

## 白蟻在福山森林生態系中的時空分佈及功能研究 (2/2)

### The Spatial and Temporal Distribution of Termites and Their Functional Roles in Fushan Forest Ecosystem

計劃編號：NSC 90-2621-B-002-010

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：吳文哲 國立台灣大學昆蟲學系

#### 一、中文摘要

本研究探討不同的溫度、溼度、族群生物量、巢材處理等因子，對於黃肢散白蟻 (*Reticulitermes flaviceps* Oshima) 及黑翅土白蟻 (*Odontotermes formosanus* Shiraki) 呼吸速率的影響。試驗結果顯示兩種白蟻的呼吸速率會隨溫度升高而提高，黑翅土白蟻的呼吸速率在各溫度下皆高於黃肢散白蟻；此外，在低溫時黑翅土白蟻會有群體效應產生，而黃肢散白蟻並沒有發現此種情形。而在不同的溼度環境下，此兩種白蟻皆會受到低溼度的影響而使呼吸速率降低，其中黑翅土白蟻對於溼度變化的反應較黃肢散白蟻強烈。而在巢材的影響上，完整的巢材對於兩種白蟻皆有提高呼吸速率的作用，但隔離巢材及消毒巢材對兩種白蟻的影響則完全不同。另外，黃肢散及小象白蟻 (*Nasutitermes parvonasutus*) 對鵝掌柴 (*Schefflera octophylla* (Lour) Harms) 之分解速率明顯高於綠樟 (*Meliosma squamulata* Hance)、鋸葉長尾拷 (*Castanopsis carlesii* var. *sessilis* Nakai) 與長葉木薑子 (*Litsea acuinata* (Blume) Kurata)。黃肢散白蟻於 100 % 高含水量之木材有較佳的分解速率。

關鍵詞：白蟻、森林生態系、福山植物園、生物量、呼吸率

#### Abstract

Effects of temperature, humidity, population biomass, and nest materials on the respiratory rate of termites *Reticulitermes flaviceps* Oshima and

*Odontotermes formosanus* Shiraki were studied. The respiratory rate of *O. formosanus* was significantly higher than that of *R. flaviceps* under four constant temperatures. In low temperature, *O. formosanus* with a larger population biomass consumed more oxygen than the same species with a small population biomass, indicating that group effects may involve in the process of respiration. In low humidity, respiratory rate of *O. formosanus* would have a more significant decrease than that of *R. flaviceps*. When termites incubated with their intact nest materials in an incubation vessel, the respiratory rates of these two species were rising significantly. However, screened or sterilized nest materials had distinct effects on the respiratory rates of these termites. In addition, *R. flavipes* and *Nasutitermes parvonasutus* consumed significantly much mass of *Schefflera octophylla* (Lour) Harms than that of other three woods, *Meliosma squamulata* Hance, *Castanopsis carlesii* var. *sessilis* Nakai, and *Litsea acuminata* (Blume) Kurata. *Reticulitermes flaviceps* consumed significantly much mass of wood under 100% RH.

**Key Words:** Termites, Forest Ecosystem, Fushan Botanic Garden, Biomass, Respiratory rate.

#### 二、緣由與目的

白蟻為森林生態系中重要的分解者，主要取食森林底層的枯枝落葉以及土壤中的腐殖質。森林的分解者在生態系中的重要性逐漸受到重視，

1920 年開始有關於白蟻的呼吸測定研究，進而研究消化生理及呼吸代謝等 (Peakin and Josens, 1978; Wood and Sands, 1978)。1980 年代初期，有些學者發現白蟻會釋出大量的二氧化碳以及甲烷等微量氣體，因此開始嘗試估算白蟻的全球生物量以及氣體排放量 (Zimmerman *et al.*, 1982)，以了解白蟻對大氣化學組成的影響，部份學者開始探討環境條件對白蟻的影響 (Wheeler *et al.*, 1996; Bignell *et al.*, 1997)。黑翅土白蟻 (*Odontotermes formosanus*) 及黃肢散白蟻 (*Reticulitermes flaviceps*) 分屬於白蟻科 (Termitidae) 及鼻白蟻科 (Rhinotermitidae)，分別為福山植物園區內優勢的高、低等白蟻，取食的對象皆為森林底層的倒木和枯枝落葉，而黑翅土白蟻偶有發現取食腐敗的草本植物。黑翅土白蟻築巢於地表下約 3 公尺處，且與真菌共生，被取食過的木材通常有大量的黏土充填其中，因其與真菌共生，故無法在試驗室中飼養超過 1 週。黃肢散白蟻則是築巢在所取食的木材上，3 齡以上的若蟲便會開始參與巢內、外的工作，稱為擬工蟻階級 (pseudo-workers)，採集到的族群內若無蟻后，大約飼養 4 到 5 週後，族群中會有 1 或多隻的工蟻發育成補充生殖型 (supplementary reproductives)，故可在試驗室中長期飼養，並培養出試驗室族群。由於上述兩種白蟻在材料取得上較為方便，且兩者的築巢地點、食性、階級分工等有所不同，因此本研究所要比較的是高等白蟻與低等白蟻在呼吸速率上的差異，以及當環境條件變化時，呼吸速率有無明顯的變化，來探討環境條件對白蟻的影響。此外，並研究黃肢散及小象白蟻 (*Nasutitermes parvonasutus*) 對不同木材之分解速率。

### 三、研究方法與進行步驟

於福山植物園內採集黑翅土白蟻、黃肢散白蟻及小象白蟻，將白蟻

連同枝條帶回試驗室中，置於含有三張充分潤濕濾紙且直徑 9 cm 的培養皿中。待白蟻全部自木材取出後，以鋁箔紙將整個培養皿包覆，並置入 25℃、全暗的生長箱中。黃肢散白蟻所用巢材為其取食的木材，而黑翅土白蟻則因無法取得主巢，故以其取食的枝條作為其巢材。

試驗中所採用的氣相層析儀為 Shimano GC-14B，並以積分儀 C-R8A 來進行分析，氣體分析部分則是以 TCD 來進行氣體分析，分析對象為氧氣及二氧化碳，因此分別採用玻璃及不鏽鋼 2 種 Column 來測定兩種氣體的濃度。Carrier gas 為氫氣，2 種氣體分析時間皆為 6 分鐘。本實驗針對溫度、溼度、族群大小及巢材等因子，研究其對白蟻呼吸率之影響。

選取福山之優勢樹種分別為長葉木薑子 (*Litsea acuinata* (Blume) Kurata)、鋸葉長尾桫 (*Castanopsis carlesii* var. *sessilis* Nakai)、綠樟 (*Meliosma squamulata* Hance) 及鵝掌柴 (*Schefflera octophylla* (Lour) Harms)。選取樹徑 10 cm 左右之植株，砍伐取回樹幹部後去除樹皮與邊材，留下心材並切割成  $2 \times 2 \times 0.5 \text{ cm}^3$  之木塊，置於  $75 \pm 1^\circ\text{C}$  之烘箱中去除水分。於直徑 5 cm 培養皿中放入 5 g 之無水黃土，並滴加 2.5 g 蒸餾水使土壤含水量達 50%，其內放入 50 隻白蟻與  $2 \text{ cm}^3$  木塊進行分解木材試驗，環境為 25℃、97% RH 及全暗，取食一週後取出測量木材乾重。

### 四、結果與討論

環境溫度不斷提高後，2 種白蟻的二氧化碳生成速率以及氧氣消耗速率皆隨之提高，黑翅土白蟻在不同溫

度下的二氧化碳生成速率及氧氣消耗速率皆有明顯的差異(表一),而黃肢散白蟻在 20 及 25 °C 下的呼吸速率並沒有差異(表二),其餘溫度則有明顯差異,顯示溫度對於 2 種白蟻之呼吸速率有明顯的影響。福山植物園區的年平均溫度為 18 °C,10 月到隔年 3 月左右白蟻豐度較高,溫度變化約在 10-20 °C。黃肢散白蟻的巢房大多在地表的枯枝倒木中,而黑翅土白蟻的巢房則位於地下,相對而言黃肢散白蟻應較容易受到環境溫度變化的影響,但也因此可能對於環境溫度的變化有較高的忍受力,由結果中也可發現黑翅土白蟻的呼吸率在 25 -30 °C 的變化量較黃肢散白蟻高,因此除了溫度會影響白蟻的呼吸率外,不同白蟻種類之呼吸率亦有不同。在 25 °C、95% RH 下,不同族群生物量對 2 種白蟻的呼吸率結果如表三所示,2 種白蟻在不同族群生物量的組合下,其呼吸率均無明顯差異,顯示在此環境條件下,族群大小並不影響 2 種白蟻的呼吸率。不同的族群大小之黃肢散與黑翅土白蟻在 25 °C 下之表現與 Shelton and Appel (2001)的結果相同。不過在 15 °C、95% RH,0.3 g 與 0.6 g 的黑翅土白蟻的呼吸率有明顯差異,而以後者的氧氣消耗率較高,而二氧化碳生成率的差異並不明顯。就呼吸商而言,黃肢散白蟻在各溫度及族群生物量上均無差異,不過在黑翅土白蟻上則可看出較大的族群在低溫環境下可以較有效的減少熱量損失。不同溼度環境對 2 種白蟻的二氧化碳生成速率以及氧氣消耗速率影響結果如表四及五,顯示黃肢散白蟻的呼吸率在低溼的環境下呼吸率會明顯降低。黑翅土白蟻的結果與黃肢散白蟻相似。黃肢散與黑翅土白蟻對於其巢材的反應並不一致(表六)。黃肢散白蟻屬濕木白蟻,因此當溼度大幅降低時,其呼吸率就會明顯降低,可能是為了要減少呼吸時的水分散失。另外可能

是因為黃肢散白蟻的生活環境為地表的枯枝及朽木,此種環境有較大的溼度變動,因此推論黃肢散白蟻對短期的環境變化有較大的忍受力,不過也因為在低溼度環境下有較高的呼吸率,因而可能在水分散失的速率較高。黃肢散白蟻在加入任一種處理的巢材後,其呼吸率皆提高,而以隔離巢材及完整巢材的試驗組分別與對照組有明顯差異,消毒巢材的結果與對照組沒有差異,顯示巢材本身對於黃肢散白蟻的影響不大,其巢材內的共生(微)生物,可能對黃肢散白蟻的呼吸速率有影響。

黃肢散白蟻於含水量 50 % 下之木材,其對鵝掌柴與綠樟之分解速率明顯高於其對鋸葉長尾桉與長葉木薑子的分解速率(表七)。小象白蟻對鵝掌柴分解速率明顯高於其他三種木材(表八)。此外比較 2 種白蟻對 4 種木材之分解速率,相同樹種下黃肢散白蟻的分解速率皆顯著高於小象白蟻( $P < 0.05$ )。黃肢散白蟻對高含水量(100 %)之鋸葉長尾桉有明顯較高之分解速率(表九)。小象白蟻對於無水(0 %)鋸葉長尾桉木材之分解速率則明顯最差(表十)。從 2 種白蟻的生態來看,黃肢散白蟻一般築巢於倒木或土表,其取食的木材皆為貼近地表之枯木,因此木材含水量較高。小象白蟻則多築巢於較乾燥之直立枯木,並且其所需水分是由地表取得。因此 2 種白蟻對木材含水量所顯示的分解速率變化,推測與其自然生態相關。此外,比較 2 種白蟻於不同木材含水量下之分解速率,黃肢散白蟻的分解速率仍顯著高於小象白蟻( $P < 0.05$ )。

## 五、計劃成果自評

此研究對於白蟻在森林生態系中之時空分布及功能上的問題，有初步的了解，尤其是針對福山森林生態系中之兩種分別代表高、低等優勢白蟻，黑翅土白蟻及黃肢散白蟻，其呼吸率受到溫、溼度環境因子及本身族群大小和巢材等生物因子之影響程度。針對黃肢散及小象白蟻對 4 種不同木材之分解速率也有了初步的結果。下一步工作目標為研究干擾因子如颱風對森林生態系中昆蟲生態之影響，並且已經向國科會申請到為期三年之研究計劃。

## 六、參考文獻

- Bignell, D. E., P. Eggleton, L. Nunes, and K. L. Thomas. 1997. Termites as mediators of carbon fluxes in tropical forest: budgets for carbon dioxide and methane emissions. pp. 109-134. *in*: A. D. Watt, N. E. Stork, and M. D. Hunter. eds. *Forests and Insects*. Chapman & Hall, London.
- Peakin, G. J., and G. Josens. 1978. Respiration and energy flow. pp. 111-163. *in*: M. V. Brian. ed. *Production Ecology of Ants and Termites*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Shelton, T. G., and A. G. Appel. 2001. Carbon dioxide release in *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes flavipes* (Kollar): effects of caste, mass, and movement. *J. Insect Physiol.* 47: 213-224.
- Wheeler, G. S., M. Tokoro, R. H. Scheffrahn, and N. Y. Su. 1996. Comparative respiration and methane production rates in Nearctic termites. *J. Insect Physiol.* 42: 799-806.
- Wood, T. G., and W. A. Sands. 1978. The role of termites in ecosystems. pp. 245-292. *in*: M. V. Brian. Ed. *Production Ecology of Ants and Termites*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zimmerman, P. R., J. P. Greenberg, S. O. Wandiga, and P. J. Crutzen. 1982. Termites, a potentially large source of atmospheric methane. *Science* 218: 563-565.

表一、黑翅土白蟻在 4 種不同溫度下的二氧化碳生成速率，以及氧氣消耗速率(% / g × h)(Mean ± SD)

Table 1. O<sub>2</sub> consumption rates and CO<sub>2</sub> production rates (% / g × h) of *Odontotermes formosanus* under four different temperatures (Mean ± SD)

T( )	CO <sub>2</sub> production rates		O <sub>2</sub> consumption rates	
	0.3 g	0.6 g	0.3 g	0.6 g
15	0.07 ± 0.02 a	0.07 ± 0.01 a	0.07 ± 0.003 aA <sup>#</sup>	0.09 ± 0.01 aB
20	0.14 ± 0.01 b	0.14 ± 0.03 b	0.13 ± 0.01 b	0.15 ± 0.01 b
25	0.21 ± 0.02 c	0.19 ± 0.03 b	0.22 ± 0.02 c	0.19 ± 0.01 c
30	0.34 ± 0.03 d	0.33 ± 0.05 c	0.33 ± 0.02 d	0.32 ± 0.03 d

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD).

<sup>#</sup>Significant difference between the O<sub>2</sub> consumption rates of populations with 0.3 g and 0.6 g population biomass.

表二、黃肢散白蟻在 4 種不同溫度下的二氧化碳生成速率，以及氧氣消耗速率(% / g × h)(Mean ± SD)

Table 2. O<sub>2</sub> consumption rates and CO<sub>2</sub> production rates (% / g × h) of *Reticulitermes flaviceps* under four different temperatures (Mean ± SD)

T( )	CO <sub>2</sub> production rates		O <sub>2</sub> consumption rates	
	0.3 g	0.6 g	0.3 g	0.6 g
15	0.06 ± 0.02 a	0.07 ± 0.01 a	0.06 ± 0.02 a	0.06 ± 0.02 a
20	0.12 ± 0.04 b	0.13 ± 0.03 b	0.13 ± 0.03 b	0.13 ± 0.02 b
25	0.16 ± 0.02 b	0.16 ± 0.03 b	0.22 ± 0.02 b	0.15 ± 0.03 b
30	0.33 ± 0.04 d	0.30 ± 0.04 c	0.33 ± 0.05 c	0.28 ± 0.03 c

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD).

表三、不同族群大小的黃肢散白蟻與黑翅土白蟻在 25 、95% RH 的環境中，二氧化碳的生成速率以及氧氣的消耗速率(% / g × h)(Mean ± SD)

Table 3. O<sub>2</sub> consumption rates (% / g × h) and CO<sub>2</sub> production rates of *Reticulitermes flaviceps* and *Odontotermes formosanus* under 25 、95% RH, with four different population biomass (Mean ± SD)

Population biomass(g)	<i>R. flaviceps</i>		<i>O. formosanus</i>	
	CO <sub>2</sub> production rates	O <sub>2</sub> consumption rates	CO <sub>2</sub> production rates	O <sub>2</sub> consumption rates
0.15	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.01
0.30	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.15 ± 0.03
0.60	0.16 ± 0.03	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.18 ± 0.01
1.20	0.18 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.22 ± 0.02	0.18 ± 0.02

表四、25 、4 種不同溼度下，黃肢散白蟻的二氧化碳生成速率及氧氣消耗速率(% / g × h)(Mean ± SD)

Table 4. O<sub>2</sub> consumption rates and CO<sub>2</sub> production rates (% / g × h) of *Reticulitermes flaviceps* under 25 , four different humidity (Mean ± SD)

Relative humidity (% RH)	CO <sub>2</sub> production rates	O <sub>2</sub> consumption rates
95	0.17 ± 0.02 a	0.18 ± 0.02 a
75	0.18 ± 0.03 a	0.18 ± 0.02 a
12.5	0.11 ± 0.01 b	0.11 ± 0.01 b
0	0.09 ± 0.01 b	0.09 ± 0.003 b

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD).

表五、25 、4 種不同溼度下，黑翅土白蟻的二氧化碳生成速率及氧氣消耗速率(% / g × h)(Mean ± SD)

Table 5. O<sub>2</sub> consumption rates and CO<sub>2</sub> production rates (% / g × h) of *Odontotermes formosanus* under 25 , four different humidity (Mean ± SD)

Relative humidity (% RH)	CO <sub>2</sub> production rates	O <sub>2</sub> consumption rates
95	0.21 ± 0.02 a	0.22 ± 0.01 a
75	0.20 ± 0.02 a	0.19 ± 0.02 a
12.5	0.9 ± 0.004 b	0.10 ± 0.002 b
0	0.08 ± 0.004 b	0.08 ± 0.005 b

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD).

表六、不同巢材處理對黃肢散白蟻與黑翅土白蟻呼吸速率之影響

Table 6. The influence of four nest material treatments on the respiration rates (% / g × h) of *Reticulitermes flaviceps* and *Odontotermes formosanus* (Mean ± SD)

Nest material treatment	<i>R. flaviceps</i>		<i>O. formosanus</i>	
	CO <sub>2</sub> production rates	O <sub>2</sub> consumption rates	CO <sub>2</sub> production rates	O <sub>2</sub> consumption rates
None	0.16 ± 0.02 c	0.15 ± 0.03 c	0.21 ± 0.02 b	0.22 ± 0.02 b
Screened	0.20 ± 0.01 ab	0.20 ± 0.01 a	0.19 ± 0.01 b	0.18 ± 0.01 b
Intact	0.22 ± 0.01 a	0.21 ± 0.01 a	0.24 ± 0.02 a	0.24 ± 0.02 a
Sterilized	0.19 ± 0.01 bc	0.19 ± 0.02 ab	0.16 ± 0.01 c	0.16 ± 0.01 c

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD).

表七、黃肢散白蟻對 4 種木材種類之分解速率(N = 10)

Table 7. The consumption rates of workers of *Reticulitermes flaviceps* to 4 species of woods (N = 10)

Wood species	Weight of workers (mg)	Consumption rate (mg/wk/50 termites)
<i>Schefflera octophylla</i>	99.4 ± 1.9	44.7 ± 6.1a
<i>Meliosma squamulata</i>	112.8 ± 18.9	42.7 ± 3.7a
<i>Castanopsis carlesii</i>	115.4 ± 26.2	32.2 ± 4.6b
<i>Litsea acuinata</i>	102.4 ± 1.9	30.0 ± 5.1b

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.

表八、小象散白蟻對 4 種木材種類之分解速率

Table 8. The consumption rates of workers of *Nasutitermes parvonasutus* to 4 species of woods

Wood species	N	Weight of workers (mg)	Consumption rate (mg/wk/50 termites)
<i>Schefflera octophylla</i>	7	113.0 ± 1.9	34.1 ± 4.6a
<i>Meliosma squamulata</i>	4	114.5 ± 3.5	22.2 ± 1.2b
<i>Castanopsis carlesii</i>	5	112.9 ± 1.6	15.3 ± 3.0bc
<i>Litsea acuinata</i>	5	116.2 ± 4.2	14.0 ± 7.1c

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.

表九、鋸葉長尾桫欏木材含水量對黃肢散白蟻分解速率之影響

Table 9. Effects of different water content on the consumption rate of *Castanopsis carlesii* by workers of *Reticulitermes flaviceps*

Water in woods (%)	N	Weight of workers (mg)	Consumption rate (mg/wk/50 termites)
100	9	107.3 ± 19.6	39.3 ± 5.0a
50	10	115.4 ± 26.2	32.2 ± 4.6b
20	10	103.6 ± 24.5	33.4 ± 4.7b
0	10	111.9 ± 19.9	31.6 ± 6.3b

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.

表十、鋸葉長尾桫欏木材含水量對小象白蟻分解速率之影響

Table 10. Effects of different water content on the consumption rate of *Castanopsis carlesii* by workers of *Nasutitermes parvonasutus*

Water in woods (%)	N	Weight of workers (mg)	Consumption rate (mg/wk/50 termites)
100	6	110.2 ± 5.9	14.2 ± 6.1ab
50	4	112.9 ± 1.6	15.3 ± 3.7a
20	7	113.5 ± 10.6	12.3 ± 4.6ab
0	6	118.6 ± 4.7	11.3 ± 5.1b

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.