵天璇和袁明龙，2017）。因此，准确区分豌豆蚜虫龄是实现其有效防治的关键。近年来，关于蚜虫虫龄特征及鉴定的研究较多。张丽和袁明龙（2017）发现，利用蚜虫外部形态特征可以准确快速分辨蚜虫龄期。李慧等（2018）认为后足胫节长度可作为大豆蚜 *Aphis glycines* 龄期鉴定的典型指标，尾片长度、触角长度及体长可作为大豆蚜龄期鉴定的主要指标，再辅以胸部外部形态、尾片发达程度与触角节数即可达到快速准确区分大豆蚜龄期的目的。许向利等（2014）通过比较麦长管蚜 *Sitobion avenae*（Fabricius）外部形态特征的重叠分布情况，认为后足胫节长与腹管长可作为麦长管蚜虫龄鉴定的主要特征。张润志等（1999）对俄罗斯双尾蚜 *Diuraphis noxia*（Mordvilko）研究发现，触角长度可作为鉴定若虫龄期的鉴别特征。张军等（1990）通过测量禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 的形态特征发现各龄期的腹管长度差异显著，且频率分布直方图显示不同龄期特征值重叠少，腹管长度可以作为禾谷缢管蚜龄期鉴别的主要指标。

为深入研究豌豆蚜生长发育的分子生物学机制及其田间的预测预报提供理论依据，本文在现有研究基础上，采用生物学统计分析方法对豌豆蚜各个龄期的形态特征进行详细观察与测量，并且运用 SPSS 20.0 软件对所得数据进行统计分析，以期获得快速、准确的豌豆蚜龄期鉴别特征。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试豌豆蚜种群为实验室继代饲养的稳定种群，由西南大学植物保护学院王进军教授馈赠。豌豆蚜种群饲养于温度（23±1）℃、光周期 16L∶8D 的养虫笼（40 cm×30 cm×45 cm）中。

1.2 试虫收集

在塑料杯中种植豌豆苗，待豌豆苗第一对真叶展开时，将单头成蚜转移至单株豌豆苗上，待其产蚜 2 h 后，移去成蚜及多余若蚜，每株豌豆苗上仅留 1 头初产蚜虫继续饲养以进行后续实验，通过控制蚜虫的密度进而诱导有翅型豌豆蚜。每 24 h 观察一次蚜虫蜕皮情况，并收集 1 龄和 2 龄若蚜、无翅型 3 龄、4 龄若蚜和成蚜、有翅型 3 龄、4 龄若蚜和成蚜，待镜检观察。

1.3 不同虫龄无翅型豌豆蚜形态指标测定

将收集的各龄期蚜虫置于载玻片上，在带有成像系统的多功能体视显微镜（OLYMPUS SZX10，上海普赫光电科技有限公司，中国）下观察并拍照，测量豌豆蚜体长（头部顶端至尾片基部）、体宽（腹部最宽处）、头壳宽（复眼间距离）、腹管长度、尾片长度、触角长度和后足胫节长 7 项形态指标（图 1）。1 龄和 2 龄若蚜、无翅型 3-4 龄若蚜和成蚜与有翅型 3-4 龄若蚜和成蚜均测定 30 个生物学重复。

1.4 数据分析

利用 Origin 9.0 和 SPSS Statistics 20.0 软件，对所测得的豌豆蚜体长、体宽、头宽、腹管长度、尾片长度、触角长度和后足胫节长度 7 项指标进

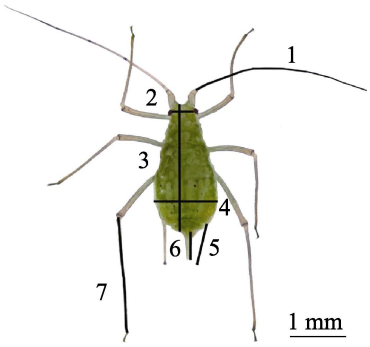

图 1　成蚜形态指标测定图

Fig. 1　Schematic drawing of measurements for morphological parameters of adult

1：触角长度；2：头宽；3：体长；4：体宽；5：腹管长度；6：尾片长；7：后足胫节长。

1: Antenna length; 2: Head width; 3: Body length; 4: Body width; 5: Cornicle length; 6: Cauda length; 7: Hind tibia length.

行数据处理分析，并绘制每项测定值的箱图（图 2，表 1），再根据测定值计算不同翅型豌豆蚜各龄期虫体各指标的平均值、标准差及变异系数，利用戴氏法则[Dyar 研究发现幼虫某个部位的长宽度随龄期增长呈一定几何数学关系（Dyar，1890）]和回归分析进行筛选，确定豌豆蚜虫龄数与所测定指标的相关性，结合单因素方差分析中 LSD 多重比较方法分析豌豆蚜各龄期间的差异（P<0.05），以获得最佳分龄标准。

用图表构建程序将所得数据与龄期的关系制作成箱型图来分析，每一个点代表 1 个虫龄下特征的不同表达数据，当数据在不同龄期间呈集群性分布且互不重叠时，即可将两个龄期清晰的划分开，但当两个数据集群之间划分模糊且重叠率比较高时，表示不能有效快速的用此种方法将两个龄期划分开（彩万志和庞雄飞，2001），以此找到可以明确划分龄期的特征值，确定最佳龄期鉴定指标。

2　结果与分析

2.1　不同龄期外部形态特征

经过观察发现，豌豆蚜若虫发育需经过 4 个龄期。其中，1 龄、2 龄若蚜均为无翅蚜（图 2：A，B）；自 3 龄开始出现翅基分化，分别产生 3 龄无翅基若蚜（图 2：C）、有翅基若蚜（图 2：D），并继续发育为 4 龄无翅基型若蚜（图 2：E）、

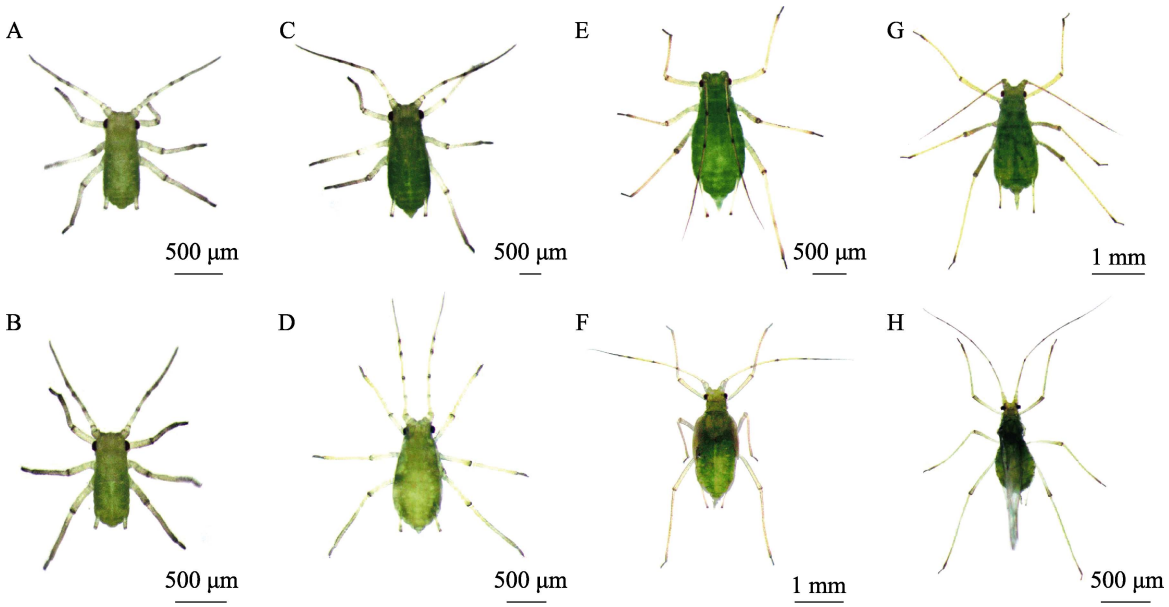

图 2　各龄期豌豆蚜的外部形态比较

Fig. 2　Morphology of different instars *Acyrthosiphon pisum*

A. 1 龄若蚜；B. 2 龄若蚜；C. 无翅型 3 龄若蚜；D. 有翅型 3 龄若蚜；E. 无翅型 4 龄若蚜；F. 有翅型 4 龄若蚜；G. 无翅型成蚜；H. 有翅型成蚜。

A. 1st instar nymph; B. 2nd instar nymph; C. 3rd instar nymph of wingless morph; D. 3rd instar nymph of winged morph; E. 4th instar nymph of wingless morph; F. 4th instar nymph of winged morph; G. Wingless adult; H. Winged adult.

表 1 豌豆蚜不同龄期 7 个形态特征测量值

Table 1 Measurements and statistics of 7 morphological variables for the determination of instars of *Acyrthosiphon pisum*

翅型 Wing morph	形态测量特征（mm） Morphometric characteristics		龄期 Instar				
			1 龄若虫 1st instar nymph	2 龄若虫 2nd instar nymph	3 龄若虫 3rd instar nymph	4 龄若虫 4th instar nymph	成蚜 Adult
无翅型 Wingless	体长 Body length	平均值 Mean	0.948±0.011e	1.246±0.016d	1.400±0.018c	1.699±0.026b	2.140±0.020a
		变化幅度 Range	0.768–1.135	1.037–1.494	1.138–1.712	1.423–1.980	1.815–2.503
	体宽 Body width	平均值 Mean	0.377±0.004e	0.490±0.007d	0.574±0.008c	0.741±0.010b	0.879±0.008a
		变化幅度 Range	0.303–0.436	0.415–0.568	0.498–0.696	0.615–0.797	0.753–0.969
	头宽 Head width	平均值 Mean	0.292±0.001e	0.311±0.002d	0.333±0.002c	0.372±0.001b	0.385±0.002a
		变化幅度 Range	0.260–0.317	0.280–0.344	0.302–0.362	0.340–0.392	0.357–0.417
	触角长 Antenna length	平均值 Mean	1.124±0.009e	1.506±0.015d	1.999±0.016c	2.478±0.012b	3.158±0.020a
		变化幅度 Range	0.952–1.253	1.250–1.744	1.727–2.275	2.222–2.670	2.810–3.471
	腹管长 Cornicle length	平均值 Mean	0.140±0.003e	0.244±0.004d	0.376±0.003c	0.553±0.004b	0.770±0.005a
		变化幅度 Range	0.104–0.189	0.200–0.293	0.330–0.426	0.489–0.632	0.696–0.878
	尾片长 Cauda length	平均值 Mean	0.035±0.001e	0.127±0.005d	0.173±0.005c	0.229±0.006b	0.411±0.006a
		变化幅度 Range	0.021–0.047	0.041–0.193	0.086–0.264	0.143–0.391	0.145–0.528
	后足胫节长 Hind tibia length	平均值 Mean	0.496±0.008e	0.672±0.008d	0.947±0.010c	1.326±0.010b	1.887±0.014a
		变化幅度 Range	0.353–0.617	0.553–0.787	0.814–1.125	1.160–1.511	1.670–2.169
有翅型 Winged	体长 Body length	平均值 Mean	0.987±0.017e	1.258±0.011d	1.404±0.018c	1.756±0.022b	2.128±0.015a
		变化幅度 Range	0.735–1.209	1.035–1.456	1.137–1.711	1.422–2.272	1.755–2.503
	体宽 Body width	平均值 Mean	0.409±0.007e	0.498±0.005d	0.590±0.007c	0.726±0.008b	0.872±0.007a
		变化幅度 Range	0.339–0.525	0.413–0.597	0.497–0.818	0.615–0.952	0.687–0.970
	头宽 Head width	平均值 Mean	0.271±0.004e	0.316±0.001d	0.334±0.001c	0.372±0.001b	0.386±0.001a
		变化幅度 Range	0.178–0.320	0.290–0.348	0.302–0.363	0.340–0.403	0.370–0.417
	触角长 Antenna length	平均值 Mean	1.074±0.011e	1.544±0.002d	1.996±0.026c	2.500±0.013b	3.225±0.028a
		变化幅度 Range	0.907–1.274	1.400–1.734	1.642–2.275	2.222–2.896	2.518–3.860
	腹管长 Cornicle length	平均值 Mean	0.138±0.003e	0.246±0.003d	0.374±0.003c	0.547±0.004b	0.759±0.005a
		变化幅度 Range	0.100–0.183	0.201–0.294	0.332–0.415	0.467–0.609	0.643–0.878
	尾片长 Cauda length	平均值 Mean	0.036±0.001e	0.124±0.005d	0.170±0.005c	0.233±0.006b	0.413±0.006a
		变化幅度 Range	0.021–0.049	0.043–0.189	0.074–0.251	0.138–0.411	0.278–0.516
	后足胫节长 Hind tibia length	平均值 Mean	0.494±0.008e	0.663±0.008d	0.969±0.013c	1.408±0.011b	1.933±0.014a
		变化幅度 Range	0.349–0.656	0.461–0.827	0.814–1.243	1.255–1.719	1.742–2.364

表中数据为平均值±标准误，同行数据后标有不同小写字母表示经 LSD 多重比较差异显著（$P<0.05$）。

Data in the table are means±SE, and followed by different lowercase letters within a row indicate significant difference at the 0.05 level by LSD multiple range test.

有翅基若蚜（图 2：F）。最后发育为无翅型成蚜（图 2：G）、有翅型成蚜（图 2：H）。此外，豌豆蚜成蚜的尾片发达（图 2：G，H），1-4 龄若蚜尾片均不发达（图 2：B-F），说明豌豆蚜尾片形状可作为区分若蚜和成蚜的典型形态特征。其中，3 龄与 4 龄若蚜翅基形状与发达程度不同（图 2：D，F），标志豌豆蚜翅基发育程度可以作为区分有翅型 3 龄、4 龄若蚜的辅助指标。

2.2　不同虫龄形态测量特征比较

如表 1 所示，无翅型与有翅型豌豆蚜个体的体长（无翅型：R^2=0.885, P<0.001；有翅型：R^2=0.869, P<0.001）、体宽（无翅型：R^2=0.919, P<0.001；有翅型：R^2=0.869, P<0.001）、头宽（无翅型：R^2=0.858, P<0.001；有翅型：R^2=0.893, P<0.001）、触角长（无翅型：R^2=0.963, P<0.001；有翅型：R^2=0.937, P<0.001）、腹管长（无翅型：R^2=0.961, P<0.001；有翅型：R^2=0.961, P<0.001）、尾片长（无翅型：R^2=0.835, P<0.001；有翅型：R^2=0.855, P<0.001）、后足胫节长（无翅型：R^2=0.929, P<0.001；有翅型：R^2=0.931, P<0.001）在不同龄期均存在显著差异。

2.3　各龄期外部形态特征的重叠分布

通过对豌豆蚜测量指标与龄期作箱图分析（图 3），得出腹管长、后足胫节长、触角长在不同龄期下变化幅度较大。通过以上 3 项测量指标与龄期作单因素方差分析，组间显著性小于 0.05。另外，无翅型与有翅型豌豆蚜腹管长、后足胫节长及触角长与龄期数的线性相关系数分别为 0.961、0.929、0.963 与 0.961、0.931、0.937，说明腹管长、后足胫节长、触角长与龄期间呈现显著相关。

豌豆蚜不同龄期的腹管、后足胫节和触角长度存在明显清晰的分区，且腹管长度在各龄期无重叠（图 3：A，D），后足胫节长度与触角长度在各龄期重叠程度较小（图 3：B，E）。因此腹管长度可作为龄期鉴定的重要指标，后足胫节长度可作为龄期鉴定的次要指标。触角长度在各龄期重叠程度大但是数据整体上升趋势明显（图 3：C，F），故也可作为划分豌豆蚜龄期的辅助指标。

2.4　不同龄期触角形态特征比较

观测不同龄期下无翅型与有翅型的触角节数，豌豆蚜在 1 龄时表现为 4 节（图 4：A），2 龄、3 龄、4 龄和成蚜表现为 5 节（图 4：B-H）。故触角节数可以作为区分豌豆蚜 1 龄若蚜与其它龄期蚜虫时的主要指标。

3　讨论

大量研究证实外部形态特征可以作为蚜虫的龄期鉴定指标，如大豆蚜（李慧等，2018）、麦长管蚜（许向利等，2014）、禾谷缢管蚜（张军等，1990）等蚜虫均可使用外部形态特征进行龄期鉴定。此外基于戴氏法则对双翅目、鳞翅目、鞘翅目一些昆虫的幼虫龄期进行了准确的划分（李召波等，2014；李志文等，2015；万喻等，2015；王芳等，2016；Shi *et al.*，2017）。本研究通过对重要农业害虫豌豆蚜各个龄期形态特征值的测定，结果表明所测形态特征也符合戴氏法则，这表明该法也适合豌豆蚜虫龄期的鉴定。因此对不同龄期的豌豆蚜的外部形态进行观察分析，发现豌豆蚜在生长发育过程中其外部形态也有显著变化。其中部分形态特征可以作为快速识别豌豆蚜的鉴别指标。

目前，采用多种害虫防治技术对豌豆蚜的进行防治，但主要依靠喷洒杀虫剂（Lee，2000；范佳等，2014）。低龄若虫对杀虫剂的抵抗力较差，是防治的关键时期。如果准确预测豌豆蚜种群数量增长趋势，那么使用杀虫剂能得到最佳的防治效果。另外，随着相关研究的不断深入，许多文章都阐述了杀虫剂的滥用所带来的危害（National Research Council，1989）。因此，豌豆蚜龄期的准确划分将有助于制定其有效的防治策略，以减少因防治时间不当而造成滥用杀虫剂所产生的危害（Myers，2005）。此外，蚜虫具有迁飞性，不仅造成为害加重，而且传播病毒病和防碍人们的正常生活（刘向东等，2004）。有翅型豌豆蚜在 3 龄阶段出现翅基，继而发育为完整翅供其迁飞使用。因此，准确鉴定有翅型豌豆蚜龄期可以预测豌豆蚜的迁飞时间，从而采用相应的方法进行防治。

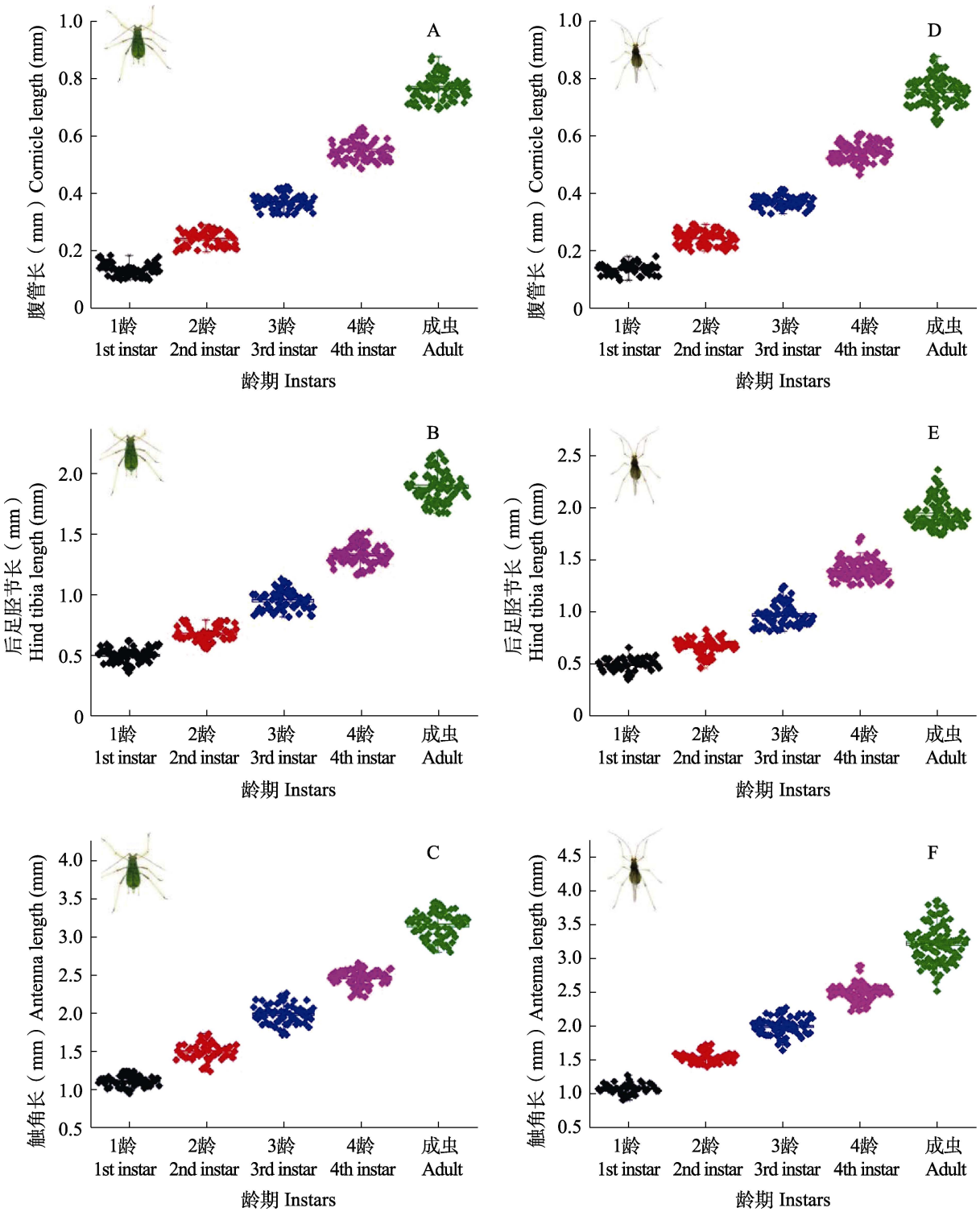

图 3　豌豆蚜各龄期 6 个形态特征测量值箱型图

Fig. 3　Box-plot of measurements of 6 morphological variables for *Acyrthosiphon pisum* nymphs and adults

A. 无翅型腹管长；B. 无翅型后足胫节长；C. 无翅型触角长；D. 有翅型腹管长；
E. 有翅型后足胫节长；F. 有翅型触角长；点不同颜色代表不同龄期。

A. Cornicle length of wingless morph; B. Hind tibia length of wingless morph;
C. Antenna length of wingless morph; D. Cornicle length of winged morph. E. Hind tibia length of winged morph;
F. Antenna length of winged morph. Different colors represent different ages.

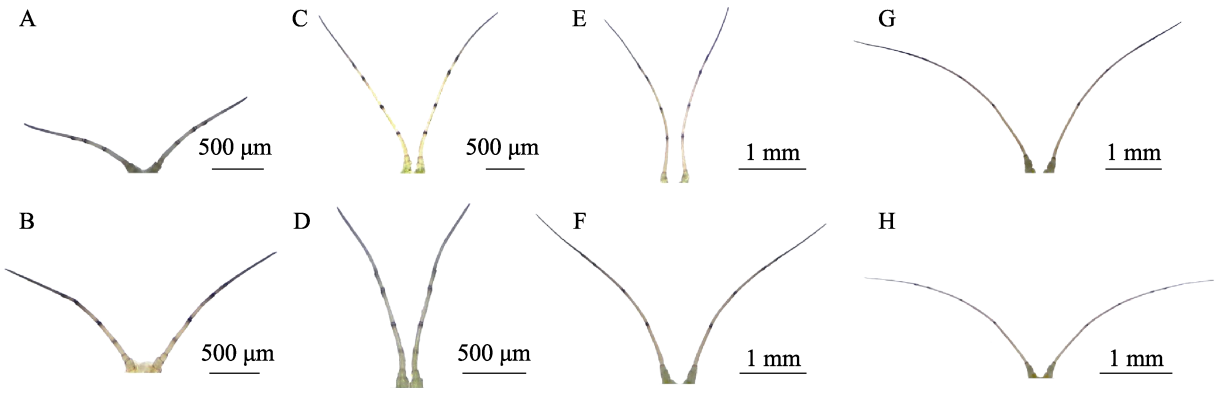

图 4　豌豆蚜各龄的触角形态

Fig. 4　Antenna of of *Acyrthosiphon pisum* at different instars

A. 1 龄若蚜触角；B. 2 龄若蚜触角；C. 无翅型 3 龄若蚜触角；D. 有翅型 3 龄若蚜触角；E. 无翅型 4 龄若蚜触角；F. 有翅型 4 龄若蚜触角；G. 无翅型成蚜触角；H. 有翅型成蚜触角。

A. 1st instar nymph of antenna; B. 2nd instar nymph of antenna; C. 3rd instar nymph of wingless morph of antenna; D. 3rd instar nymph of winged morph of antenna; E. 4th instar nymph of wingless morph of antenna; F. 4th instar nymph of winged morph of antenna; G. Wingless adult of antenna. H. Winged adult of antenna.

张润志等（1999）发现，根据触角节数可对 1 龄麦双尾若蚜进行鉴定，豌豆蚜则可以依据触角节数快速鉴定出 1 龄若蚜。成蚜与若蚜鉴定可以通过尾片形状进行区分（张润志等，1999；许向利等，2014）。李慧等（2018）研究发现大豆蚜尾片形状可作为区分若蚜和成蚜的典型形态特征。腹管长度也被认为是麦长管蚜虫龄鉴定的主要特征（许向利等，2014）。本研究发现，无翅型和有翅型豌豆蚜个体不同龄期的腹管长在相邻虫龄之间无重叠（图 3：A，D），可作为豌豆蚜虫龄鉴定的主要特征。后足胫节长重叠百分比小（图 3：B，E），可以作为虫龄鉴定的次要特征。此外本研究还发现触角和尾片等其他外部形态特征在豌豆蚜虫龄间也存在一定差异。除成蚜具有完整的尾片且形状为长棍棒状外（图 1：G），1-4 龄若蚜尾片均不发达，说明尾片的发育程度亦可作为豌豆蚜不同龄期形态鉴别的辅助特征，尤其可以作为若蚜与成蚜的重要区分依据。触角节数在 1 龄若蚜和 2 龄-成蚜存在差异，1 龄若蚜触角有 4 节，2 龄-成蚜的触角节数是 5 节，因此触角节数可作为区分 1 龄与其它龄期蚜虫的形态特征。

综合以上结果表明，本研究通过对豌豆蚜虫的不同形态特征的观察与测量发现腹管长度可以作为龄期鉴定的关键特征，再辅以后足胫节长、触角长、触角节数、尾片与翅基发育程度即可达到快速分辨豌豆蚜的不同龄期的目的。本研究对不同翅型豌豆蚜的龄期进行了鉴定，丰富了无翅型豌豆蚜龄期鉴定的形态标准，为不同翅型豌豆蚜的龄期鉴定提供了较成熟的鉴定指标。

参考文献 (References)

Cai WZ, Pang XF, 2001. General Entomology. Bejing: Agriculture University Press. 236. [彩万志, 庞雄飞, 2001. 普通昆虫学. 北京: 中国农业大学出版社. 236.]

Dyar HG, 1890. The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche*, 5(175/176): 420–422.

Fan J, Liu Y, Ceng JG, Guo M, Sun JR, Cheng P, Chen JL, 2014. Advancement of new prevent and control technologies for aphids in wheat and vegetable. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1413–1434. [范佳, 刘勇, 曾建国, 郭梅, 孙京瑞, 程辟, 陈巨莲, 2014. 小麦与蔬菜蚜虫新型防控技术研究进展. 应用昆虫学报, 51(6): 1413–1434.]

Harmon JP, Moran NA, Ives AR, 2009. Species response to environmental change: Impacts of food web interactions and evolution. *Science*, 323(5919): 1347–1350.

Jin DJ, Zeng FR, Dong SL, Zhang HQ, 2014. Effects of a protease inhibitor protein from *Xenorhabdus bovienii* on physiology of pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 108(12): 86–91.

Kugler JL, Ratcliffe RH, 1983. Resistance in alfalfa to a red form of the pea aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 76(1): 74–76

Lee CY, 2000. Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests: A review. *Journal of Bioscience*, 11(1): 107–112.

Li H, Liu XX, Zhi HJ, Li K, Zhang WQ, Li Z, 2018. Morphological characteristics for instar identification of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 61(7): 877–844. [李慧, 刘小侠, 智海剑, 李凯, 张青文, 李贞, 2018. 大豆蚜虫龄鉴别特征, 昆虫学报, 61(7): 877–884.]

Liu JP, Zhang XQ, Lu J, Zhang XQ, 2005. The effect of several grassy species on soil and water conservation. *Pratacultural Science*, 22(10): 74–77. [刘金平, 张新全, 刘瑾, 张晓琴, 2005. 苜蓿产业化生产中蚜虫危害及防治方法研究. 草业科学, 22(10): 74–77.]

Liu XD, Zhai BP, Zhang XX, 2004. Advance in the studies of maigration of aphids. *Entomological Knowledge*, 41(4): 301–306. [刘向东, 翟保平, 张孝羲, 2004. 蚜虫迁飞的研究进展. 昆虫知识, 41(4): 301–307.]

Li ZB, Li JW, Zhao N, Yu Y, Zhang AS, Zhai YF, Li LL, 2014. Determination of the larval instars of *Athetis lepigone* (Möschler). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1350–1355. [李召波, 李静雯, 赵楠, 于毅, 张安盛, 翟一凡, 李丽莉, 2014. 二点委夜蛾幼虫虫龄的测定. 应用昆虫学报, 51(5): 1350–1355.]

Li ZW, He LH, Xia J, Ma L, Zeng AP, 2015. Determination of larval instars of the camellia weevil, *Curculio chinensis* (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 58(2): 181–189. [李志文, 何立红, 夏姣, 马玲, 曾爱平, 2015. 油茶象幼虫虫龄的划分. 昆虫学报, 58(2): 181–189.]

Ma YL, Liu CZ, 2014. Review on ecological charateristics and control of aphids. *Pratacultural Science*, 31(3): 519–525. [马亚玲, 刘长仲, 2014. 蚜虫的生态学特性及其防治. 草业科学, 31(3): 519–525.]

Myers SW, Hogg DB, Wedberg JL, 2005. Determining the optimal timing of foliar insecticide applications for control of soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) on soybean. *Journal of Economic Entomology*, 98(6): 2006–2012.

National Research Council, 1989. Alternative Agriculture. Washington DC: National Academy Press. 448.

Ollivier M, Legeai F, Rispe C, 2010, Comparative analysis of the *Acyrthosiphon pisum* genome and expressed sequence tag-based gene sets from other aphid species. *Insect Molecular Biology*, 19(S2): 33–45.

Richards S, Gibbs RA, Nicole M, Gerardo, Moran N, Hunter W, 2010. Genome sequence of the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*. *PLoS Biology*, 8(2): e1000313.

Shi Y, Wang L, Dou W, Jiang HB, Wei DD, 2017. Determination of instars of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 100(2): 270–275.

Tamborindeguy C, Monsion B, Brault V, Hunnicutt L, Ju HJ, Nakabachi A, Van Fleet E, 2010. A genomic analysis of transcytosis in the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*, a mechanism involved in virus transmission. *Insect Molecular Biology*, 19(S2): 259–272.

Thottappilly G, Eastop VF, Bath JE, 1997. Morphological variation within *Acyrthosiphon pisum* and in ability to transmit broad bean severe chlorosis virus. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 22(1): 29–34.

Vellichirammal NN, Madayiputhiya N, Brisson JA, 2016. The genome wide transcriptional response underlying the pea aphid wing polyphenism. *Molecular Ecology*, 25(17): 4146–4160.

Wan Y, Liu TH, Wang JJ, He YZ, 2015. Identification of the larval instars of the *Depressaria falkovitshi* Lvovsky (Lepidoptera: Elachistidae: Depressariinae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(6): 1491–1495. [万喻, 刘廷辉, 王静静, 何运转, 2015. 法氏柴胡宽蛾幼虫龄期的划分. 应用昆虫学报, 52(6): 1491–1495.]

Wang F, Yu Q, Guo GM, Hao C, Fan RJ, 2016. Determination of larval instar number and duration of the *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 390–395. [王芳, 庾琴, 郭贵明, 郝赤, 范仁俊, 2016. 梨小食心虫幼虫龄数和龄期的划分. 应用昆虫学报, 53(2): 390–395.]

Xu XL, Liu XX, Zhang QW, Wu JX, 2014. Identification of the instars of *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(1): 81–87. [许向利, 刘小侠, 张青文, 仵均祥, 2014. 麦长管蚜虫龄鉴别特征. 昆虫学报, 57(1): 81–87.]

Zhang J, Zhang GX, He FG, Qu GM, 1990. Morphological characteristics and index of instar stage of *Rhopalosiphum padi* (L). *Chinese Bulletin of Entomology*, 27(4): 204–206. [张军, 张广学, 何富刚, 曲国民, 1990. 禾谷缢管蚜虫龄鉴别特征及标准的研究. 昆虫知识, 27(4): 204–206.]

Zhang L, Yuan ML, 2017. Biological and ecological characteristics of *Acyrthosiphon pisum*. *Pratacultural Science*, 34(8): 1727–1740. [张丽, 袁明龙, 2017. 豌豆蚜生物生态学特性. 草业科学, 34(8): 1727–1740.]

Zhang RZ, Zhang J, Du BR, 1999. Identification of different instars and adult of Russian wheat aphid. *Acta Entomologica Sinica*, 42(Suppl.): 26–30. [张润志, 张军, 杜秉仁, 1999. 麦双尾蚜的龄期鉴别. 昆虫学报, 42(增刊): 26–30.]

Zhao TX, Yuan ML, 2017. Biological and ecological characteristics of *Harmonia axyridis* in China. *Pratacultural Science*, 34(3): 614–629. [赵天璇, 袁明龙, 2017. 我国异色瓢虫的生物生态学特征. 草业科学, 34(3): 614–629.]