扩头蔡白蚁消化与生殖系统解剖及其与黑翅土白蚁的比较研究*

苏丽娟** 陈 明 刘国举 刘 航 宋安东 尹新明***

(河南农业大学生命科学学院 郑州 450002)

摘 要 扩头蔡白蚁 *Tsaitermes ampliceps* (Wang & Li)和黑翅土白蚁 *Odotoermes formosanus* (Shiraki)是分布广泛的食木性昆虫,群居生活,具有复杂的品级分化。本试验研究了低等白蚁扩头蔡白蚁不同品级的消化和生殖系统结构,并与高等白蚁黑翅土白蚁进行了比较。结果显示扩头蔡白蚁的消化、生殖系统结构与后者相似。2 种白蚁工蚁的嗉囊、囊形胃的长度和宽度明显比其它品级大,工蚁的中肠和结肠均比兵蚁短,且差异显著($P<0.05$);扩头蔡白蚁工蚁的嗉囊、前胃和囊形胃的长度和宽度明显大于黑翅土白蚁($P<0.01$)。扩头蔡白蚁生殖蚁的侧输卵管直径与长度的比例和输精管直径与长度的比例明显大于黑翅土白蚁($P<0.01$)。

关键词 扩头蔡白蚁,黑翅土白蚁,消化系统,生殖系统

Anatomic studies on digestive, reproductive system of *Tsaitermes ampliceps* and comparing with *Odontotermes formosanus*

SU Li-Juan** CHEN Ming LIU Guo-Ju LIU Hang SONG An-Dong YIN Xin-Ming***

(College of Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract The wood-feeding, social termites *Tsaitermes ampliceps* (Wang & Li) and *Odontotermes formosanus* (Shiraki) have complex caste differentiation. The digestive and reproductive systems of different castes of the more primitive *T. ampliceps* were studied and compared to those of the more advanced *O. formosanus*. The results show that the digestive and reproductive systems of these species have a similar structure. The crop and paunch of workers are significantly longer and wider than those of other castes ($P<0.05$) and the midgut and colon of workers are significantly shorter than those of soldiers ($P<0.01$). The crop, proventriculus and paunch of workers in *T. ampliceps* is evidently longer and wider than in *O. formosanus* ($P<0.01$). The ratio of the diameter and length of the lateral oviduct and seminal duct of reproductive individuals in *T. ampliceps* was larger than in *O. formosanus* ($P<0.01$).

Key words *Tsaitermes ampliceps*, *Odontotermes formosanus*, digestive system, reproductive system

白蚁属古老的社会性昆虫,具有复杂的品级分化(生殖蚁、工蚁和兵蚁等)和筑巢群居的生活特性,其各个品级的外部形态和内部解剖结构各不相同,各有其特点并各司其职。白蚁消化系统内存在有完整的木质纤维素酶体系,这些酶系的主要产生者是白蚁消化道内丰富的微生物菌群,这些微生物组成一个小的生态系统,像一个小的"发酵工厂",承担白蚁食入的木质纤维素的降解(杨红等,2006; Warnecke *et al.*,2007)。研究白蚁物质代谢的前提需要对白蚁的消化系统有详细的了解。国内外也有学者对白蚁的消化道和生殖系统做过解剖研究,如张方耀等(1994)对 7 种白蚁消化道进行比较解剖,初步探讨了消化道的结构特点及其在白蚁系统发育和进化上的意义。König (2006)将澳白蚁的消化系统分为前肠、中肠和后肠 3 段。前肠包括狭长管状食道、膨大的嗉囊和

* 资助项目:河南省教育厅自然科学研究计划项目(2009A180007)。

** E-mail: sulijuan816@126.com

*** 通讯作者, E-mail: xinmingyin@hotmail.com

收稿日期:2010-09-28,接受日期:2010-12-16

砂囊(前胃)3 部分; 后肠异常发达,占据腹部大部分空间,分为 5 部分: 肠道瓣前节、肠道瓣、膨大的囊型胃、结肠、直肠。

扩头蔡白蚁 *Tsaitermes ampliceps* (Wang & Li) 属鼻白蚁科蔡白蚁属,为低等白蚁,是我国白蚁中分布最广和危害较大的一个种; 黑翅土白蚁属 *Odotoermes formosanus* (Shiraki) 白蚁科土白蚁属,为高等白蚁,对堤坝的危害尤为严重。目前国内外关于白蚁生理生化的研究主要集中在消化系统内部共生生物方面(Warnecke *et al.*,2007; Ikeda-Ohtsubo and Brune,2009),虽有从解剖学角度对白蚁消化系统和生殖系统的观察,但均不够系统和详尽,种类也有限制(张方耀等,1994; König,2006; 王维平等,2008)。因此本试验对扩头蔡白蚁、黑翅土白蚁的消化和生殖系统进行了解剖观察并进行了比较研究,以了解 2 种白蚁的消化和生殖系统各器官的结构及不同品级之间的差别,分析低等白蚁和高等白蚁的解剖结构差异,探讨其适应各自集群生活方式的特点,为白蚁在生物能源上的研究应用和生物防治方面提供基础资料。

1　材料与方法

1.1　试虫来源及解剖工具

扩头蔡白蚁和黑翅土白蚁分别采自河南省禹州市鸠山镇和张得乡。2009 年 5 月上旬捕捉分群的黑翅土白蚁有翅生殖蚁,扩头蔡白蚁为挖窝时蚁巢未婚飞的有翅生殖蚁。人工脱翅后与工蚁、兵蚁浸泡于 75% 酒精中备用。试验用白蚁的体长分别为黑翅土白蚁有翅生殖蚁 12 ~ 16 mm、扩头蔡白蚁有翅生殖蚁 8 ~ 10 mm、二者的工蚁和兵蚁 4.5 ~ 6 mm。

解剖工具: 蜡盘、解剖针、昆虫针、解剖镜(上海,Leica)、显微镜(日本,Olympus)、标准刻度尺、解剖剪及镊子。

1.2　解剖与测量方法

1.2.1　工蚁、兵蚁消化道的解剖　在解剖镜下,将工蚁或兵蚁置于蜡盘中,用昆虫针固定头部,点一滴清水稍浸过试虫,即可将试虫固定,然后用解剖针剥开表皮,挑出部分消化道,划开头部,沿着消化道将食道和舌剥离头部组织置于载玻片上。消化道的中后肠呈螺旋状盘绕在一起,需将这两部分拉直,有利于测量。

1.2.2　有翅生殖蚁消化道的解剖　扩头蔡白蚁有翅成虫体型较小,解剖方法与工蚁相同。黑翅土白蚁有翅成虫体型较大,解剖方法如下: 在解剖镜下,用两根昆虫针分别斜插标本中足处以固定标本,在虫体上滴定量清水,稍浸过试虫,然后用解剖剪从腹部背面末端向上轻轻剪开至头部,用水冲洗体内厚重的脂肪体,用解剖针慢慢剔除冲洗不掉的脂肪体和肌肉组织,剥离出食道和舌,最后将直肠末端与肛门剪开,取出整个消化道。

1.2.3　有翅生殖蚁生殖系统的解剖　取出浸泡标本,清水冲洗,根据腹板末端的形态特征(雄性有翅生殖蚁第 8、9 腹板结构较为简单,为完整骨化的腹节; 雌性有翅生殖蚁第 8、9 腹板结构较为复杂,没有完全骨化的腹板,腹板中央有较大的膜区域,每一腹板部分成对称的两部分)辨别雌雄有翅生殖蚁,用解剖针将标本固定于蜡盘上,用解剖剪从腹部背面沿中间剪开,剪至胸部,将腹部固定后,剪去消化道,用解剖针剔除脂肪颗粒,并用清水冲洗,剥离出生殖系统,照相记录。

1.2.4　消化道长度及直径的测量和统计分析　在解剖镜或显微镜目镜中放入标准刻度尺,每个品级的白蚁测量 10 只。测量结果 = 测量数据(mm)/放大倍数。结果用软件 DPSv7.05 进行 Student's *t* 检验统计分析不同样品间的差异显著性,$P < 0.05$ 为可接受的显著性差异。

2　结果与分析

2.1　扩头蔡白蚁不同品级消化道的结构及其与黑翅土白蚁比较

2.1.1　2 种白蚁各品级消化道结构和长度比较

如图 1 所示,扩头蔡白蚁消化道的结构与黑翅土白蚁相似,自口器后端一直向后延伸,经胸部后再到腹部末端的肛门处,可明显分为 3 个部分,即前肠、中肠和后肠。前肠由 3 部分组成,细长管状食道、膨大且分界不明显的嗉囊和前胃(砂囊); 中肠是一根前后粗细相当的管道; 后肠则十分发达,占据腹部大部分空间,马氏管位于中后肠交界处。后肠分为 5 部分: 一为肠道瓣前节(segment preceding the enteric valve),呈管状,粗细与中肠相当; 二为白蚁特有的肠道瓣(enteric valve),较细,可控制食物由中肠流入后肠的量; 三为膨大的囊形胃(paunch); 四、五分别为结肠和直肠。

由图 2 可以看出,消化道平均长度比较结果

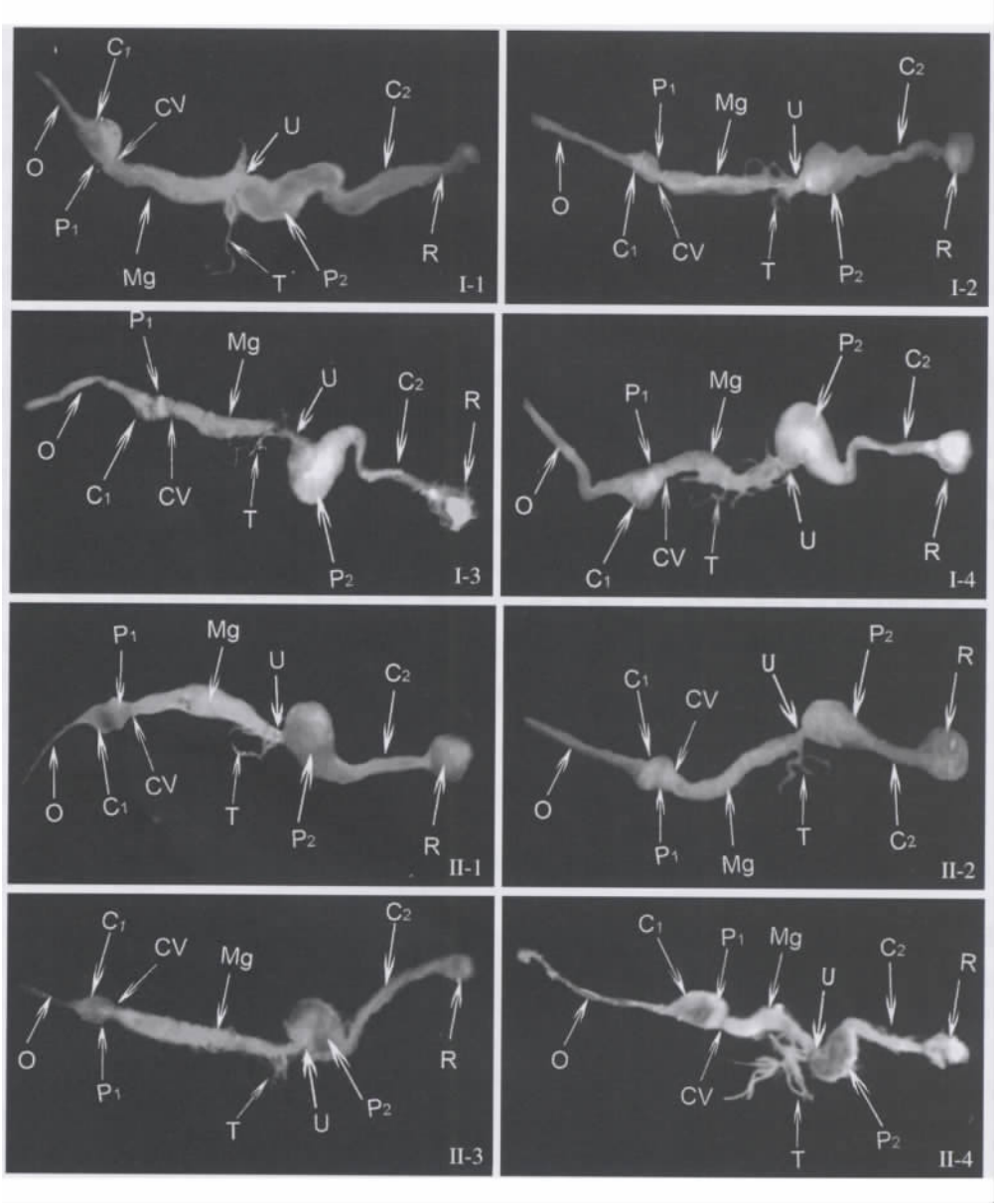

图 1　扩头蔡白蚁和黑翅土白蚁不同品级的消化道形态

Fig. 1　Digestive tube morphology of different castes in *Tsaitermes ampliceps* and *Odontotermes formosanus*

注: I－1、I－2、I－3 **和** I－4 **分别为扩头蔡白蚁的工蚁、兵蚁、雌性和雄性有翅生殖蚁**(40×);Ⅱ－1(40×)、Ⅱ－2(40×)、Ⅱ－3(20×) **和**Ⅱ－4(20×) **分别为黑翅土白蚁的工蚁、兵蚁、雌性和雄性有翅生殖蚁。下图同。**O: **食道;** C_1: **嗉囊;** P_1: **前胃;** CV: **贲门瓣;** Mg: **中肠;** T: **马氏管;** U: **肠道瓣前节;** P_2: **囊形胃;** C_2: **结肠;** R: **直肠。**

I－1, I－2, I－3 and I－4 show digestive tube of worker, soldier, male and female winged reproductive termite in *Tsaitermes ampliceps* respectively (40×); Ⅱ－1(40×), Ⅱ－2(40×), Ⅱ－3(20×) and Ⅱ－4(20×) showing those in *Odontotermes formosanus* respectively. The same below. O: oesophagus; C_1: crop; P_1: proventriculus; CV: cardiac valve; Mg: mid－gut; T: malpighian tubule; U: segment preceding the enteric valve; P_2: paunch; C_2: colon; R: rectum.

为,扩头蔡白蚁工蚁 > 兵蚁,且差异显著($P < 0.05$**)。2 种白蚁雌性有翅生殖蚁的消化道长度明显大于雄性(**$P < 0.01$**),表明雌性在发育为蚁后的过程中需要大量的营养储备,首先为营养吸收做好形态和结构上的准备。**

2.1.2　前肠比较　如图 1 所示,白蚁前肠包括食

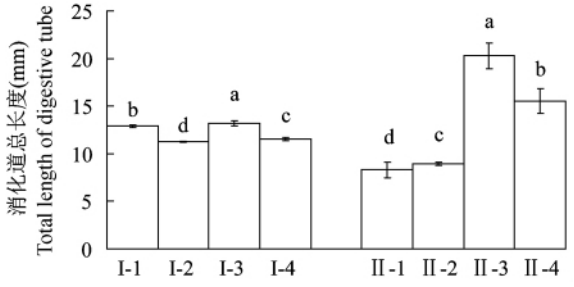

图 2　扩头蔡白蚁与黑翅土白蚁各品级消化道的总长度(mm)

Fig. 2　Digestive tube total length of different castes in *Tsaitermes ampliceps* and *Odontotermes formosanus*

注: 柱上不同字母表示不同样品之间有显著差异($P < 0.05$, Student's t – test); 下图同。

Different letters above bars indicate significantly different among samples ($P < 0.05$) by Student's t-test. The same below.

道、嗉囊、前胃和贲门瓣。食道细且较长,是食物进入的通道; 嗉囊卵圆形半透明,有较大的伸缩性,是食物暂时储存的场所; 前胃(也称砂囊)前端与嗉囊的直径相近,末端与中肠的交界部位有缢缩,食物在这里被进一步磨碎,并进行初步的消化。

比较各品级扩头蔡白蚁的前肠发现,其前肠的总长为工蚁 > 兵蚁,雌性有翅生殖蚁 > 雄性有翅生殖蚁,且差异极显著($P < 0.01$)(图 3)。各品级之间嗉囊和前胃差异显著($P < 0.05$),其中工蚁与其它品级相比,嗉囊的长、宽极显著大于其它品级($P < 0.01$),工蚁前胃的长、宽也显著大于兵蚁($P < 0.01$)(图 3)。这一结果与白蚁的取食行为相符合,工蚁取食大量木质纤维素类食物,需要在前肠的嗉囊和前胃内进行磨碎和搅拌等物理性消化。而兵蚁和生殖蚁可以依赖于工蚁的交哺提供营养,嗉囊和前胃的物理性消化功能和工蚁相比要弱的多。

黑翅土白蚁的有翅生殖蚁因其个体较大,可达工蚁的 2 ~ 3 倍,因此其前肠总长度也是工蚁、兵蚁的 2.7 ~ 3.3 倍。工蚁的嗉囊和前胃要比兵蚁发达,在平均长度和宽度上存在极显著差异($P < 0.01$),虽然有翅生殖蚁在个体上比工蚁大很多,但其嗉囊、前胃在长度和宽度上与工蚁相比差异不显著,这也与它们的取食方式和消化特点有关(图 3)。

2.1.3　中肠比较　白蚁中肠为一根粗细比较均匀的管道,由图 3 和表 1 可知,扩头蔡白蚁和黑翅土白蚁的各品级之间中肠长度差异显著($P <$

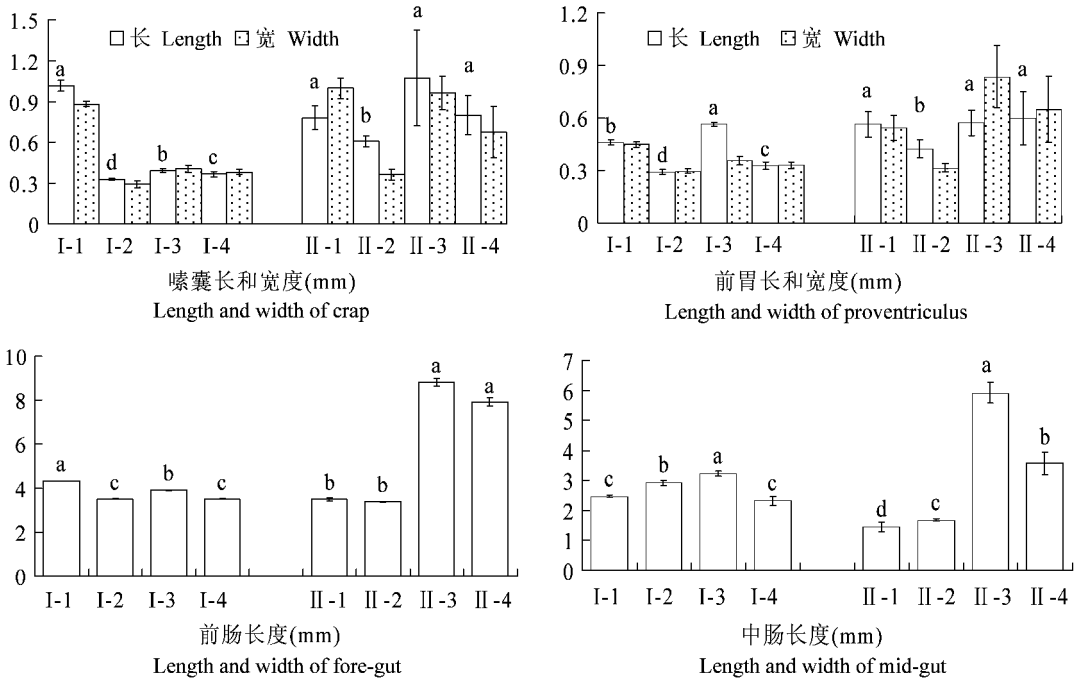

图 3　扩头蔡白蚁与黑翅土白蚁各品级前肠和中肠的长度

Fig. 3　Fore-gut and mid-gut length of different castes in *Tsaitermes ampliceps* and *Odontotermes formosanus*

0.05)。扩头蔡白蚁中肠长度:雌性有翅生殖蚁 > 兵蚁 > 工蚁 > 雄性有翅生殖蚁;黑翅土白蚁:雌性有翅生殖蚁 > 雄性有翅生殖蚁 > 兵蚁 > 工蚁。

2.1.4 后肠比较 白蚁后肠主要包括肠道瓣前节、囊形胃、结肠和直肠等几个部分,特别膨大的囊形胃是一个类似于人胃形状的器官,结肠粗细均匀,直肠为椭球状,黑翅土白蚁马氏管 4 根,扩头蔡白蚁马氏管 8 根(图 1)。

如图 4 所示,扩头蔡白蚁工蚁的后肠总长度、囊形胃的长度和宽度、直肠的长度均明显大于兵蚁,且差异显著($P<0.05$)。

结肠是连接直肠和囊形胃的一根管道,其前端较粗,到后端逐渐变细,结肠的主要作用是水分和无机盐的回收利用,并将残渣废物排进直肠。由图 4 可知,2 种有翅生殖蚁的结肠长度与工蚁、兵蚁存在显著性差异($P<0.05$)。兵蚁的结肠长度均大于工蚁,且存在显著性差异($P<0.05$),可能是由于工蚁的囊形胃和直肠长度均大于兵蚁,需要较长的结肠来弥补后肠的总长及与体长相适应。

直肠是结肠后端膨大的部分,多数为椭球状,是暂时存放粪便的场所,兼有回收水分的功能。由图 4 可知,扩头蔡白蚁的工蚁直肠最长,与其它品级相比差异显著($P<0.05$),可能是因为工蚁需要储存的不仅仅是粪便,还需要储存营养物质用于与其它品级白蚁的肛哺。

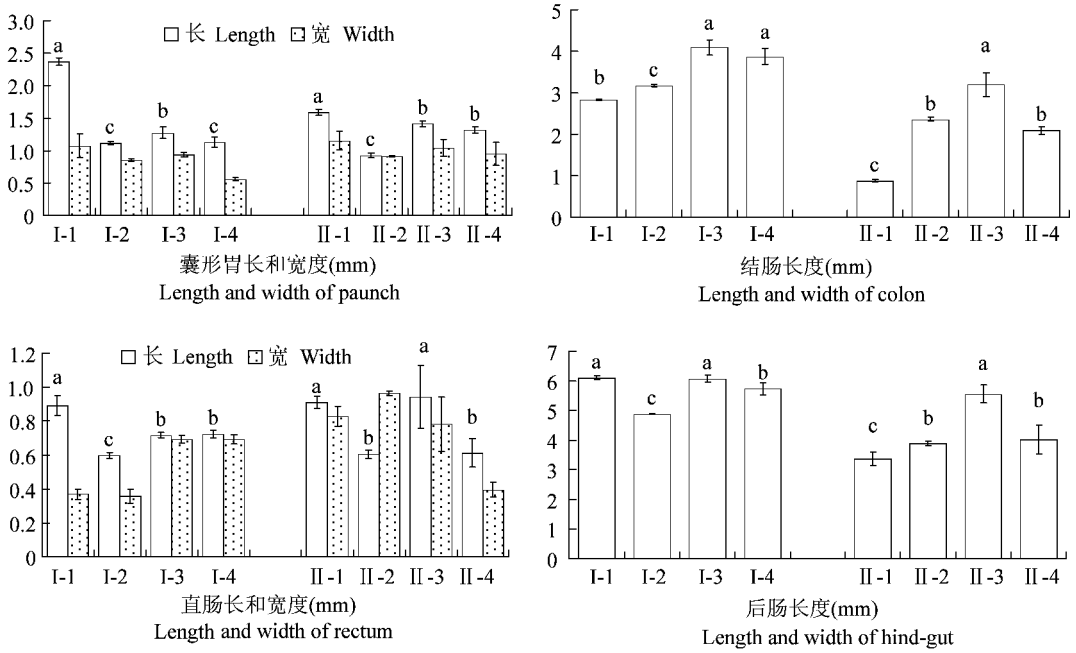

图 4 扩头蔡白蚁与黑翅土白蚁各品级后肠的长度

Fig. 4 Hind-gut length of different castes in *Tsaitermes ampliceps* and *Odontotermes formosanus*

2.1.5 扩头蔡白蚁的消化系统和黑翅土白蚁的比较 因为扩头蔡白蚁和黑翅土白蚁的有翅生殖蚁体长差别较大,这里仅比较 2 种白蚁的工蚁和兵蚁,结果如图 5 和图 6。由图 5 可以看出,扩头蔡白蚁工蚁的嗉囊、前胃、囊形胃、直肠的长度和宽度均明显大于黑翅土白蚁,且差异极显著($P<0.01$);二者的前肠、后肠和总的消化道长度也为扩头蔡白蚁 > 黑翅土白蚁;而扩头蔡白蚁工蚁的中肠和结肠长度小于黑翅土白蚁。如图 6 所示,扩头蔡白蚁兵蚁的嗉囊、前胃、囊形胃的长度和宽度都明显大于黑翅土白蚁($P<0.01$),而前者的食道、中肠与结肠均小于后者。这与 2 种白蚁的生活习性和取食习惯相一致。

2.2 扩头蔡白蚁生殖系统结构及其与黑翅土白蚁的比较

2.2.1 雌性生殖系统结构 如图 7 所示,扩头蔡白蚁的雌性生殖系统结构与黑翅土白蚁相似,均由卵巢、侧输卵管、生殖腔、受精囊和性附腺组成。卵巢:雌蚁一对卵巢位于消化道两侧,乳白色,被脂肪体包被。卵巢由若干卵巢小管组成,卵巢管

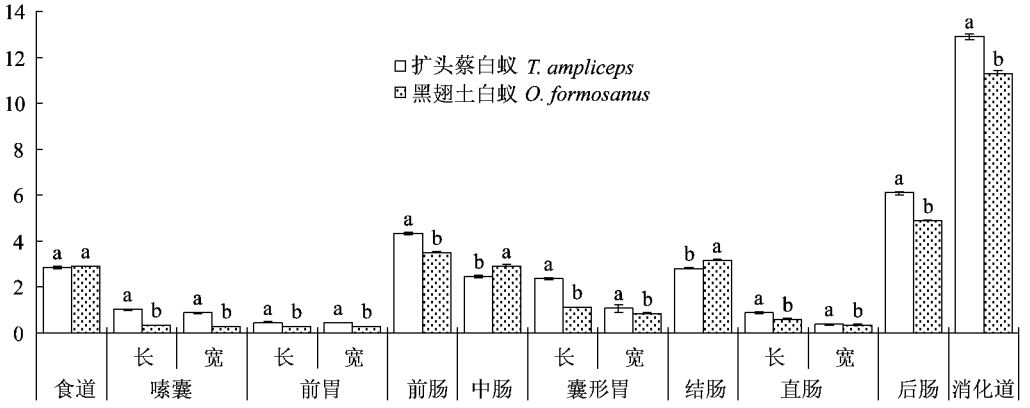

图 5　扩头蔡白蚁和黑翅土白蚁工蚁的消化道比较

Fig. 5　Digestive tube comparison of workers between *Tsaitermes ampliceps* and *Odontotermes formosanus*

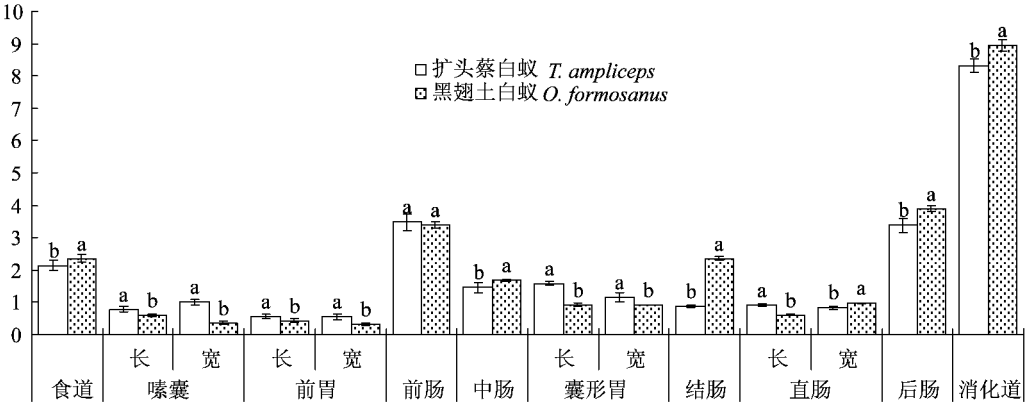

图 6　扩头蔡白蚁和黑翅土白蚁兵蚁的消化道比较

Fig. 6　Digestive tube comparison of soliders between *Tsaitermes ampliceps* and *Odontotermes formosanus*

上端连接悬带,下端的卵巢管柄与侧输卵管相连。侧输卵管: 雌性有翅生殖蚁的侧输卵管是上部细、下部渐粗。两条侧输卵管下端与中输卵管相接。中输卵管: 其上端连接两根侧输卵管,下端直接开口于生殖腔。生殖腔: 开口于第 7 腹板与第 8 腹板的节间膜区域,与中输卵管相连,受精囊、性附腺着生于生殖腔上。受精囊: 着生于生殖腔中上部,长度较长,由基部到顶端逐渐变粗,受精囊大小个体间变化较大。性附腺: 是生殖腔最下端的延伸部分,长度较长,十分发达。

在解剖中发现,扩头蔡白蚁悬带在后胸与腹部结合处向后折叠; 黑翅土白蚁悬带上端位于后胸内,在腹腔内呈直线型。显微测量的结果为: 扩头蔡白蚁的侧输卵管直径和长度的比值为 0.15(平均直径与长度分别为 0.15、0.98 mm); 黑翅土白蚁的侧输卵管直径和长度的比为 0.10(平均直径与长度分别为 0.23、2.218 mm)。显然,扩头蔡白蚁侧输卵管直径与长度的比值明显大于黑翅土白蚁($P < 0.01$),即前者的侧输卵管比后者粗。

2.2.2 雄性生殖系统结构　扩头蔡白蚁的雄性生殖系统结构与黑翅土白蚁相似,均位于雄蚁腹部末端,一对精巢位于消化道的两侧,包藏于脂肪体中,射精管着生在第 9 腹节节间膜上。如图 8 所示,黑翅土白蚁雄性生殖系统结构可分为: 精巢、输精管、射精管。精巢: 精巢呈卵球型,乳白色,外被脂肪体,由一组精巢小管组成,下端通过精巢管柄与输精管相连。输精管: 左右输精管各与其上端的精巢相连,下端与射精管相接,是一根上半部较细,下半部渐粗的管道。射精管: 连在输精管下面的一段膨大的管道,中间缢缩,可贮存成熟的精子。

显微测量的结果为: 扩头蔡白蚁的输精管直

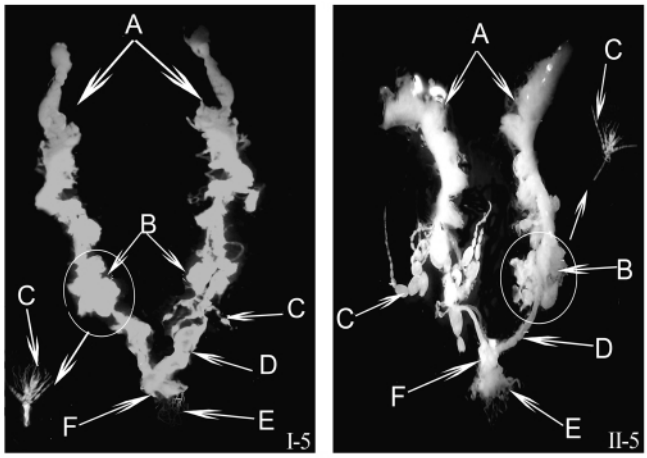

图 7 雌性生殖系统结构

Fig. 7 The female reproductive system

注: I – 5. **扩头蔡白蚁;** Ⅱ – 5. **黑翅土白蚁;** A: **悬带;** B: **卵巢;** C: **卵巢管;** D: **侧输卵管;** E: **性附腺;** F: **生殖腔。**

I – 5: *Tsaitermes ampliceps*; Ⅱ – 5: *Odontotermes formosanus*.

A: ligament; B: ovary; C: ovariole; D: lateral oviduct; E: accessory gland; F: genital chamber.

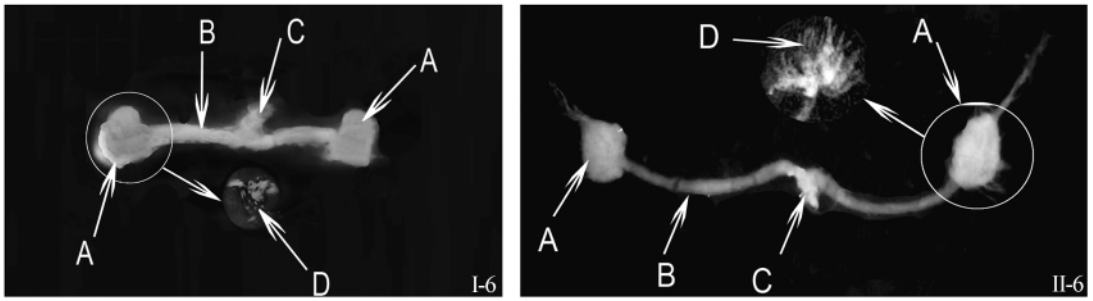

图 8 雄性生殖系统结构

Fig. 8 The male reproductive system

注: I – 6: **扩头蔡白蚁;** Ⅱ – 6: **黑翅土白蚁;** A: **精巢;** B: **输精管;** C: **射精管;** D: **精巢管。**

I – 6: *Tsaitermes ampliceps*; Ⅱ – 6: *Odontotermes formosanus*.

A: testes; B: seminal duct; C: eiaculatorv duct; D: testes duct.

径和长度的比值为 0.20(平均直径与长度分别为 0.12、0.59 mm);黑翅土白蚁的输精管直径和长度的比为 0.09(平均直径与长度分别为 0.15、1.75 mm)。显然,扩头蔡白蚁输精管直径与长度的比值明显大于黑翅土白蚁($P < 0.01$),即前者的输精管比后者粗。

3 讨论

白蚁广泛生存在北纬 47°和南纬 47°之间,占据地球上 68% 的范围,它们总数量大约有 2.4×10^{17} 个(黄复生,2000)。白蚁的消化系统组成有前肠、中肠和后肠。尽管白蚁的肠道很小,但由于种群数量庞大,作为重要的消化木质纤维素类昆虫在自然界的木质纤维素循环中担当重要角色,并可为木质纤维素转化为生物燃料提供生物催化剂。

前肠 有研究表明白蚁的前肠有几丁质内膜、小刺和微绒毛,几丁质内壁形成一条条纵行

脊,每条脊上横向排列约有 2 ~ 3 个突起,突起重叠如鳞片状,小刺着生在几丁质内壁突起上,这些结构有利于工蚁前胃的机械性磨碎咀嚼后的食物,进行物理性消化(卢宝廉,1991)。本研究发现扩头蔡白蚁工蚁的嗉囊和前胃的长宽显著大于兵蚁,这与嗉囊、前胃的结构与功能相符,工蚁承担整个蚁群的营养摄入,需要消化较多的木质纤维素类食物,而兵蚁和生殖蚁可以依赖于工蚁的交哺提供营养,嗉囊和前胃的物理性消化功能和工蚁相比要弱的多。至于雌性有翅生殖蚁的嗉囊和前胃较长可能是为将来发育为个体庞大的蚁后提供营养功能和结构上的准备。

后肠　白蚁的后肠异常发达,占据腹部大部空间,分为 5 部分,肠道瓣前节、肠道瓣、膨大的囊型胃、结肠、直肠。囊形胃的壁很薄,单层柱状上皮细胞,细胞层表面有微绒毛,几丁质内膜内陷很多,弯弯曲曲存在于细胞内(卢宝廉,1991)。扩头蔡白蚁工蚁的囊形胃的长度和宽度均明显大于兵蚁,且差异极显著,与其后肠的结构与功能有关,其后肠囊形胃内含有高密度多种多样的微生物区系,直接的显微计数表明,每毫升肠液中微生物密度达 10^9 ~ 10^{11} 个细胞(König,2006)。对散白蚁 *R. flavipes* 肠道微生物的原位形态学观察发现,在其后肠存在着至少 12 种鞭毛虫和 20 ~ 30 多种不同形态的细菌或古细菌(Breznak and Pankratz,1977)。这些微生物主要帮助白蚁消化食物中的木质纤维素,而工蚁又承担着整个蚁群的营养消化吸收的角色,与其结构相对应。

2 种白蚁比较　扩头蔡白蚁工蚁的嗉囊、中肠、囊形胃和结肠的长度均大于黑翅土白蚁,二者的前肠、后肠和总的消化道长度也为扩头蔡白蚁 > 黑翅土白蚁;而扩头蔡白蚁工蚁的中肠和结肠长度小于黑翅土白蚁。扩头蔡白蚁兵蚁的嗉囊、前胃、囊形胃的长度和宽度都明显大于黑翅土白蚁,而前者的食道、中肠与结肠均小于后者。通过 2 种白蚁之间消化道的比较,可以看出,作为低等白蚁的扩头蔡白蚁消化系统发达,与之生活方式和生活习性相适应,即取食能力较强,适应范围也较广,生存能力也较强。高等白蚁黑翅土白蚁则具有更高的社会性,品级间的依赖更强,培养菌圃,取食发酵过的菌圃基质,而扩头蔡白蚁是低等白蚁,无培菌习性,直接取食(Noirot,1995,2001)。这与 2 种白蚁实际分布范围和在实验室饲养观察结果一致。解剖时发现扩头蔡白蚁的腹腔内脂肪体较多且结合紧密,而黑翅土白蚁的腹腔内脂肪体较少。

生殖系统　白蚁雌性有翅生殖蚁的生殖系统结构比较简单,属于较原始的类型,雌性有翅生殖蚁的卵巢发达,有利于种群的增长。雄性有翅生殖蚁生殖系统结构也比较简单(Ikeda-Ohtsubo and Brune,2009)。在解剖中发现,黑翅土白蚁悬带上端位于后胸内,在腹腔内呈直线型;扩头蔡白蚁悬带则在后胸与腹部结合处向后折叠。扩头蔡白蚁侧输卵管直径与长度比值明显大于黑翅土白蚁;扩头蔡白蚁输精管直径与长度比值明显大于黑翅土白蚁。本试验没有对扩头蔡白蚁不同龄期的消化和生殖系统解剖研究,无法对白蚁发育过程进行比较研究,将在以后的实验中加以补充。

总之,扩头蔡白蚁的消化、生殖系统结构与黑翅土白蚁相似。2 种白蚁工蚁的嗉囊、囊形胃的长度和宽度明显比其它品级大,工蚁的中肠和结肠均比兵蚁短,且差异显著($P < 0.05$);扩头蔡白蚁工蚁的嗉囊、前胃和囊形胃的长度和宽度明显大于黑翅土白蚁($P < 0.01$)。扩头蔡白蚁生殖蚁的侧输卵管直径与长度的比例和输精管直径与长度的比例明显大于黑翅土白蚁($P < 0.01$)。

参考文献(References)

Breznak JA, Pankratz HS, 1977. In situ morphology of the gut microbiota of wood-eating termites [*Reticulitermes flavipes* (Kollar) and *Coptotermes formosanus* Shiraki]. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33(2): 406—426.

Ikeda-Ohtsubo W, Brune A, 2009. Cospeciation of termite gut flagellates and their bacterial endosymbionts: Trichonympha species and 'Candidatus *Endomicrobium trichonymphae*'. *Molecular Ecology*, 18(2): 332—342.

König H, 2006. *Bacillus* species in the intestine of termites and other soil invertebrates. *J. Appl. Microbiol.*, 101(3): 620—627.

Noirot C, 1995. The gut of termites (Isoptera). Comparative anatomy, systematics, phylogeny. Ⅰ. Lower termites. *Annales de la Société entomologique de France*, 31(3): 197—226.

Noirot C, 2001. The gut of termites (Isoptera) comparative anatomy, systematics, phylogeny. II. Higher termites (Termitidae). *Annales de la Société Entomologique de France*, 37(4): 431—471.

王维平,黄求应,雷朝亮,2008. **黑翅土白蚁分飞蚁及蚁王、蚁后生殖系统结构观察**. **昆虫知识,**45 (6):936—939.

Warnecke F, Luginbühl P, Ivanova N, Ghassemian M, Richardson TH, Stege JT, Cayouette M, McHardy AC, Djordjevic G, Aboushadi N, Sorek R, Tringe SG, Podar M, Martin HG, Kunin V, Dalevi D, Madejska J, Kirton E, Platt D, Szeto E, Salamov A, Barry K, Mikhailova N, Kyrpides NC, Matson EG, Ottesen EA, Zhang X, Hernández M, Murillo C, Acosta LG, Rigoutsos I, Tamayo G, Green BD, Chang C, Rubin EM, Mathur EJ, Robertson DE, Hugenholtz P, Leadbetter JR, 2007. Metagenomic and functional analysis of hindgut microbiota of a wood-feeding higher termite. *Nature*, 450(7169):560—565.

卢宝廉,1991. **胡氏边白蚁消化系统的微细构造**. **昆虫学报,**34(2):155—158.

杨红,彭建新,刘凯于,洪华珠,2006. **低等白蚁肠道共生微生物的多样性及其功能**. **微生物学报,**46 (3):496—499.

张方耀,唐觉,李参,1994. **七种白蚁消化道解剖形态的比较研究**. **昆虫知识,**31(5):300—302.

黄复生,2000. **中国动物志·昆虫纲**. **第十七卷·等翅目**. **北京:科学出版社**. 491—493.