日本弓背蚁不同发育阶段形态特征及幼虫体毛研究*

杨 绿** 张亮亮 马若清 贺 虹***

（西北农林科技大学林学院，西部森林灾害治理国家林业和草原局重点实验室，杨凌 712100）

摘 要 【目的】 明确日本弓背蚁 *Camponotus japonicus* 不同发育阶段的形态特征及生长发育历期，重点对幼虫龄期进行划分，并分析不同龄期幼虫体毛的类型，以期为蚂蚁行为生态学研究提供更多信息。**【方法】** 在光学显微镜下观察卵、幼虫、蛹以及成虫（第一批工蚁）的形态特征；根据幼虫头壳宽频数分布直方图，估计幼虫龄期，利用光学显微镜和扫描电子显微镜分析不同龄期幼虫体毛的类型及分布规律。**【结果】**（1）平均每头新蚁后日产卵量约为（2±1）粒，卵期为（13±1）d，幼虫期约（9±2）d，蛹期约（15±1）d，新生工蚁体表颜色较浅、体壁较软，随着日龄增加，体表颜色加深、体壁变硬。（2）根据头壳宽度可将幼虫划分为 3 个龄期：1 龄幼虫头壳宽约（0.488±0.003）mm，2 龄幼虫头壳宽约（0.625±0.003）mm，3 龄幼虫头壳宽约（0.737±0.004）mm。（3）不同龄期幼虫体毛变化较大：1 龄幼虫体表具较多卷曲钩状长毛，2 龄幼虫体表卷曲钩状长毛较少，而 3 龄幼虫体毛较为整齐，无卷曲钩状长毛。（4）幼虫体毛类型可分为无分叉、2 分叉、3 分叉、4 分叉、5 分叉和 6 分叉六个大类及其多个亚类，随着幼虫龄期增加，分叉状体毛增加。**【结论】** 日本弓背蚁幼虫具密集的体毛，不同龄期的体毛类型变化较大，其中低龄幼虫具较多卷曲钩状长毛，能使幼虫聚集在一起，便于工蚁搬运。幼虫头壳宽能够准确划分蚂蚁幼虫龄期，而体毛类型或许能成为估计幼虫龄期的另一项指标。

关键词 生长发育历期；形态特征；幼虫；龄期；体毛

Morphological characteristics of the different developmental stages and larval body hair of *Camponotus japonicus*

YANG Lü** ZHANG Liang-Liang MA Ruo-Qing HE Hong***

(Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration for Control of Forest Biological Disasters in Western China, College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract [Aim] To describe the morphological characteristics and developmental periods of different developmental stages of *Camponotus japonicus* (eggs, larvae, pupae and the first-generation workers), focusing on the division of larval instars, and analyze the types of larval body hair of different instars. **[Methods]** The morphological characteristics of eggs, larvae, pupae, and adults (first-generation workers) were observed under a light microscope. Larval instars were classified according to head capsule width, and the types of larval body hair of different instars were observed using both light microscopy and scanning electron microscopy. **[Results]** (1) Daily egg production of new queens was about (2±1) eggs, the egg stage was (13±1) d, the larval stage was (9±2) d, and the pupal stage was (15±1) d. The bodies of newly emerged workers were pale and soft, but darkened and hardened in subsequent days. (2) Larvae can be divided into three instars according to head capsule width. The head capsule widths of the 1st, 2nd and 3rd, instars were (0.488±0.003), (0.625±0.003), and (0.737±0.004) mm, respectively. (3) The body hair of larvae varies greatly among instars. First instar larvae have more curly, hooked, long hairs than 2nd instar larvae. Third instar larvae have uniform body hair but no curly, hooked, long hair. (4) The body hair types of larvae can be

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金项目（No. 32371566, No.32071490）

**第一作者 First author，E-mail：yang2022050650@nwafu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：hehong@nwafu.edu.cn

收稿日期 Received：2024-12-19；接受日期 Accepted：2025-05-27

divided into 6 major categories and several subtypes, including simple, bifid, 3-branched, 4-branched, 5-branched and 6-branched. The number of forked hairs increases with larval instar. **[Conclusion]** Larvae of *C. japonicus* have dense body hair, the types of which vary greatly among instars. Younger larvae have curlier, hook-like, long hairs, which enables them to clump together and facilitates their transportation by workers. Larval instars can be distinguished on the basis of head capsule width, but body hair type may provide another means of identifying the larval instars of this species.

Key words growth and development period; morphological characteristics; larvae; instar; body hair

蚂蚁是膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae 昆虫的统称，是陆地生态系统中种类和数量最为丰富的节肢动物(Fayle and Klimes, 2022)。同时，蚂蚁也是进化最为成功的社会性昆虫，营群体生活，具有明确的社会分工(Hölldobler and Wilson, 1990)。一个新蚁巢的建立是从一只新蚁后开始的，新蚁后的首要任务是产生第一批卵，并通过营养卵或腺体分泌物的方式将其饲养至幼虫、蛹直至产生第一批工蚁，此后由第一批工蚁开始照顾蚁后及其产生的后代，整个巢群开始繁衍（吴坚和王常禄, 1995; Idogawa *et al.*, 2017)。由于蚂蚁的幼虫处于工蚁照顾之下，无独立生存的能力，因此关于幼虫的研究较为缺乏。但是现有的一些研究表明，蚂蚁幼虫在蚁群中承担了独特的生理功能，如能够帮助消化固体食物并分泌营养液供成虫食用，幼虫的功能可能与蚂蚁超有机体的进化密切相关（ Solis *et al.*, 2011; Fox *et al.*, 2017a; Masuko, 2017)。此外，不同种的蚂蚁幼虫形态存在差异，幼虫体毛类型从简单的无分枝型到复杂的分枝型不等，这些特征不仅具有物种特异性，还会随着幼虫发育阶段而变化，同种不同龄期幼虫体毛类型也变化较大，例如，火蚁属 *Solenopsis* 和粗角猛蚁属 *Cerapachys* 一些低龄期幼虫体毛稀少，但随着幼虫不断发育，高龄幼虫会逐渐被不同类型的体毛覆盖，而芭切叶蚁属 *Atta* 幼虫在整个发育过程中均保持几乎无毛的状态（ Pitts *et al.*, 2005; Solis *et al.*, 2012a; Fox *et al.*, 2017b; Wang *et al.*, 2017)。Idogawa 等（ 2022 ）研究发现切叶蚁亚科 Myrmicinae 普通小家蚁 *Monomorium triviale* 末龄幼虫具有二态性，蚁后的幼虫体表无毛但有 37 个“结节”，而工蚁幼虫则无“结节”，目前仍不清楚这些特异性“结节”在蚁后中的功能。有研究也表明幼虫体毛不仅具有物理防御功能如防水以及聚集功能，还能感知环境信息(Penick *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2017)。因此，蚂蚁幼虫不仅是群体生存的核心功能单位，更是研究蚂蚁社会进化、群体生态适应性的关键因素。

弓背蚁属 *Camponotus* 是蚁科最大的类群之一，在全世界范围内均有分布，日本弓背蚁 *Camponotus japonicus* 作为我国的广布种，多生活于路边、植被稀疏的林内、林缘及林间空地，具有个体大、种群数量多的特点（ 王常禄等, 1989)。日本弓背蚁营养成分丰富，有较好的开发利用价值，同时作为天敌昆虫，对马尾松毛虫 *Dendrolimus punctata* 等地下害虫具有较好的控制作用（ 王常禄等, 1991; 王常禄和吴坚, 1992; 刘铭汤和魏建荣, 1997; 高冬梅等, 2024)。早期已有学者对日本弓背蚁生活史进行了研究，谭声江等（ 1997 ）描述了蚁巢建立初期日本弓背蚁的社会行为及第一批工蚁不同阶段的生长发育历期，张承德等（ 1997 ）对日本弓背蚁卵、幼虫、蛹及成虫形态特征进行了简单描述。国外学者已开展了弓背蚁属若干种类如 *Camponotus textor*、*C. vittatus*、*C. floridanus* 等幼虫的龄期及体毛类型研究，发现不同种类的幼虫龄期以及不同龄期幼虫体毛类型存在明显差异（ Solis *et al.*, 2009, 2010a, 2012b; Wang *et al.*, 2017)，但有关日本弓背蚁幼虫龄期的划分及幼虫体毛类型的研究还没有报道。

本研究通过饲养日本弓背蚁新蚁后，在观察记录其产卵量以及卵、幼虫、蛹和第一批工蚁的形态特征及生长发育历期的基础上，重点对其幼虫龄期进行划分，并利用光学显微镜、扫描电子显微镜对不同龄期幼虫体毛类型进行观察和分析，以期为蚂蚁的行为生态学研究提供更多信息。

1 材料与方法

1.1 日本弓背蚁的采集与饲养

在陕西杨凌西北农林科技大学校园内（34°15′-34°17′N，108°02′-108°05′E），于 5 月中下旬阴雨天后，采集婚飞的日本弓背蚁新蚁后 24 头带回实验室饲养。新蚁后饲养在堵水试管中避光静养，不提供额外的食物，养虫室温度 25 ℃、湿度 60%。同时，采集成熟的蚁巢，包括蚁后、卵、幼虫、蛹、工蚁等，用于不同发育阶段形态学和幼虫龄期观察。将成熟的蚁巢饲养在石膏巢中，巢穴内有数个内凹的巢室，各个巢室间通过圆形通道互通，巢室由圆形器皿覆盖，并覆有红色塑料膜用于遮光，光周期 12 L∶12 D，提供充足的水源，喂食人工饲料（配方：1 枚鸡蛋，62 mL 蜂蜜，1 g 复合维生素，1 g 无机盐，5 g 琼脂，500 mL 蒸馏水）以及浓度为 30%的蜂蜜水，每周再喂食一次黄粉虫 *Tenebrio molitor*（冉浩，2014）。

1.2 卵、幼虫、蛹、成虫（第一批工蚁）生长发育历期及形态观察

在饲养的过程中，每天统计 24 头新蚁后的产卵量、幼虫、蛹和工蚁的数量，记录各阶段的生长发育历期。在光学显微镜 OLYMPUS SZ51 下拍照记录卵、幼虫、蛹以及第一批工蚁的形态特征。

1.3 幼虫龄期的确定

蚂蚁幼虫一般可分为 3-5 个龄期，主要是通过测量幼虫的头壳宽来确定（Solis *et al.*, 2010a）。当成熟蚁巢中蚂蚁各个未成熟阶段（包括卵、幼虫、蛹）都存在时，测量整个蚁巢内所有幼虫的头壳宽。将幼虫取出置于黑布上，使其头部正面朝上，然后使用 OLYMPUS DSX1000 数字显微镜拍照，用内置的测量工具测量幼虫头壳宽和体长（图 4：D），共测量不同大小的幼虫 179 头。利用 Excel 2021 软件绘制频数分布直方图估算幼虫龄期，横坐标为幼虫头壳宽/体长，纵坐标为出现频率（Penick *et al.*, 2012）。同时检验其是否符合戴氏定律（Dyar's law），该定律最常用的指标是幼虫的头壳宽，即各个龄期的幼虫头壳宽是按几何级数增长的，前后两龄幼虫头壳宽比值为一个常数，以此作为判断幼虫龄期的依据（彩万志等, 2011）。

1.4 不同龄期幼虫体毛类型观察

为了分析不同龄期幼虫体毛的差异，分别选择各个龄期头壳宽出现频率最高的幼虫各 6 头，首先在光学显微镜 OLYMPUS SZ51 下进行观察拍照，然后通过扫描电子显微镜（S-3400 型，日本 Hitachi 公司）进一步观察体毛超微结构。

将不同龄期的幼虫放入盛有 2.5%戊二醛固定液（pH = 7.2）的 1.5 mL 离心管中，放置于 4 ℃冰箱保存，固定至少 12 h；吸出管中固定液后，用 PBS 缓冲液（0.1 mol/L，pH = 7.2）清洗 4-5 次，每次 10 min；然后用 30%、50%、70%、80%和 90%乙醇分别对样品进行梯度脱水，每个梯度 15 min，再用 100%乙醇脱水 3 次，每次 30 min；脱水后将样品置于临界点干燥仪（K-850, 英国 Emitech 公司）中进行 CO_2 临界点干燥，1 龄幼虫个体较小，需用滤纸包裹以免丢失；将干燥后的样品粘在覆有导电胶的金属台上，固定好后用离子溅射仪（E-1045 型，日本 Hitachi 公司）喷金，最后在扫描电镜（S-3400 型，日本 Hitachi 公司）下对样品进行拍照观察。

参考 Solis 等（2009, 2010a, 2012b）对弓背蚁属蚂蚁幼虫体毛的分类方式进行日本弓背蚁幼虫体毛的界定。以幼虫体毛的分叉数作为大类，分叉方式及形态特征作为亚类（Subtype）。体毛在端部 1/3 处分叉的称为“顶端分叉”（Tip ramifications），在基部 1/3 处分叉的称为“深分叉”（Deep ramifications），在中部有分叉的称为“中部分叉”（Moderate ramifications）。观察不同龄期幼虫体毛类型并测量其长度，分析其随龄期的变化规律，根据数据特征选用适当的统计方法（两组独立样本比较时采用独立样本 *T* 检验，三组及以上独立样本比较时采用单因素方差分析 ANOVA）进行组间比较，以判断不同组分之间的差异是否显著（$P < 0.05$）。

2　结果与分析

2.1　不同发育阶段形态特征及生长发育历期

日本弓背蚁卵为长椭圆形，淡黄色或乳白色偏透明，表面光滑但具有粘性，通常数个聚集在一起，形成疏松球状体。卵长约（1.315±0.009）mm、宽约（0.598±0.005）mm，长宽比为（2.207±0.022）mm。平均每头新蚁后的日产卵量约为（2±1）粒，卵期为（13±1）d，初期卵的颜色均一，后期卵中部颜色加深、两端透明（图 1：A）。

幼虫为无足型，初期数个聚集在一起，随着虫体的增大逐渐分开，幼虫期约（9±2）d。虫体呈乳白色、偏透明、体表有细刚毛；幼虫头部向内弯曲呈钩状，腹部中部直径最大，向头部和腹末端逐渐减小（图 1：B）。体型较小的幼虫通常聚集在一起，体型较大的幼虫则较分散。受到干扰后，工蚁们用其上颚收集幼虫并将它们搬运到新的位置。体型较小的幼虫能够粘连在一起，有利于工蚁一起搬运，而体型较大的幼虫则由工蚁单独运输。

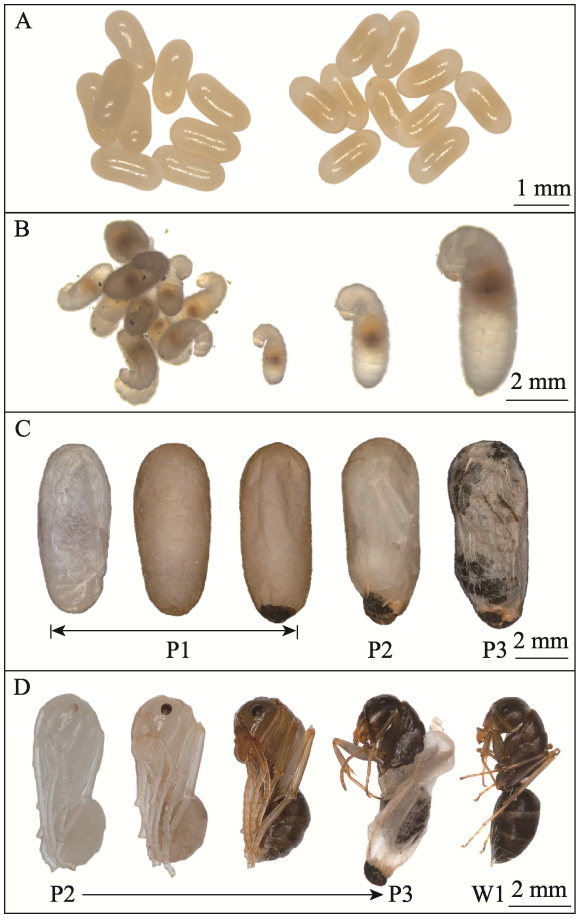

图 1　日本弓背蚁不同发育阶段的形态特征

Fig. 1　Morphology of *Camponotus japonicus* at different developmental stages

A. 卵；B. 幼虫；C. 茧（P1-P3：茧的不同阶段）；D. 剥去茧壳的蛹（P2-P3）和第一批工蚁（W1）。

A. Egg; B. Larvae; C. Cocoon（P1-P3：Different stages of the cocoon）; D. Pupae with its cocoon removed (P2-P3) and the 1st-generation of worker (W1).

幼虫老熟后吐丝结茧，包裹在茧中，乳白色仍呈幼虫状，初期茧为土黄色呈椭圆形，较为饱满，结茧后 2-3 d 茧末端出现黑点（图 1：C：P1），这是日本弓背蚁幼虫进入化蛹时期排出的代谢物；后期茧颜色变深逐渐干瘪，在茧的内部可以看到工蚁形状（图 1：C：P2，P3）。蛹为离蛹，剥去茧壳，早期蛹呈乳白色偏透明，而后颜色逐渐变深，复眼由浅黄褐色变为黑色（图 1：D：P2，P3），蛹期约（15±1）d。

蚁巢内第一头工蚁出生时，由蚁后从工蚁的头部咬破茧壳，并帮其清理脱去茧壳，刚脱去茧壳的蚂蚁足和腹部包裹一层透明薄膜（图 1：D：W1），在蚁后帮助下清理干净后，工蚁才能正常爬行。当蚁巢内出现第一批工蚁后，由其帮助蚁巢中其它新生工蚁撕开茧壳。新生工蚁体表颜色较浅、体壁较软，触角的鞭节、上颚及 6 条足均为淡黄褐色，随着日龄增加，工蚁体表颜色加深、体壁变硬。

2.2　幼虫龄期划分

通过测定成熟蚁巢中 179 头幼虫的头壳宽和体长，建立头壳宽度的频率分布直方图（图 2：A），图中出现了 3 个明显的峰值段，因此可将幼虫划分为 3 个龄期。1 龄幼虫头壳宽约（0.488±0.003）mm，体长约（1.969±0.029）mm（n=78）；2 龄幼虫头壳宽约（0.625±0.003）mm，体长约（3.538±0.106）mm（n=59）；3 龄幼虫头壳宽约（0.737±0.004）mm，体长约（5.754±0.204）mm（n=42）（表 1）。幼虫头壳宽的变化符合戴氏定律，线性回归方程为 y=0.124 4x+0.367 8（R^2=0.996 8）（图 3）。幼虫体长的频率分布图峰值不明显（图 2：B），不能作为幼虫龄期划分的依据。

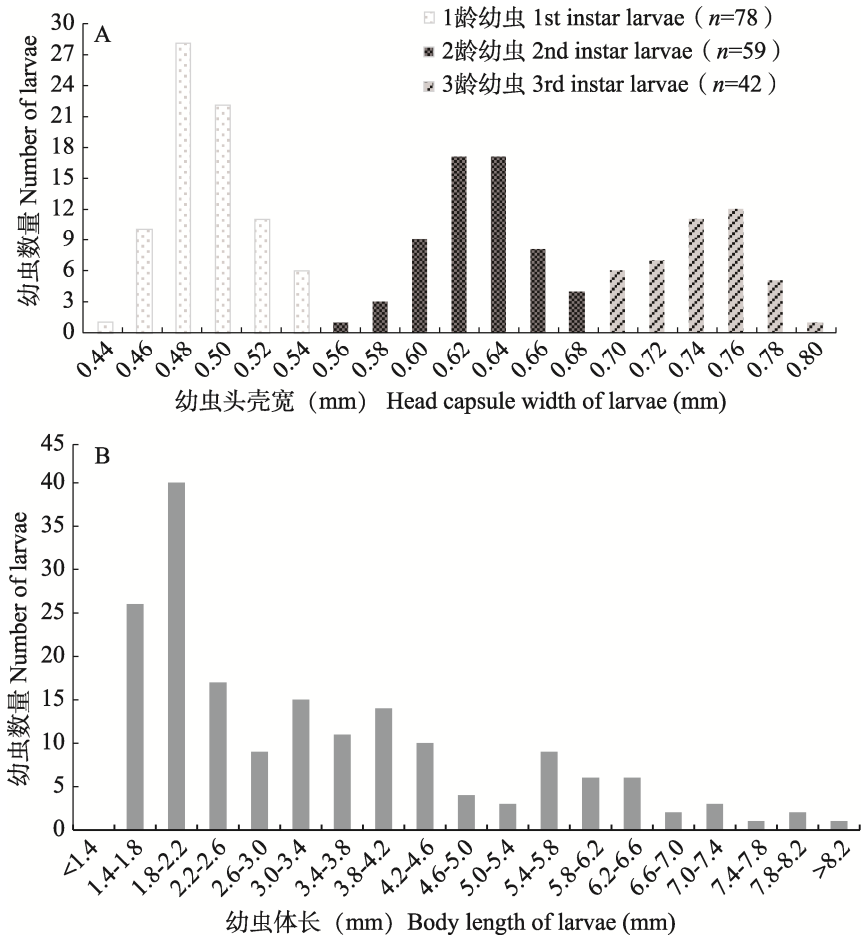

图 2 日本弓背蚁幼虫头壳宽（A）和体长（B）的频数分布图

Fig. 2 Frequency distribution of the head capsule width (A) and body length (B) of *Camponotus japonicus* larvae

表 1 不同龄期日本弓背蚁幼虫形态指标测量

Table 1 Measurement of morphological indexes of *Camponotus japonicus* larvae in different instars

幼虫龄期 Instar of larvae	数量 Number	头壳宽（mm） Head capsule width (mm)	体长（mm） Body length (mm)
1 龄 1st instar	78	0.488±0.003（0.483-0.493）	1.969±0.029（1.911-2.027）
2 龄 2nd instar	59	0.625±0.003（0.618-0.631）	3.538±0.106（3.325-3.750）
3 龄 3rd instar	42	0.737±0.004（0.729-0.746）	5.754±0.204（5.342-6.166）

表中数据为平均值±标准误。Data in the table are mean±SE.

2.3 幼虫体毛类型

在光学显微镜下观察，发现 1 龄幼虫体表存在较多的卷曲钩状长毛（图 4：A，A1），2 龄幼虫体表卷曲钩状长毛较少（图 4：B，B1），3 龄幼虫体毛较为整齐，更加密集，无卷曲钩状长毛（图 4：C，C1）。1 和 2 龄幼虫体表特有的卷曲钩状体毛长度分别为（0.146±0.002）和（0.140±0.003）mm，无显著差异（$P > 0.05$）。除卷曲钩状长毛外，其余类型的体毛长度具有随龄期增加而增长的趋势，1 龄幼虫体毛平均长度为（0.073±0.002）mm，2 龄幼虫为（0.084±0.002）mm，3 龄幼虫为（0.095±0.002）mm，在 3 个龄期间存在显著差异（$F_{(2, 121)} = 33.667$, $P < 0.001$）。因此，幼虫随着蜕皮过程其体毛发生了相应的变化（图 4：E）。

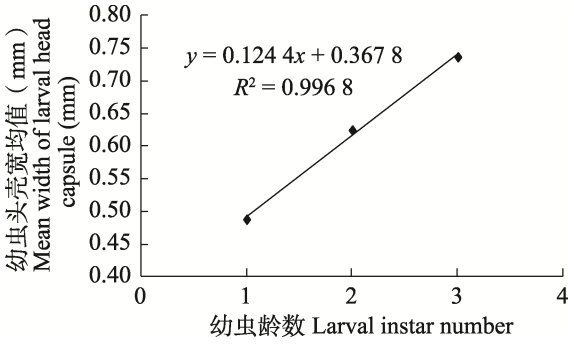

图 3　日本弓背蚁幼虫平均头壳宽与龄期的回归关系

Fig. 3　Regression relationship between the mean head capsule width and instar of *Camponotus japonicus* larvae

在扫描电镜下，幼虫可清晰地分为头部（H）、胸部（T1-T3）和腹部（A1-A10）3 个部分（图 5：A）。观察到 10 对圆形气门，分别位于 T2-A8 段，即 2 对在胸部，8 对在腹部（图 5：B，C），气门的直径约 4 μm（图 5：D）。幼虫头部的体毛较稀疏，而腹部和胸部覆盖较浓密的体毛（图 6）。体毛类型可分为无分叉、2 分叉、3 分叉、4 分叉、5 分叉和 6 分叉六个大类，根据分叉方式及形态又可分为多个亚类，如无分叉类分为 4 个亚类（S1-S4）（图 7：S1-S4），2 分叉类分为 3 个亚类（B1-B3）（图 7：B1-B3），3 分

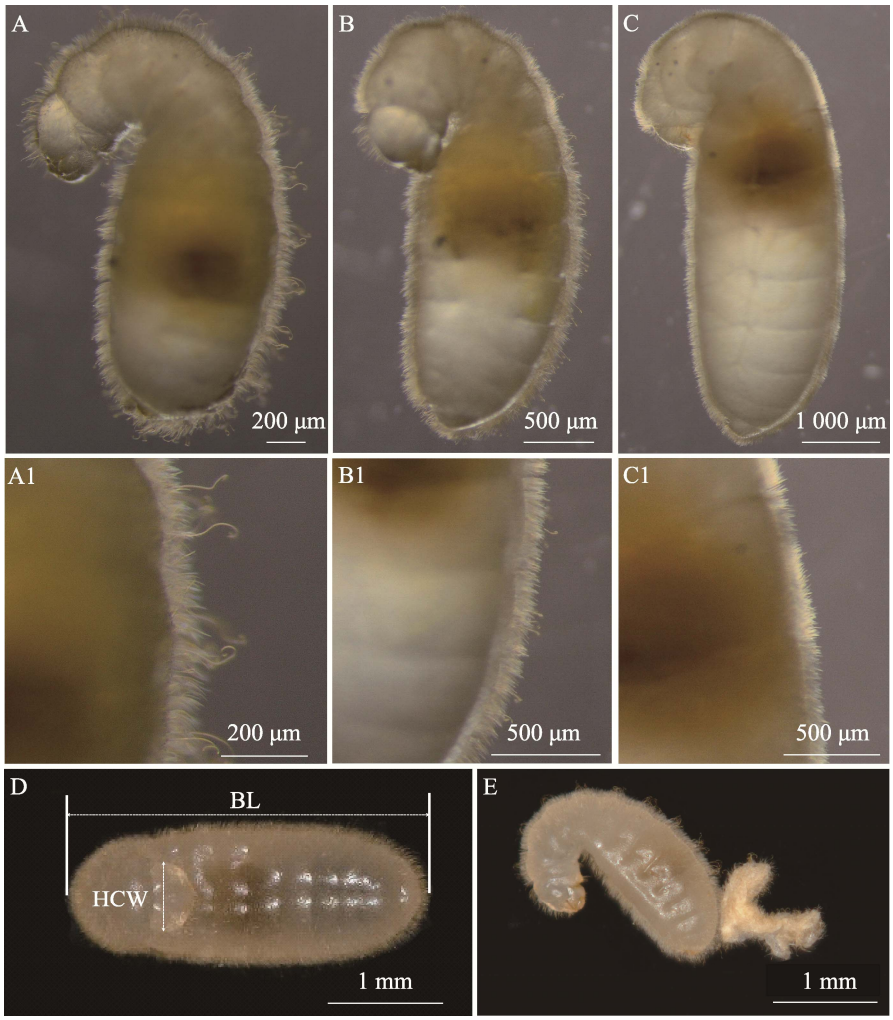

图 4　光学显微镜下日本弓背蚁幼虫的形态

Fig. 4　Morphology of *Camponotus japonicus* larvae under light microscope

A，B，C. 1，2 和 3 龄幼虫整体形态；A1，B1，C1. 1，2 和 3 龄幼虫体毛；D. 幼虫头壳宽和体长的测定（HCW：头壳宽；BL：体长）；E. 蜕皮的幼虫。

A, B, C. Overall morphology of 1st, 2nd and 3rd instar larvae; A1, B1, C1. Hair of 1st, 2nd and 3rd instar larvae; D. Measurement of head capsule width and body length of larvae（HCW: Head capsule width；BL: Body length）; E. Molting larvae.

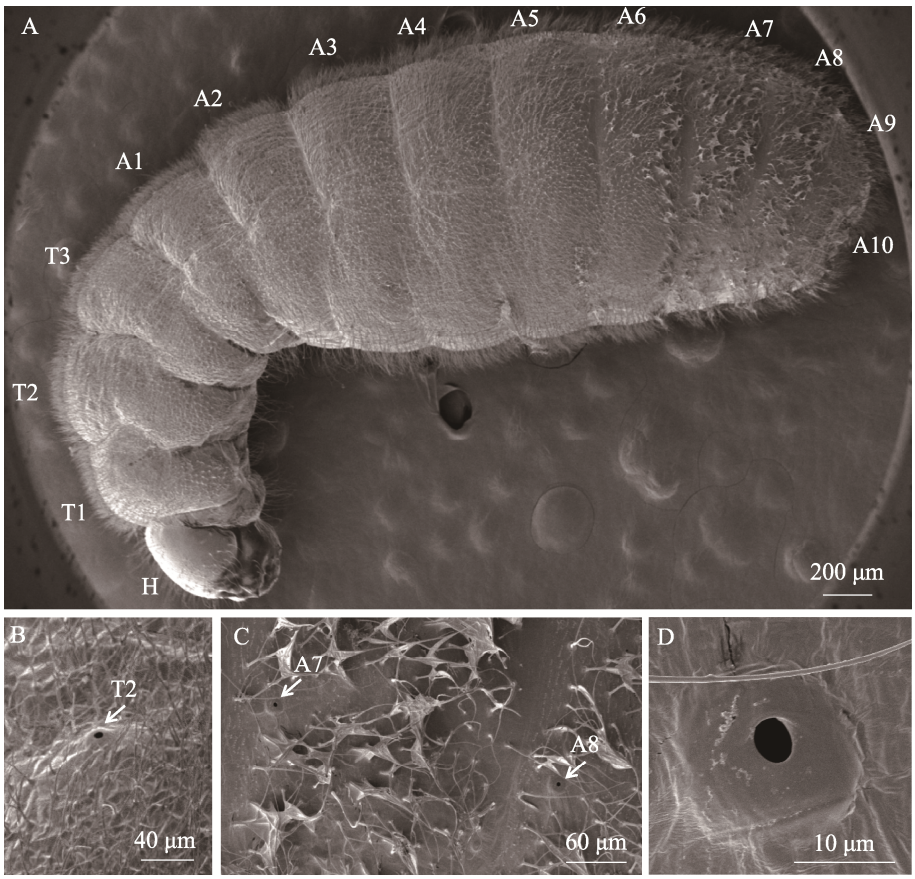

图 5　扫描电镜下日本弓背蚁幼虫的形态及其气门

Fig. 5　Larval morphology and spiracle of *Camponotus japonicus* under scanning electron microscope

A. 幼虫各体节（H：头部；T1-T3：胸部；A1-A10：腹部）；B. 胸部 T2 段气门；C. 腹部 A7、A8 段气门；D. 放大的气门。

A. Body segment of larvae（H: Head；T1-T3: Thoracic；A1-A10: Abdomen）; B. Spiracle in the 2 thoracic somite; C. Spiracle in the 7 and 8 abdomen somite; D. Enlarged spiracle.

叉类分为 4 个亚类（R1-R4）（图 7：R1-R4），4 分叉类分为 4 个亚类（E1-E4）（图 7：E1-E4），5 分叉类分为 4 个亚类（P1-P4）（图 7：P1-P4）。幼虫头部多分布无分叉状体毛，有的光滑（S1 亚类）（图 7：S1），有的具有锯齿（S2 亚类）（图 7：S2），在 3 个龄期均有分布。无分叉有锯齿顶端铁砧形的体毛（S4 亚类）（图 7：S4）可在 1 和 2 龄幼虫头部观察到，而 3 龄幼虫头部则无；2 分叉状体毛在 2 和 3 龄幼虫头部观察到，3 龄幼虫头部还出现部分 3 分叉类型的体毛（R3，R4 亚类）（图 7：R3，R4）。在幼虫体表，1 龄幼虫体表多分布光滑无分叉、卷曲钩状类型的体毛（S3 亚类）（图 7：S3），分叉状体毛多集中在 2 分叉和 3 分叉类型（图 6：A，A2）；2 龄幼虫体表卷曲钩状长毛（S3 亚类）（图 7：S3）数量较 1 龄幼虫减少，多 2 分叉和 3 分叉类型的体毛，还存在少量 4 分叉类型的体毛（E3，E4 亚类）（图 7：E3，E4）以及 5 分叉类型的体毛（P3 亚类）（图 6：B，B2；图 7：P3）；3 龄幼虫体表则缺乏卷曲钩状长毛（S3 亚类）（图 7：S3），多分叉状体毛，甚至有 6 分叉类型（H1 亚类）（图 6：C2；图 7：H1）。图 7 列出了不同分叉类型的体毛，不同龄期幼虫体毛类型及其存在部位在表 2 中进行了归纳总结。

3　讨论

本研究对日本弓背蚁新蚁后建立蚁巢时，不同发育阶段各虫态的特征进行了观察，尤其对幼

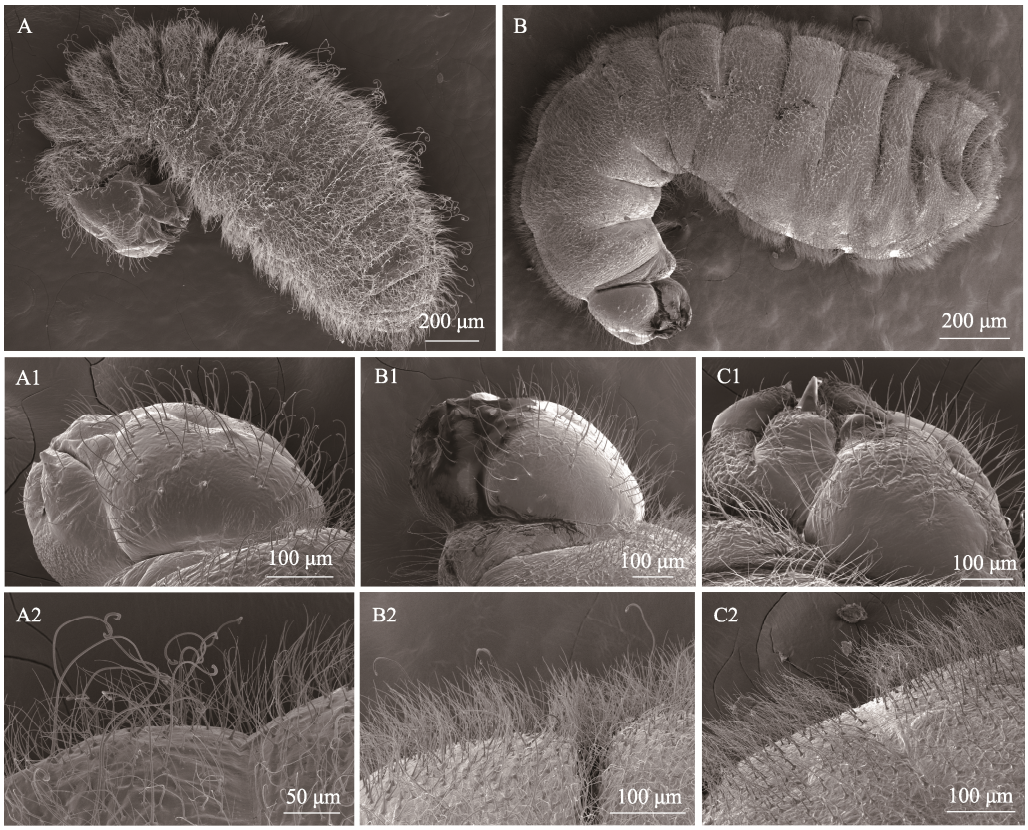

图 6　扫描电镜下日本弓背蚁幼虫整体形态

Fig. 6　Larval morphology of *Camponotus japonicus* under scanning electron microscope

A，B. 1, 2 龄幼虫整体形态；A1，B1，C1. 1, 2, 3 龄幼虫头部；A2，B2，C2. 1, 2, 3 龄幼虫体毛。
A, B. Overall morphology of 1st, 2nd instar larvae; A1, B1, C1. Head of 1st, 2nd, 3rd instar larvae; A2, B2, C2. Hair of 1st, 2nd, 3rd instar larvae.

表 2　日本弓背蚁幼虫体毛类型

Table 2　Types of body hairs of *Camponotus japonicus* larvae

体毛类型 Hair type	亚类 Subtype	特征描述 Description	位置 Location	
			头 Head	身体 Body
无分叉 Simple	S1	体毛无分叉，光滑 Unbranched smooth hair	All	All
	S2	体毛无分叉，有锯齿 Unbranched denticulate hair	All	All
	S3	体毛无分叉，顶端卷曲呈钩状 Unbranched hair with coiled hook on tip	–	L1, L2
	S4	体毛无分叉，有锯齿，顶端铁砧形 Unbranched denticulate hair with an anvil-shaped apical process	L1, L2	L1, L2
2 分叉 Bifid	B1	体毛光滑，顶端二裂 Smooth hair with tip bifid	–	All
	B2	体毛光滑，中部二分裂 Moderately bifid smooth hair	L2, L3	All
	B3	体毛光滑，深二分裂 Deeply bifid smooth hair	L2, L3	All
3 分叉 3-branched	R1	中部分叉，3 个分叉同长 Moderately branched, with all ramifications parting at the same length	–	All

续表 2 (Table 2 continued)

体毛类型 Hair type	亚类 Subtype	特征描述 Description	位置 Location	
			头 Head	身体 Body
3 分叉 3-branched	R2	中部二分裂，第 3 分叉在下部 Moderately bifid and another ramification at a lower length	–	All
	R3	深二分裂，第 3 分叉在下部 Deeply bifid, with another ramifications at a lower length	L3	All
	R4	深裂，3 个分叉同长 Deeply branched, with all ramifications parting at same length	L3	All
4 分叉 4-branched	E1	深裂，2 组二分裂，同长 Deeply branched, with two bifid ramifications at same length	–	All
	E2	深裂，4 个分叉同长 Deeply branched, with all ramifications parting at same length	–	L2, L3
	E3	深裂，1 个二分叉，其他 2 个分叉在下部同长 Deeply branched, with one bifid ramifications and two other simple ramifications at a same, lower length	–	L2, L3
	E4	深三分裂，第 4 分叉在下部 Deeply 3-branched, with another ramifications at a lower length	–	All
5 分叉 5-branched	P1	深裂，1 个四分叉，第 5 个分叉在下部 Deeply branched, with one 4-branched ramifications and another ramification at a lower length	–	L3
	P2	深裂，1 个二分叉，其他 3 个分叉在下部同长 Deeply branched, with one bifid ramifications and three other ramifications at same, lower length	–	L3
	P3	深裂，1 个二分叉，1 个三分叉，分别同长 Deeply branched, with two ramifications at same length, one bifid ramifications and other 3-branched	–	L2, L3
	P4	深裂，5 个分叉同长 Deeply branched, with all ramifications parting at same length	–	L3
6 分叉 6-branched	H1	深裂，1 个四分叉，其他 2 个分叉在下部不同位置 Deeply branched, with one 4-branched ramifications and two other ramifications at different, lower length	–	L3

L1：1 龄幼虫；L2：2 龄幼虫；L3：3 龄幼虫；All：3 个龄期的幼虫都存在；–：不存在。
L1: 1st instar larvae; L2: 2nd instar larvae; L3: 3rd instar larvae; All: The presence of all three instar larvae; –: Non exist.

虫的龄期进行了划分，并对各龄期的体毛类型进行了详细观察。日本弓背蚁平均每只新蚁后的日均产卵量为（2±1）粒，卵期（13±1）d 左右，幼虫期约（9±2）d，蛹期约（15±1）d，从卵发育至工蚁约 37 d。这一结果与谭声江等（1997）对日本弓背蚁社群生活史中幼虫期和蛹期的研究一致，但是卵期的研究结果差异较大，谭声江等（1997）发现新蚁后产的第一批卵 3 d 后就能陆续发育为幼虫，造成这种差异的原因尚不清楚。

本研究测定了日本弓背蚁不同大小幼虫的头壳宽度和体长，发现头壳宽度的频数分布图可以明显将幼虫划分为 3 个龄期，尽管 3 个龄期幼虫个体大小差异较大，但是体长的指标没有出现明显的峰值，不符合戴氏定律，不能作为划分幼虫龄期的指标。而蚂蚁幼虫头壳宽度发育符合戴氏定律，这一结果与其他蚂蚁的研究结果一致（Solis *et al.*, 2009, 2010a, 2012b）。对弓背蚁属其他蚂蚁的研究发现，不同种类间的龄期差异较大，如 *C. noveboracensis* 和 *C. vittatus* 幼虫有 3 个龄期，*C. rufipes* 和 *C. textor* 有 4 个龄期，*C. abdita*、*C. aethiops* 和 *C. vagus* 有 5 个龄期（Solis

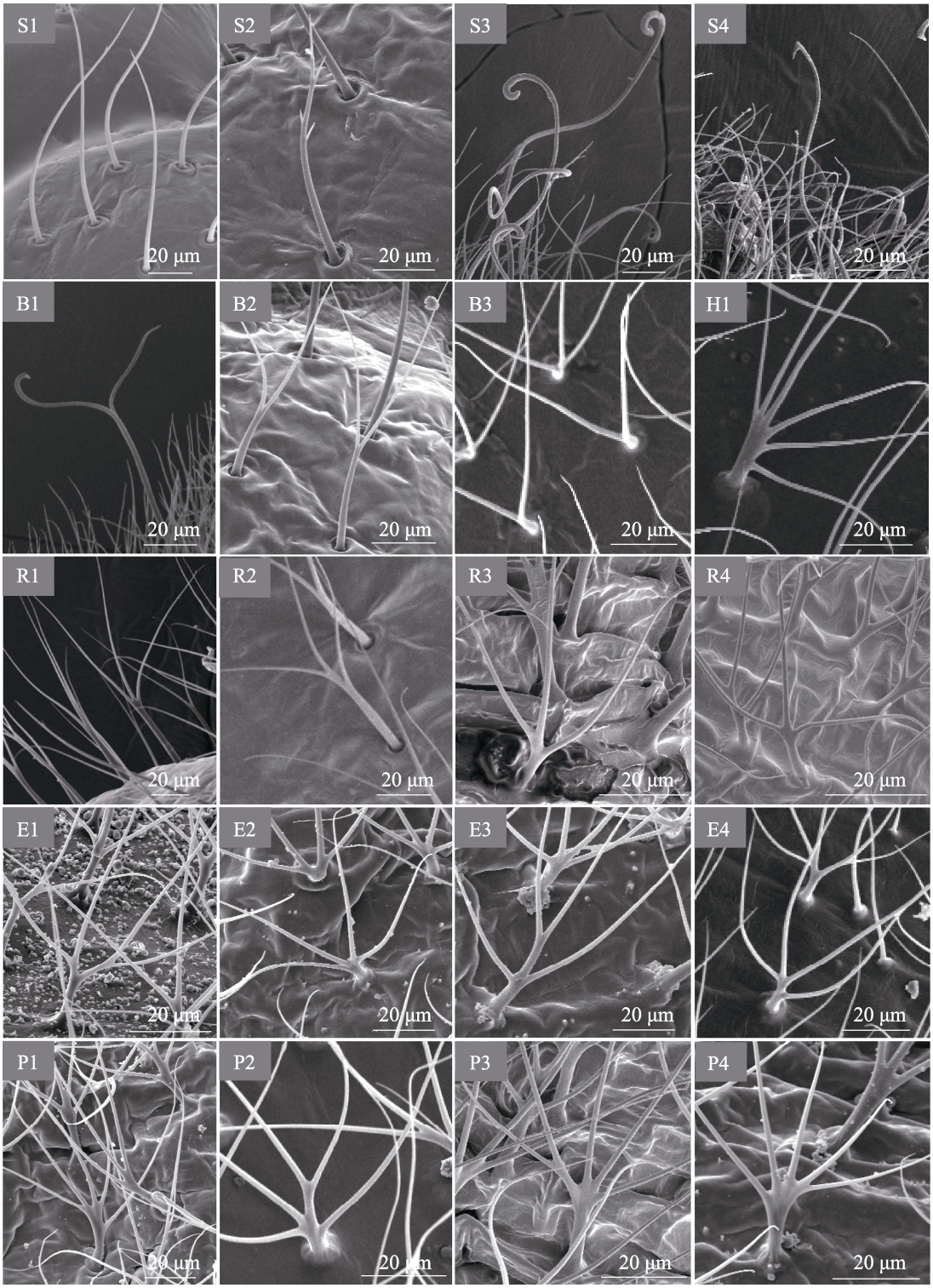

图 7　扫描电镜下日本弓背蚁幼虫体毛类型

Fig. 7　Types of body hairs of *Camponotus japonicus* larvae under scanning electron microscope

S1，S2，S3，S4. 无分叉状体毛；B1，B2，B3. 2 分叉状体毛；H1. 6 分叉状体毛；R1，R2，R3，R4. 3 分叉状体毛；E1，E2，E3，E4. 4 分叉状体毛；P1，P2，P3，P4. 5 分叉状体毛。

S1, S2, S3, S4. Unbranched body hair；B1, B2, B3. Bifid body hair；H1. 6-branched body hair；R1, R2, R3, R4. 3-branched body hair；E1, E2, E3, E4. 4-branched body hair；P1, P2, P3, P4. 5-branched body hair.

et al., 2009, 2010a, 2010b)。造成这种差异的原因可能与该属蚂蚁的系统发育和生物学特性有关。

本研究也观察到日本弓背蚁幼虫有 10 对气门，2 对分布于胸部，8 对分布于腹部，气门的直径较小，在 4 μm 左右，也在一些幼虫体表没有发现气门的存在。这一结果与其他蚂蚁的研究结果一致，如切叶蚁亚科的六刺芭切叶蚁 *Atta sexdens* 幼虫有 10 对气门，2 对在胸部和 8 对在腹部，胸部第 1 对气门最大，向腹部下端减小（ Solis *et al.*, 2012a)。细蚁亚科的日本细蚁 *Leptanilla japonica* 幼虫 T2-A8 段上存在气门但直径很小（大多数小于 3 μm），形状不规则，甚至在一些样本中不存在（ Masuko, 2008)。

此外，本研究发现日本弓背蚁幼虫的体毛类型多样，可分为 6 个大类 20 个亚类，且不同龄期幼虫体毛的类型存在明显差异。1 龄幼虫体表存在较多的卷曲钩状长毛，随着龄期增加逐渐消失，这一结果与弓背蚁属 *C. vittatus* 和 *C. floridanus* 的幼虫比较相似，1 和 2 龄幼虫存在卷曲钩状长毛，3 龄幼虫则无，*C. textor* 的 1、2 和 3 龄幼虫存在卷曲钩状长毛，而 4 龄幼虫则无，相比之下 *C. rufipes* 幼虫所有龄期都具有卷曲钩状长毛(Solis *et al.*, 2009, 2010b, 2012b; Wang *et al.*, 2017)。卷曲钩状体毛不仅在蚁亚科 Formicinae 种类中有提及，在切叶蚁亚科 Myrmicinae 种类中也有描述，例如普通小家蚁 *Monomorium triviale* 的 1 和 2 龄幼虫体表多简单无分叉状体毛，3 龄幼虫体表存在卷曲钩状长毛(Idogawa *et al.*, 2022)。

本研究也发现，随着幼虫龄期的增加，日本弓背蚁幼虫体毛的分叉增多，如 1 和 2 龄幼虫体表无分叉、2 分叉、3 分叉类型的体毛居多，但 3 龄幼虫出现较多 5 分叉和 6 分叉的体毛类型。因此，幼虫体毛类型不仅在不同种之间存在差异，而且在不同的发育阶段也有所不同，体毛的类型、分叉数与幼虫的发育阶段密切相关。在其它蚂蚁中也有类似现象，例如火蚁属和粗角猛蚁属低龄幼虫几乎没有体毛，而高龄幼虫体表覆有密集的不同类型的体毛，而芭切叶蚁属幼虫在整个发育过程中几乎都无毛(Pitts *et al.*, 2005; Solis *et al.*, 2012a; Wang *et al.*, 2017)。因此，在根据幼虫头壳宽划分幼虫龄期的基础上，体毛的类型或许可能成为估计幼虫龄期或大小的另一项指标。

在一些文献中还提到了幼虫体毛可能具有的功能，如 Penick 等（ 2012 ）研究发现切叶蚁亚科瑞亚大头蚁 *Pheidole rhea* 低龄幼虫体毛稀疏、简单，而 4 龄幼虫的腹节 A1-A5 各有一排钩状体毛，每排有 4 根，具有粘附性能，使其能够悬挂在巢穴壁上，避免同类蚕食；Wang 等（ 2017 ）报道弗洛里达弓背蚁 *C. floridanus* 和丝腹弓背蚁 *C. sericeiventris* 幼虫体毛具有防水和幼虫聚集的功能。同样我们也观察到了日本弓背蚁低龄幼虫的聚集现象，这可能得益于其体表多具卷曲钩状体毛，便于工蚁进行喂食和搬运。日本弓背蚁幼虫体毛是否还存在其他可能的功能还有待进一步研究。

参考文献 (References)

Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL, 2011. General Entomology. 2nd edition. Beijing: China Agricultural University Press. 229–230. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦, 2011. 普通昆虫学(第二版). 北京: 中国农业大学出版社. 229–230.]

Fayle TM, Klimes P, 2022. Improving estimates of global ant biomass and abundance. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 119(42): e2214825119.

Fox EGP, Smith AA, Gibson JC, Solis DR, 2017a. Larvae of trap-jaw ants, *Odontomachus latreille*, 1804 (Hymenoptera: Formicidae): Morphology and biological notes. *Myrmecological News*, 25: 17–28.

Fox EGP, Solis DR, Lazoski C, MacKay W, 2017b. Weaving through a cryptic species: Comparing the neotropical ants *Camponotus senex* and *Camponotus textor* (Hymenoptera: Formicidae). *Micron*, 99: 56–66.

Gao DM, Huangfu JY, Guo X, 2024. The predation behavior of *Odontomachus monticola* and *Camponotus japonicus* on black cutworm (*Agrotis ipsilon*). *Scientia Agricultura Sinica*, 57(5): 909–918. [高冬梅, 皇甫佳一, 郭萧, 2024. 山大齿猛蚁和日本弓背蚁对小地老虎的捕食行为. 中国农业科学, 57(5): 909–918.]

Hölldobler B, Wilson EO, 1990. The Ants. Cambridge: Harvard University Press. 1–3.

Idogawa N, Gotoh A, Dobata S, 2022. Morphology of immatures of the thelytokous ant, *Monomorium triviale* Wheeler (Formicidae: Myrmicinae: Solenopsidini) with descriptions of the extraordinary

last-instar queen larvae. *Zootaxa*, 5105(2): 253–268.

Idogawa N, Watanabe M, Yokoi T, 2017. Nutrient allocation for somatic maintenance and worker production by the queen of the Japanese black carpenter ant, *Camponotus japonicus* (Hymenoptera: Formicidae). *Applied Entomol Zoology*, 52(3): 527–530.

Liu MT, Wei JR, 1997. An analysis of the nutrients in *Camponotus japonicus*. *Journal of Northwest Forestry College*, 12(4): 80–81. [刘铭汤, 魏建荣, 1997. 日本弓背蚁营养成分的分析. 西北林学院学报, 12(4): 80–81.]

Masuko K, 2008. Larval stenocephaly related to specialized feeding in the ant genera *Amblyopone*, *Leptanilla* and *Myrmecina* (Hymenoptera: Formicidae). *Arthropod Structure and Development*, 37(2): 109–117.

Masuko K, 2017. Larval instars of the ant *Strumigenys solifontis* Brown (Hymenoptera: Formicidae): The fallacy of size distribution. *Journal of Natural History*, 51(3/4): 115–126.

Penick CA, Copple RN, Mendez RA, Smith AA, 2012. The role of anchor-tipped larval hairs in the organization of ant colonies. *PLoS ONE*, 7(7): e41595.

Pitts JP, McHugh JV, Ross KG, 2005. Cladistic analysis of the fire ants of the *Solenopsis saevissima* species-group (Hymenoptera: Formicidae). *Zoologica Scripta*, 34(5): 493–505.

Ran H, 2014. Fantastic Ants: Wonder of Evolution. Beijing: Tsing Hua University Publishing House. 259–261. [冉浩, 2014. 蚂蚁之美: 进化的奇景. 北京: 清华大学出版社. 259–261.]

Solis DR, Fox EGP, Rossi ML, Bueno OC, 2009. Description of the immatures of workers of the weaver ant, *Camponotus textor* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 54: 541–559.

Solis DR, Fox EGP, Kato LM, de Jesus CM, Yabuki AT, Campos AE, Bueno OC, 2010a. Morphological description of the immatures of the ant, *Monomorium floricola*. *Journal of Insect Science*, 10: 15.

Solis DR, Fox EGP, Rossi ML, De Carvalho Moretti T, Bueno OC, 2010b. Description of the immatures of workers of the ant *Camponotus vittatus* (Hymenoptera: Formicidae). *Florida Entomologist*, 93(2): 265–276.

Solis DR, Nakano MA, Fox EGP, Rossi ML, Feitosa RM, Bueno OC, Morini MS, 2011. Description of the immatures of the ant, *Myrmelachista* Catharinae. *Journal of Insect Science*, 11: 24.

Solis DR, Fox EGP, Ceccato M, Reiss IC, Décio P, Lorenzon N, Da Silva NG, Bueno OC, 2012a. On the morphology of the worker immatures of the leafcutter ant *Atta sexdens* Linnaeus (Hymenoptera: Formicidae). *Microscopy Research and Technique*, 75(8): 1059–1065.

Solis DR, Fox EGP, Rossi ML, Bueno OC, 2012b. Compared morphology of the immatures of males of two urban ant species of *Camponotus*. *Journal of Insect Science*, 12: 59.

Tan SJ, Jin L, Zheng ZM, Wang ZJ, 1997. Colony life circle of *Componotus japonicus*. *Journal of Shaanxi Normal University* (*Natural Science Edition*), 25(S1): 84–86. [谭声江, 金黎, 郑哲民, 王正军, 1997. 日本弓背蚁社群生活史研究. 陕西师范大学学报(自然科学版), 25(S1): 84–86.]

Wang CL, Wu J, Xiao GR, 1991. A study on the bionomics and predatory effect of *Componotus japonicus* to *Dendrolimus punctatus*. *Forest Research*, 4(4): 405–408. [王常禄, 吴坚, 萧刚柔, 1991. 日本弓背蚁生物学特性及捕食马尾松毛虫作用的研究. 林业科学研究, 4(4): 405–408.]

Wang CL, Wu J, 1992. A study on the population dynamics and reproduction of *Camponotus japonicus* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Beijing Forestry University*, 14(3): 69–74. [王常禄, 吴坚, 1992. 日本弓背蚁种群动态及繁殖规律的研究. 北京林业大学学报, 14(3): 69–74.]

Wang CL, Xiao GR, Wu J, 1989. Insect study of *Componotus* (Hymenoptera: Formicidae). *Forest Research*, 2(3): 221–228. [王常禄, 萧刚柔, 吴坚, 1989. 中国弓背蚁属(膜翅目:蚁科)昆虫研究. 林业科学研究, 2(3): 221–228.]

Wang YW, Zuber R, Laudahn A, Berger J, Moussian B, 2017. Cuticular body hairs mediate clumping of small *Camponotus floridanus* larvae. *Arthropod Structure and Development*, 46(1): 108–115.

Wu J, Wang CL, 1995. The Ants of China. Beijing: Chinese Forestry Publishing House. 1–10, 181–182. [吴坚, 王常禄, 1995. 中国蚂蚁. 北京: 中国林业出版社. 1–10, 181–182.]

Zhang CD, Yuan XZ, Liu H, 1997. The colony structure of *Componotus japonicus* and its developing values. *Resource Development and Market*, 13(6): 259–260. [张承德, 袁兴中, 刘红, 1997. 日本弓背蚁群体结构及其开发价值. 资源开发与市场, 13(6): 259–260.]