

角倍性蚜生长特性的研究*

邵淑霞^{1**} 杨子祥¹ 严高红² 陈航¹ 许鑫¹ 魏洪媛¹

(1. 中国林业科学研究院高原林业研究所, 国家林业和草原局资源昆虫培育与利用重点实验室, 昆明 650224;

2. 五峰倍都生态农业发展有限公司, 宜昌五峰土家族自治县 443400)

摘要 【目的】性蚜是角倍蚜 *Schlechtendalia chinensis* (Bell)生活史中一个非常重要的世代, 对角倍产量具有决定性影响, 本研究旨在明确性蚜的部分形态学和生长发育特性, 为五倍子人工培育技术的改进和产量的提高提供科学依据。【方法】采用凹形载玻片单头保育性蚜, 并在倒置荧光显微镜下观察记录性蚜的蜕皮情况及体色变化, 测量其体长及体宽; 用微量电子天平称量其鲜重和干重, 并计算其含水量; 将初生性蚜置于 24 °C 人工气候箱内遮光保育, 湿度设置为 30%、50%、70%和 90%, 统计不同日龄性蚜的死亡数量。【结果】性蚜口器退化; 初产当天就开始蜕皮, 雌性蚜蜕皮 4 次, 雄性蚜蜕皮 3 次, 两者体长、体宽均呈负增长; 出生后的第 5 至第 8 天是性蚜的交配期; 雌性蚜寿命为 25 d 左右, 雄性蚜寿命较短, 最长为 15 d; 在整个生长发育期, 雌性蚜干重有 2 次增加, 分别发生在出生后的第 3 至第 5 天和第 11 至第 17 天; 雄性蚜干重持续降低; 雌性蚜和雄性蚜体内含水量均呈增加趋势, 且后者高于前者; 环境湿度对性蚜的生长发育至关重要, 70%的湿度最利于性蚜的生存, 湿度过高或过低均不利于性蚜的存活。【结论】雌性蚜和雄性蚜在无法从外界取食的情况下, 可完成蜕皮、交配、繁育后代等正常的生命活动, 且体内含水量以及雌性蚜干重均有增加。

关键词 角倍蚜; 性蚜; 形态发育; 体重; 湿度

Growth characteristics of the sexual generation of *Schlechtendalia chinensis*

SHAO Shu-Xia^{1**} YANG Zi-Xiang¹ YAN Gao-Hong²
CHEN Hang¹ XU Xin¹ WEI Hong-Yuan¹

(1. Institute of Highland Forest Science, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Breeding and Utilization of Resource Insects, National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650224, China; 2. Wu Feng Bei Du Ecological Agricultural Development Corporation Limited, Yichang Wufeng Tujia Autonomous County 443400, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the morphology and growth characteristics of the sexual generation of *Schlechtendalia chinensis* (Bell) and thereby improve artificial gallnut cultivation technology and yield. 【Methods】Sexual *S. chinensis* were reared on concave microscope slides and molt, changes in body color, body length and width, observed using an inverted fluorescence microscope. A microelectronic balance was used to measure aphids' fresh and dry weight and thereby calculate their water content. Newborn aphids were placed in dark, artificial climate boxes at 24 °C, at a humidity of either 30%, 50%, 70% and 90% and the number of deaths per day was recorded and compared. 【Results】The mouthparts of sexual aphids are degenerate. Females and males began to molt on the day of birth, molting 4 and 3 times within their lifetime, respectively. Body length and width both showed negative growth trends. Mating occurred 5-8 days after birth. Females survived for 25 days and males for up to 15 days. Females' dry weight increased twice during their lifespan; on the 3rd to 5th day and on the 11th to 17th day after birth. Males' dry weight consistently decreased. The water content of females and males both increased, the latter was higher than the former. The correct environmental humidity was crucial for growth and development; 70%

*资助项目 Supported projects: 中国林业科学研究院面上项目 (CAFYBB2020SY030); 云南省科技厅科技计划项目 (202001AT070016); 国家自然科学基金项目 (31872305)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: shuxiashao@126.com

收稿日期 Received: 2021-11-03; 接受日期 Accepted: 2022-07-27

humidity was optimal, higher or lower humidity was not conducive to normal growth and development. **[Conclusion]** Although the sexual generation *S. chinensis* cannot eat, they complete normal life activities such as molting, mating and reproduction. Furthermore, their water content and female dry weight increase over their lifetime.

Key words *Schlechtendalia chinensis* (Bell); sexuelle; morphological development; weight; humidity

五倍子蚜 (Hemiptera: Aphididae) 是我国重要的资源昆虫, 由其形成的五倍子因富含单宁被广泛应用于医药、化工和电子等行业。角倍蚜 *Schlechtendalia chinensis* (Bell) 是五倍子蚜的一种, 寄生于盐肤木 *Rhus chinensis* 复叶叶翅上, 形成富含单宁的囊状虫瘿, 称为角倍, 是五倍子中产量最大的种类 (陈筋鸿, 2000)。角倍蚜的生活史较为复杂, 完成一个生活周期需要依次经历干母、瘿内无翅干雌、瘿内有翅干雌 (秋迁蚜)、越冬蚜、春迁蚜及性蚜等多个蚜型 (Shao *et al.*, 2013), 其中性蚜是一个非常重要的世代。在生殖方面, 它是角倍蚜所有世代中唯一进行两性交配的世代 (唐觉和张传溪, 1987), 通过两性交配和基因交流, 增加子代适应自然选择的能力, 充分发挥两性生殖的优势, 保证了种群的延续 (唐翊峰, 2014); 生产上, 通过将其保存于纸袋的方式实现了种蚜的长距离运输及多次挂放, 不仅提高了五倍子的产量, 还扩大了五倍子的种植范围 (赖永祺, 1990; 杨子祥等, 2011)。然而, 性蚜的繁殖力有限, 一头性蚜只能孕育一头干母, 而一头干母只能形成一个虫瘿; 另外, 性蚜的死亡率也较高, 因此, 性蚜是制约五倍子产量的重要因素, 如何提高性蚜的繁殖率是五倍子工作者长期致力解决的技术瓶颈。

营养和水分是影响昆虫繁殖和存活的条件, 大部分昆虫主要通过取食的方式获取。然而, 性蚜没有口器, 无法通过取食的方式从外界获取营养和水分, 这或许是影响性蚜繁殖力低, 死亡率高的主要因素。目前, 对角倍蚜的研究多集中于瘿内世代 (Shao *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016, 2017; Chen *et al.*, 2018, 2020), 对其瘿外世代性蚜的研究很少。本研究对性蚜的蜕皮、交配、繁殖、体重和含水量等方面进行了基础的研究, 旨在提高性蚜的存活率, 为五倍子人工培育技术的改进和产量的提高提供科学依据,

为下一步性蚜营养适应策略的研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

春迁蚜即将羽化时, 从湖北省五峰县百年关五倍子人工培育示范基地 (30°10'N, 110°52'E, 海拔 960 m) 采集带虫 (春迁蚜) 苔藓, 置于实验室阴凉处, 室温保湿培养待用。

1.2 雌性蚜和雄性蚜形态特征及生长发育比较

实验室条件下, 将刚羽化的春迁蚜 100 头置于预先垫有潮湿滤纸的培养皿内, 待春迁蚜产性蚜时, 分别挑取初产雌性蚜和雄性蚜各 50 头, 置于凹型载玻片中单头培养, 并用相同凹槽载玻片相扣, 中间垫有潮湿滤纸 (在整个观察期, 保持滤纸潮湿状态, 为性蚜提供发育所需的潮湿环境), 并用橡皮筋封住两端, 防止性蚜从缝隙处逃逸 (图 1), 置于室温下暗处保育。每日用倒置荧光显微镜 (Olympus 1X71) 观察雌性蚜和雄性蚜的蜕皮情况和体色变化, 并测量其体长和体宽, 直至蜕皮结束; 待性蚜即将生育以及生育结束即将死亡时, 再次测定其体长和体宽, 并记录其寿命。



图 1 凹型载玻片单头培养性蚜

Fig. 1 The sexuelle was separately reared in microscope concave slides

1.3 性蚜体重的测定

收集春迁蚜装入三角虫袋内, 每个虫袋 100 头, 将装好的虫袋放入人工气候箱 (BIC-250, 博讯) 中遮光保育, 保育条件设置温度为 $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 。待春迁蚜产下性蚜后, 从虫袋内收集不同日龄的雌性蚜 (1、3、5、8、11、14、16、17、20 和 23 d) 和雄性蚜 (1、3、5、8、11 和 14 d) 各 1 000 头。将雌性蚜和雄性蚜分别以每 100 头为一个单位, 用微量电子天平 (Mettler Toledo, 精确度 0.01 mg) 称重, 记为鲜重 (HW); 然后将虫体置于 $60 ^\circ\text{C}$ 的烘箱中 48 h, 并称重, 记为干重 (DW)。设置 10 个重复。用下列公式换算得到单头性蚜的鲜重 (HW_1)、干重 (DW_1) 和含水量。

$$HW_1 = HW / 100,$$

$$DW_1 = DW / 100,$$

$$\text{性蚜含水量}(\%) = (HW_1 - DW_1) / HW_1 \times 100。$$

1.4 湿度对性蚜死亡率的影响

将初产的雌性蚜和雄性蚜分别装入三角虫袋中, 每袋各装 50 头。分别置于湿度为 30%、50%、70% 和 90% 的人工气候箱 (BIC-250, 博讯) 内遮光保育, 保育温度为 $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 统计不同日龄的雌性蚜 (5、7、9、11、13、15、17、20 和 23 d) 和雄性蚜 (5、7、9、11、13、15 和 17 d) 的死亡数量, 每个湿度处理均放置 90 个虫袋, 每次每个处理各统计 10 袋, 虫袋不重复利用。

1.5 数据处理与分析

实验数据用平均值 $\pm$ 标准差表示, 其中体长和体宽采用 SPSS 11.5 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 在 $P < 0.01$ 水平下检验其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 雌性蚜和雄性蚜形态特征及生长发育比较

2.1.1 雌性蚜和雄性蚜的形态特征 雌性蚜 (图 2: A) 和雄性蚜 (图 2: B) 均没有口器, 它们的体型和体色存在明显的差异 (图 3)。雌性蚜个头较大, 体型较为肥胖, 初产时体色呈黄褐色 (图 3: A), 随生长发育的推进体色逐渐加深, 发育后期呈棕褐色 (图 3: B); 雄性蚜个头较小, 体型瘦长, 约为雌性蚜大小的 1/2 (图 3: F), 初产时体色呈浅绿色 (图 3: D), 发育后期呈墨绿色 (图 3: E)。

2.1.2 雌性蚜和雄性蚜的生长发育 雌性蚜和雄性蚜初产当天开始蜕皮, 每天蜕皮 1 次, 分别需要蜕皮 4 次和 3 次才可发育成熟 (表 1)。出生后的第 5 至第 8 天是性蚜的交配期, 交配后, 雄性蚜很快死亡, 寿命最长为 15 d; 雌性蚜继续发育, 几乎不移动, 约在出生后的第 23 天时, 以卵胎生的方式产下一头干母, 生产后的 1-2 d, 雌性蚜死亡, 寿命为 25 d 左右。

2.1.3 雌性蚜和雄性蚜的体长和体宽 与其它大多数昆虫不同, 雌性蚜和雄性蚜蜕皮后体长、

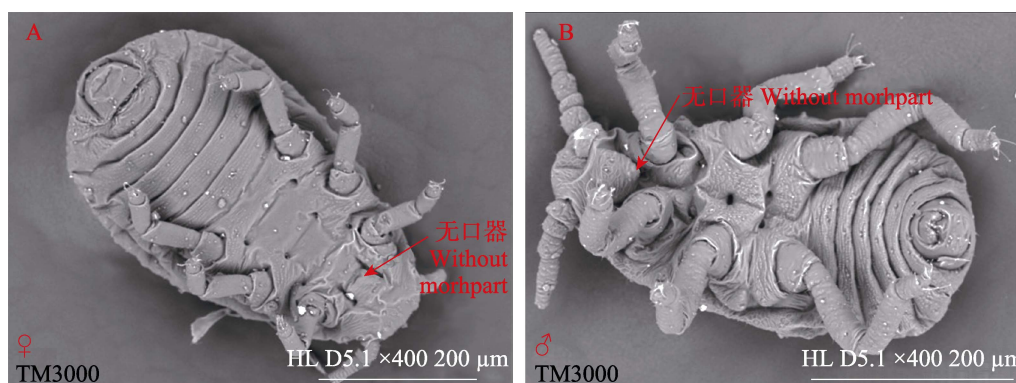


图 2 口器退化的角倍性蚜雌性蚜 (A) 和雄性蚜 (B)

Fig. 2 Female (A) and male (B) sexuales of *Schlechtendalia chinensis* without mouthpart

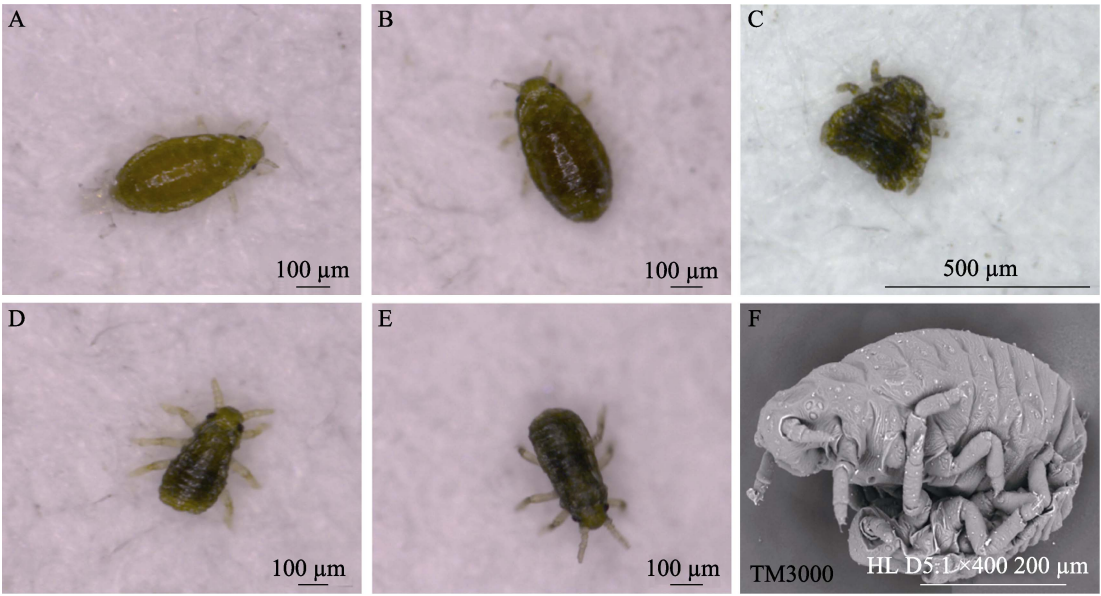


图 3 角倍蚜雌性蚜和雄性蚜形态特征

Fig. 3 The size and morphological differences between male and female sexuelle

A. 发育初期的雌性蚜; B. 发育后期的雌性蚜; C. 生育结束的雌性蚜; D. 发育初期的雄性蚜;
E. 发育后期的雄性蚜; F. 正在交配的雌性蚜和雄性蚜。
A. Female in early development; B. Female in later development; C. Female after giving birth;
D. Male in early development; E. Male in later development; F. The mating male and female.

表 1 雌、雄性蚜体长及体宽的变化

Table 1 The changes in body length and width of sexuelle

性蚜 Sexuale	发育历期 Developmental duration	体长 (μm) Body length (μm)	体宽 (μm) Body width (μm)	蜕皮次数 Molt times	寿命 (d) Longevity (d)
雌性 Female	1 日龄 1-day-old	514.909 ± 33.537 a	268.213 ± 27.059 a	4	≤25
	2 日龄 2-day-old	482.907±38.291 b	243.682±26.259 b		
	3 日龄 3-day-old	480.813±39.081 b	240.537±33.482 b		
	4 日龄 4-day-old	472.996±35.423 bc	237.722±30.428 b		
	5 日龄 5-day-old	469.794±9.404 bc	236.928±13.615 b		
	23 日龄 23-day-old	456.637±36.730 c	235.087±37.854 b		
	25 日龄 25-day-old	283.693±28.805 d	260.436±23.994 a		
	F 值 F value	161.507	5.077		
	P 值 P value	0.000	0.000		
雄性 Male	1 日龄 1-day-old	439.678±23.415 a	202.760±12.894 a	3	≤15
	2 日龄 2-day-old	384.837±61.808 b	177.755±15.824 b		
	3 日龄 3-day-old	381.794±36.955 b	172.130±19.926 b		
	4 日龄 4-day-old	358.859±35.579 c	171.850±16.131 b		
	15 日龄 15-day-old	211.646±29.232 d	153.166±15.634 c		
	F 值 F value	181.003	41.789		
	P 值 P value	0.000	0.000		

表中数据为平均值±标准差; 不同性别蚜虫同列数据后标有不同小写字母表示在 $P<0.01$ 水平差异极显著 (单因素方差分析)。
Data in the table are mean ± SD; those of different sexuality within the same column followed by different lowercase letters are extremely significant difference at 0. 01 level (One-way ANOVA).

体宽均表现为负增长(表1)。1日龄雌性蚜、雄性蚜的体长和体宽均是整个发育期的最高值,显著高于其它阶段($P < 0.01$),雌性蚜的体长和体宽分别为(514.909 ± 33.537) μm 和(268.213 ± 27.059) μm ,雄性蚜体型稍小,体长和体宽分别为(439.678 ± 23.415) μm 和(202.760 ± 12.894) μm 。每次蜕皮,雌性蚜、雄性蚜的体长和体宽均有不同程度的降低,2日龄时下降幅度最大,雌性蚜体长降至(482.907 ± 38.291) μm ,缩短了6.22%,体宽降至(243.682 ± 26.259) μm ,缩短了9.15%,雄性蚜的体长降至(384.837 ± 61.808) μm ,缩短了12.47%,体宽降至(177.755 ± 15.824) μm ,缩短了12.33%,雄性蚜的降低幅度较雌性蚜更为明显。

3日龄后,雌性蚜的体长和体宽仍呈下降趋势,但各阶段之间的差异并不显著($P > 0.05$),直至生育结束后,雌性蚜的体型发生明显变化,由椭圆形变为三角形(图3:C),其体长显著降至(283.693 ± 28.805) μm ,体宽则增加至(260.436 ± 23.994) μm ($P < 0.01$)。

相比较雌性蚜,3日龄后,雄性蚜体长和体宽的变化较为明显,临近死亡时(第15天),其体型虽没发生明显变化,体长和体宽降至(211.646 ± 29.232) μm 和(153.166 ± 15.634) μm ,与雄性蚜其它阶段的差异达极显著水平($P < 0.01$)。

2.2 雌性蚜和雄性蚜体重的变化

2.2.1 雌性蚜和雄性蚜鲜重的变化 雌性蚜、雄性蚜的体重(鲜重)变化如图4。由图4可以看出,雌性蚜和雄性蚜鲜重的变化趋势不同。雌性蚜的鲜重自出生后先降低,在第3天时,鲜重开始增加,于第5天达到整个生育期的最高值15.65 $\mu\text{g}/\text{头}$,雌性蚜发育成熟,进入交配期,交配期间(第5天至第8天),雌性蚜的鲜重直线下降,第8天交配结束时,仅达4.96 $\mu\text{g}/\text{头}$;而后雌性蚜的鲜重下降较为缓慢,第11天后鲜重开始缓慢回升,至第14天时鲜重由4.12 $\mu\text{g}/\text{头}$ 增加至4.40 $\mu\text{g}/\text{头}$,随后,鲜重开始直线增加,第16天时增加至14.45 $\mu\text{g}/\text{头}$,与第14天时相比,

两天内鲜重增加了两倍多,几乎接近刚出生时的鲜重(15.57 $\mu\text{g}/\text{头}$);临近生育时,雌性蚜鲜重虽然有所下降,但降幅不大,仍达11.03 $\mu\text{g}/\text{头}$ 。

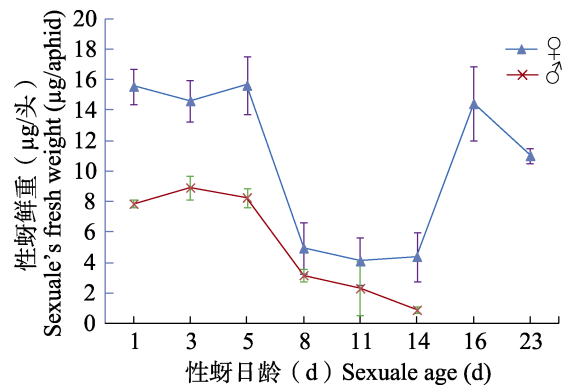


图4 雌性蚜和雄性蚜鲜重动态变化

Fig. 4 The dynamic changes of sexual's fresh weight

与雌性蚜相比,雄性蚜的鲜重仅在刚出生的第1至第3天内有所增加,由7.87 $\mu\text{g}/\text{头}$ 增加至8.93 $\mu\text{g}/\text{头}$,随后则一直呈下降趋势。其中,在交配期(第5至第8天),雄性蚜的鲜重下降较为明显,由8.28 $\mu\text{g}/\text{头}$ 降至3.18 $\mu\text{g}/\text{头}$,在生命即将结束时,其鲜重仅为0.9 $\mu\text{g}/\text{头}$ 。

2.2.2 雌性蚜和雄性蚜干重的变化 雌性蚜干重变化与其鲜重变化较为相似(图5),在整个生育期均出现两次重量增加的阶段,第一次增重在出生后的第3至第5天,干重由7.04 $\mu\text{g}/\text{头}$ 增加至7.65 $\mu\text{g}/\text{头}$,第二次增重在出生后的第11至第17天,干重由1.72 $\mu\text{g}/\text{头}$ 增加至5.62 $\mu\text{g}/\text{头}$;其余阶段,雌性蚜干重均呈减少趋势,交配期(第5至第8天)的减重最为明显,由7.65 $\mu\text{g}/\text{头}$

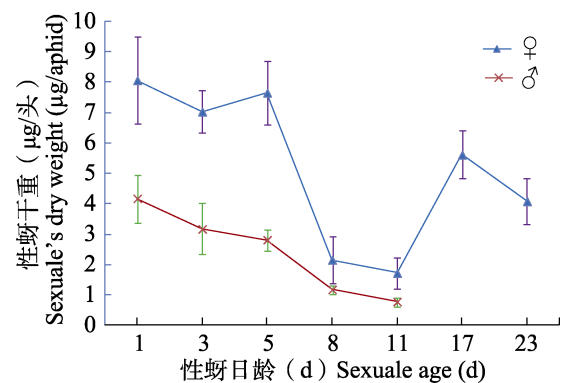


图5 雌性蚜和雄性蚜干重动态变化

Fig. 5 The dynamic changes of sexual's dry weight

减至 2.15 $\mu\text{g}/\text{头}$ ；发育后期，雌性蚜干重缓慢下降，在第 23 天即将生育干母时，雌性蚜干重为 4.09 $\mu\text{g}/\text{头}$ 。

雄性蚜干重在整個发育期均呈下降趋势，刚出生雄性蚜干重为 4.18 $\mu\text{g}/\text{头}$ ，交配期（第 5 至第 8 天）降幅最大，由 2.82 $\mu\text{g}/\text{头}$ 降至 1.18 $\mu\text{g}/\text{头}$ ，发育结束即将死亡时，雄性蚜干重仅达 0.78 $\mu\text{g}/\text{头}$ 。

2.2.3 雌性蚜和雄性蚜含水量的变化 雌性蚜出生时体内含水量为 48.19%，随着发育的进行，除在第 3 至第 5 天（由 51.91%降至 51.11%）和第 20 至第 23 天（由 63.05%降至 62.96%）含水量有少许降低外，在其它发育阶段，雌性蚜含水量均有所增加，尤以交配期（第 5 至第 8 天）增加的最为明显，含水量由 51.11%增加至 56.58%（图 6）。

雄性蚜体内的含水量，仅在出生时稍低于雌性蚜，为 46.92%，其它发育阶段体内含水量均高于雌性蚜（图 6）。雄性蚜体内含水量的变化仅在交配期（第 5 至第 8 天）由 65.98%降为 62.89%，其余阶段体内含水量均呈增加趋势，11 日龄雄性蚜体内含水量仍高达 66.44%。

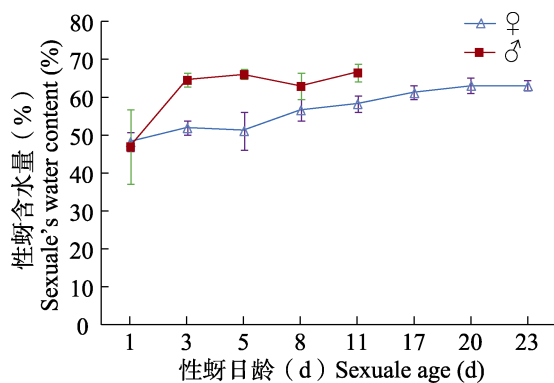


图 6 雌性蚜和雄性蚜含水量的动态变化

Fig. 6 The dynamic changes of sexuale's water content

2.3 湿度对性蚜死亡率的影响

湿度对雌性蚜死亡率的影响如图 7，4 种湿度处理下，70%的湿度最适合雌性蚜的生长，其死亡率在整个发育过程中均最低；90%湿度环境下，雌性蚜的死亡率居中；30%和 50%的湿度不利于雌性蚜的生长，死亡率较高。

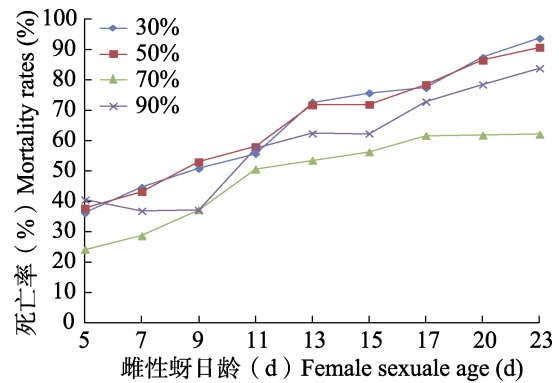


图 7 湿度对雌性蚜死亡率的影响

Fig. 7 Effects of humidity on the mortality rates of female sexuale

湿度对雄性蚜死亡率的影响如图 8，在性蚜出生后的第 5 至第 9 天内，4 种湿度环境下，雄性蚜死亡率的变化趋势与雌性蚜的相似，均是 70%湿度环境下死亡率最低，其次是 90%的湿度环境，30%和 50%湿度下，死亡率较高；9 d 后，4 种湿度处理下，雄性蚜的死亡率均呈直线增加；11 d 后，4 种湿度处理的雄性蚜死亡率均很高，4 条趋势线几乎重合在一起。

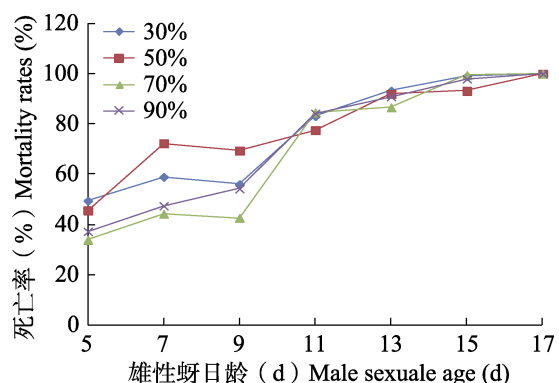


图 8 湿度对雄性蚜死亡率的影响

Fig. 8 Effects of humidity on the mortality rates of male sexuale

3 结论与讨论

在角倍蚜的整个生活史中，性蚜是唯一的有性世代，雌性蚜和雄性蚜不仅在体色、体型方面存在很大的差别，两者蜕皮次数也不同，雄性蚜一生可蜕皮 3 次，雌性蚜蜕皮 4 次，雌、雄性蚜蜕皮次数的不同，可能是为了避免同胞雌、雄性蚜之间的交配，从而增加后代的遗传多样性；此

外, 雌性蚜和雄性蚜的寿命长短差别也很大, 雄性蚜最多可生存 15 d, 而雌性蚜寿命可长达 25 d, 且于第 23 天左右, 每头雌性蚜以卵胎生的方式生产一头干母。

雌性蚜和雄性蚜均没有口器, 无法从外界取食。由于没有取食营养的补给, 性蚜不同于其它昆虫, 其体长、体宽随着蜕皮次数的增加逐渐减少, 呈负增长趋势; 另外, 雄性蚜干重在整個生长发育期也呈下降趋势, 尤以交配期下降的最为明显, 在发育结束即将死亡时, 其干重仅为 $0.78 \mu\text{g}/\text{头}$; 雌性蚜干重的变化则不同, 在生长发育期间, 雌性蚜干重有 2 次增长的阶段, 第一次在出生后的第 3 至第 5 天, 并于第 5 天时达到整个生长期的最高值 $7.65 \mu\text{g}/\text{头}$, 这次干重的增加可能是为交配积聚更多的营养; 第二次在出生后的第 11 至第 17 天, 其干重几乎回升至雌性蚜刚出生时的体重, 此阶段干重的增加可能是为后期胚胎的发育积聚更多的营养。

一般来说, 在无外来营养补给的情况下, 仅靠自身存储的营养, 生物体干重随发育的进行是逐渐减少的, 如雄性蚜。在无法取食的情况下, 雌性蚜不仅可以进行正常的蜕皮、交配和繁殖等生命活动, 且干重还能有所增加, 那么雌性蚜是通过何种方式获得营养的呢? 自然界中, 昆虫主要通过取食的方式从外界摄入营养; 有些昆虫可以通过光合作用方式获得营养, Nancy 和 Tyler (2010) 的研究发现, 豌豆蚜体内具有合成类胡萝卜素的基因, 可以自身合成类胡萝卜素, 从而吸收阳光进行光合作用, 为自己提供能量; 还有一些昆虫可以借助体内共生菌通过生物固氮的方式合成营养, 目前已在白蚁 (Cleveland, 1925)、蚂蚁 (van Borm *et al.*, 2002)、蟑螂 (Tai *et al.*, 2016)、果蝇 (Behar *et al.*, 2005)、胭脂虫 (Vera-Ponce de León *et al.*, 2017) 以及一些甲虫 (Morales-Jiménez *et al.*, 2013) 体内均检测到固氮微生物, 这些固氮微生物可以为宿主昆虫提供足够及平衡的营养物质, 对宿主昆虫的营养、存活及适应力等都会产生巨大的影响 (Biedermann and Vega, 2020; Vega and Biedermann, 2020)。

除营养外, 口器的退化导致性蚜也无法通过

取食的方式从外界获取水分, 但雌性蚜和雄性蚜体内含水量总体呈增加趋势: 雌性蚜仅是在蜕皮期间 (第 3 至第 5 天) 和即将生育 (第 20 至第 23 天) 时, 体内含水量稍有降低, 其它发育阶段, 体内含水量均呈增加趋势, 尤以交配期增加的最为迅速; 而雄性蚜则恰好相反, 交配期体内含水量明显下降, 其余阶段均呈增加趋势。交配期, 雌性蚜体内含水量增加、雄性蚜体内含水量降低, 可能是由于交配时, 雄性蚜体内的水分随精液注入雌性蚜体内所致。

通过研究环境湿度对性蚜存活的影响发现, 70% 的湿度最利于性蚜的生存, 环境湿度过高或过低均不利于性蚜的存活, 由此可见, 水分对性蚜的生长发育至关重要。那么性蚜在口器退化的情况下, 是如何获取水分、维持体内水分平衡的呢? 对于一些从食物源中很难获取足够水分的昆虫, 有些昆虫可以形成一些特化的结构, 如亚鞘窝、毛及液囊等 (Grube and Rudolph, 1999; Philips, 2000; Yoder *et al.*, 2006), 用以吸收空气中的水分; 有些昆虫会采取躲在树皮裂缝 (Danks, 2000)、静止不动 (Benoit *et al.*, 2005)、聚集 (Bong *et al.*, 2018) 以及在地面以下搜寻食物 (Hu *et al.*, 2012) 等行为措施来躲避干燥环境及减少体内水分的耗散; 还有一些昆虫主要通过生理调节的方式来有效的减少或补充昆虫体内水分的损失, Benoit 等 (2007) 的研究发现, 昆虫血淋巴内的葡萄糖和海藻糖等糖类物质可以通过分解释放能量并产生代谢水的方式维持体内水分的平衡; 还有一些昆虫可以通过改变表皮脂质的组成及结构的方式来降低表皮的渗透性 (Benoit *et al.*, 2005; Bazinet *et al.*, 2010)。

性蚜口器退化, 无法通过取食的方式从外界获取营养和水分, 但是它不仅能进行正常的生长、蜕皮、交配和繁殖等生命过程, 其体重和含水量还均有增加, 性蚜是通过何种方式维持或获得生命过程所需营养和水分的, 将是我们下一步研究的重点内容。

参考文献 (References)

- Bazinet AL, Marshall KE, MacMillan HA, Williams CM, Sinclair BJ, 2010. Rapid changes in desiccation resistance in *Drosophila*

- melanogaster* are facilitated by changes in cuticular permeability. *Journal of Insect Physiology*, 56(12): 2006–2012.
- Behar A, Yuval B, Jurkevitch E, 2005. Enterobacteria-mediated nitrogen fixation in natural populations of the fruit fly *Ceratitis capitata*. *Molecular Ecology*, 14(9): 2637–2643.
- Benoit JB, Lopez-Martinez G, Elnitsky MA, Lee Jr RE, Denlinger DL, 2007. Moist habitats are essential for adults of the Antarctic midge, *Belgica antarctica*, to avoid dehydration. *European Journal of Entomology*, 104(1): 9–14.
- Benoit JB, Yoder JA, Rellinger EJ, Ark JT, Keeney GD, 2005. Prolonged maintenance of water balance by adult females of the American spider beetle, *Mezium affine* Boieldieu, in the absence of food and water resources. *Journal of Insect Physiology*, 51(5): 565–573.
- Biedermann PHW, Vega FE, 2020. Ecology and evolution of insect-fungus mutualisms. *Annual Review of Entomology*, 65: 431–455.
- Bong LJ, Neoh KB, Yoshimura T, 2018. Comparison of water relation in two powderpost beetles relative to body size and ontogenetic and behavioral traits. *Environmental Entomology*, 47(4): 1–7.
- Chen H, Liu J, Cui K, Lu Q, Wang C, Wu HX, Yang ZX, Ding WF, Shao SX, Chen XM, 2018. Molecular mechanisms of tannin accumulation in *Rhus* galls and genes involved in plant-insect interactions. *Scientific Reports*, 8(1): 9841–9852.
- Chen JH, 2000. Situation and prospect of the chemical utilization of gallotannins in China. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 20(2): 70–82. [陈箭鸿, 2000. 我国没食子单宁化学利用现状与展望. 林产化学与工业, 20(2): 70–82.]
- Chen XM, Yang ZX, Chen H, Qi Q, Liu J, Wang C, Shao SX, Lu Q, Li Y, Wu HX, King-Jones K, Chen MS, 2020. A complex nutrient exchange between a gall-forming aphid and its plant host. *Frontiers in Plant Science*, 11: 811.
- Cleveland LR, 1925. The ability of termites to live perhaps indefinitely on a diet of pure cellulose. *Biological Bulletin*, 48(4): 289–293.
- Danks HV, 2000. Dehydration in dormant insects. *Journal of Insect Physiology*, 46(6): 837–852.
- Grube S, Rudolph D, 1999. The labial gland reservoirs (water sacs) in *Reticulitermes santonensis* (Isoptera: Rhinotermitidae): Studies of the functional aspects during microclimatic moisture regulation and individual water balance. *Sociobiology*, 33(3): 307–323.
- Hu J, Neoh KB, Appel AG, Lee CY, 2012. Subterranean termite open-air foraging and tolerance to desiccation: Comparative water relation of two sympatric *Macrotermes* spp. (Blattodea: Termitidae). *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A. Molecular and Integrative Physiology*, 161(2): 201–207.
- Lai YQ, 1990. Techniques for Increasing Gallnut Yield. Beijing: China Forestry Press. 1–19. [赖永祺, 1990. 五倍子丰产技术. 北京: 中国林业出版社. 1–19.]
- Morales-Jiménez J, Vera-Ponce de León A, García-Domínguez A, Martínez-Romero E, Zúñiga G, Hernández-Rodríguez C, 2013. Nitrogen-fixing and uricolytic bacteria associated with the gut of *Dendroctonus rhizophagus* and *Dendroctonus valens* (Curculionidae: Scolytinae). *Microbial Ecology*, 66(1): 200–210.
- Nancy AM, Tyler J, 2010. Lateral Transfer of genes from fungi underlies carotenoid production in aphid. *Science*, 328(5978): 624–627.
- Philips TK, 2000. Phylogenetic analysis of the new world ptininae (Coleoptera: Bostrichoidea). *Systematic Entomology*, 25(2): 235–262.
- Shao SX, Yang ZX, Chen XM, 2013. Gall development and clone dynamics of the galling aphid *Schlechtendalia chinensis* (Hemiptera: Pemphigidae). *Journal of Economic Entomology*, 106(4): 1628–1637.
- Tai V, Carpenter KJ, Weber PK, Nalepa CA, Perlman SJ, Keeling PJ, 2016. Genome evolution and nitrogen-fixation in bacterial ectosymbionts of a protist inhabiting wood-feeding cockroaches. *Applied Environmental Microbiology*, 82(15): 4682–4695.
- Tang J, Zhang CX, 1987. Study on biology of the sexuales of Chinese horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis* (Bell) I. Embryogenesis and sex determination. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 13(2): 137–143. [唐觉, 张传溪, 1987. 虫瘿蚜性蚜生物学的研究 I. 胚胎发生和性别决定. 浙江农业大学学报, 13(2): 137–143.]
- Tang YF, 2014. Studies on biological characteristics in non-gall generations of Chinese horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis* (Hemiptera: Pemphigidae). Beijing: Chinese Academy of Forestry. [唐翊峰, 2014. 角倍蚜瘿外世代的生物学特性研究. 硕士论文. 北京: 中国林业科学研究院.]
- van Borm S, Buschinger A, Boomsma JJ, Billen J, 2002. Tetraponera ants have gut symbionts related to nitrogen-fixing root-nodule bacteria. *Proceedings of Biological Sciences*, 269(1504): 2023–2027.
- Vega FE, Biedermann PHW, 2020. On interactions, associations, mycetangia, mutualists and symbionts in insect-fungus symbioses. *Fungal Ecology*, 44: 100909.
- Vera-Ponce de León A, Ormeño-Orrillo E, Ramírez-Puebla ST, Rosenblueth M, Degli Esposti M, Martínez-Romero J, Martínez-Romero E, 2017. *Candidatus Dactylopiibacterium carminicum*, a nitrogen-fixing symbiont of *Dactylopius cochineal* insects (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae). *Genome Biology and Evolution*, 9(9): 2237–2250.
- Wang HY, Cui K, Shao SX, Liu J, Chen H, Wang C, Wu HX, Yang ZX, Lu Q, Chen XM, 2017. Molecular response of gall induction by aphid *Schlechtendalia chinensis* (Bell) attack on *Rhus chinensis* Mill. *Journal of Plant Interactions*, 12(1): 465–479.
- Wang HY, Liu J, Cui K, Chen H, Yang ZX, Wu HX, Shao SX, King-Jones K, Chen X, 2016. Gibberellic acid is selectively downregulated in response to aphid-induced gall formation. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(9): 214–230.
- Yang ZX, LV X, Yang HY, Chen XM, 2011. Influence of different preserve methods for the sexuelle number and survival rate of Chinese horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis* (Bell). *Forest Research*, 24(1): 63–67. [杨子祥, 吕翔, 杨红燕, 陈晓鸣, 2011. 不同保存方法对角倍蚜性蚜数量和存活率的影响. 林业科学研究, 24(1): 63–67.]
- Yoder JA, Benoit JB, Denlinger DL, Rivers DB, 2006. Stress-induced accumulation of glycerol in the flesh fly, *Sarcophaga bullata*: Evidence indicating anti-desiccant and cryoprotectant functions of this polyol and a role for the brain in coordinating response. *Journal of Insect Physiology*, 52(2): 202–214.