



# Formosan Entomologist

Journal Homepage: [entsocjournal.yabee.com.tw](http://entsocjournal.yabee.com.tw)

## Studeis of Mating Behavior of *Anopheles sinensis* (Diptera: Culicidae) 【Research report】

### 中華瘧蚊(*Anopheles sinensis*)交配行為之研究【研究報告】

Hong-Song Sheu, Chin-Chang Yen\*、Cheng-Hsung Wang  
劉承雯、葉金彰\*、王正雄

\*通訊作者E-mail :

Received: Accepted: 1996/11/23 Available online: 1996/12/01

#### Abstract

A place for the mosquito, *Anopheles sinensis*, to mate has to be made available by the swarming of males. Under 1 lux light after dawn in the laboratory, 70%-80% of males swarmed by circling around a marker in a zigzag path. Meanwhile, females waited outside the circle and showed wing vibration. A marker helped males gather, and its shape influenced the swarming structure and flight direction. Swarming mainly occurred during the 1st h of the dark period (18:00-19:00). After 1 h of darkness (19:00-20:00), the numbers of swarming males greatly decreased; only 30% of males continued swarming. During swarming, females were attracted to join and were caught by males for mating. We observed 70% of females mating within 1 h after the onset of swarming and mating usually lasted for 2-8 sec with an average of 3.3 sec. Dim light (1 lux) from the side helped insemination of females more than light from above. As to the effect of the color of light which decreased the rate, the other colors made no significant difference. Different photoperiods [Light (L): Darkness (D)] also influenced the tendency of female mating. When L:D=12:12 and L:D=8:16, the insemination rates of females surpassed 80%. The insemination rate rose as the sex ratio of males to females increased. When ♀:♂=1:5, the insemination rate reached 98.3%. As for the effect of temperature in the normal range, insemination rates increased as the temperature went up with a peak of 95% at 30°C.

#### 摘要

中華瘧蚊(*Anopheles sinensis*)必須藉雄蚊之群舞以提供交配之場所。雄蚊於實驗室中進入黑暗期時，在1 lux之微光下，70%-80%之雄蚊開始環繞標記物，形成群舞，作上下左右迴路式飛行，而此時雌蚊在群舞外有振翅動作。標記物可助長雄蚊集眾，其形狀會影響舞群之結構和飛行方向。群舞行為集中在燈暗後之1小時之間，進入第2小時則群舞蟲數銳減，僅剩30%之個體仍然在飛舞。雄蚊開始群舞後，雌蚊即陸續飛入舞群中，先被雄蚊抓住，進而開始飛行或著地交配。70%之雌蚊於群舞行為開始後1小時內交配，交配時間平均為3.3秒(2-8秒)。受精率在微光(1 lux)光源來自蟲籠側方比來自上方更高，而光源顏色除藍光使受精率較低外，其餘色光之蟲體受精率並無差異。光週期為L:D = 12:12及8:16時，雌蚊之受精率均在80%以上。雌雄性比為20:1時，雌蚊之受精率為0%，而雌雄性比為1:5時，雌蚊之受精率達98.3%。在適溫範圍，雌蚊之受精率隨溫度之上升而增加，以30°C之受精率(95%)為最高。

**Key words:** swarming, marker, sex ratio, *Anopheles sinensis*, insemination rate.

**關鍵詞:** 群舞、標記物、性比、中華瘧蚊、受精率。

Full Text:  [PDF\(0.74 MB\)](#)

下載其它卷期全文 Browse all articles in archive: <http://entsocjournal.yabee.com.tw>

# 中華瘧蚊(*Anopheles sinensis*)交配行爲之研究

劉承雯 葉金彰\* 國立中興大學昆蟲學系

王正雄 行政院環境保護署

## 摘 要

中華瘧蚊(*Anopheles sinensis*)必須藉雄蚊之群舞以提供交配之場所，雄蚊於實驗室中進入黑暗期時，在1 lux之微光下，70%—80%之雄蚊開始環繞標記物，形成群舞，作上下左右迴路式飛行，而此時雌蚊在群舞外有振翅動作。標記物可助長雄蚊集聚，其形狀會影響舞群之結構和飛行方向。群舞行為集中在燈暗後之1小時之間，進入第2小時則群舞蟲數銳減，僅剩30%之個體仍然在飛舞。雄蚊開始群舞後，雌蚊即陸續飛入舞群中，先被雄蚊抓住，進而開始飛行或著地交配。70%之雌蚊於群舞行為開始後1小時內交配，交配時間平均為3.3秒(2—8秒)。受精率在微光(1 lux)光源來自蟲籠側方比來自上方更高，而光源顏色除藍光使受精率較低外，其餘色光之蟲體受精率並無差異。光週期為L:D=12:12及8:16時，雌蚊之受精率均在80%以上。雌雄性比為20:1時，雌蚊之受精率為0%，而雌雄性比為1:5時，雌蚊之受精率達98.3%。在適溫範圍，雌蚊之受精率隨溫度之上升而增加，以30°C之受精率(95%)為最高。

**關鍵詞：**群舞、標記物、性比、中華瘧蚊、受精率。

## 前 言

瘧蚊實驗室內飼育之成敗關鍵，在於成蚊之是否能自然交配。Reisen *et al.* (1977, 1985)報告稱瘧蚊自然交配之前，必須以群舞(swarming)作為前奏曲，提供雌雄蟲一個交尾的場所，否則雌蚊不易受精。有關瘧蚊群舞之研究中，以Quraishi(1965)曾對*Anopheles stephensi mysorensis*瘧蚊群舞現象有詳細之描述。Theron(1978)曾觀察*An. gambiae*群舞的時間，是始於黃昏而在完全黑暗下結

束，但在群舞中並沒有發現雌蚊。至於參與群舞之蟲數Yuval *et al.* (1992)則報告*An. freeborni*一般群舞數量少於1000隻；Downes (1969)歸納說有如樹頂、牲畜頭頂或河邊等自然之標記物，可以助長群舞之發生。Ramachandra Rao and Russell(1938)提出瘧蚊群舞必須在微風條件下始可形成。Charlwood and Jones(1979)曾探討雌蚊發出之音頻為促使雄蚊形成群舞的機制。在雄蟲形成群舞後引發雌雄蚊的交配，據Quraishi(1965)報告*An. stephensi*平均每15—20秒有一隻雌蚊進

入舞群，每一群舞可產生約400次之交尾。Charlwood and Jones(1980)觀察到*An. gambiae*交尾姿勢係尾對尾的；Rodriguez-Perez *et al.* (1991)研究*An. pseudopunctipennis*之交尾時，報告交尾時間為 $6.31 \pm 0.65$ 秒。

在群舞發生後，有些因子會影響成蟲交配受精，如Jones and Gubbins(1978)稱與羽化雌蟲之日齡有關；Wang *et al.* (1982)報告，中華瘧蚊之受精率受雌雄性比率與成蟲密度之影響，Sheu(1995)則報告空間太小不利於交尾，且於入夜後，在微光(1 lux)之下為最佳交配環境。這些群舞與交配之觀察結果，對於實驗室飼育空間有限的瘧蚊飼育，是否能借鏡為誘發群舞而產生交配行為，是本研究想觀察的。

中華瘧蚊之生物學，除了大陸學者Wang *et al.* (1983)、Wang *et al.* (1982)、Pan and Han(1979)之報告外，台灣有Lien(1978)及其引敘之數篇有關中華瘧蚊季節消長、吸血、色彩偏好、飛行距離及孳生源之報告及近期Sheu(1995)之文獻可資參考。本研究即針對其群舞、及群舞後之交配、受精進行較深入之探討，以期解決中華瘧蚊室內飼育之瓶頸，提供進一步研究之基礎。

## 材料與方法

中華瘧蚊幼蟲採自台灣中部雲林縣林內鄉之水稻田，帶回實驗室飼育於 $32\text{cm} \times 25\text{cm} \times 5\text{cm}$ 之塑膠水盆，盆中置450ml之逆滲透水，以酵母粉：豬肝粉=1：1之配方，供為幼蟲人工飼料。幼蟲化蛹後，將蛹置入裝有清水之培養皿(dia. 9cm)，再移置於 $35\text{cm} \times 35\text{cm} \times 35\text{cm}$ 之紗網製成之成蟲飼育箱，以待其羽化成蟲；成蟲羽化後餵以10%

之糖水。交配後，以小白鼠餵食血餐12小時，並移置於內面刨粗之300ml塑膠冰淇淋盒，以供雌蚊產卵。飼育在溫度為 $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，濕度為 $80\% \pm 5\% \text{RH}$ ，光週期為D:L=12:12(18:00-06:00為暗期)之走入式生長箱中。

### 一、群舞現象之觀察

取60對羽化後第2日之成蟲，放入飼育箱內，另在飼育箱中放置 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 之黑色紙片，供為成蟲群舞之標記物；另以1 lux微光自側面照射入飼育箱，於黃昏(走入式生長箱中仍為全亮期)之17:00時(18:00起為暗期)起開始觀成蟲之活動情形，直至群舞活動結束，詳細記錄此段期間成蟲之活動情形，並用錄影攝影機拍下雄蟲之飛行軌跡，以慢動作重複播放雄蟲每2秒內之飛行軌跡描繪成圖。

### 二、不同形狀之標記物對雄蚊群舞行為之影響

取60對羽化之成蟲置飼育箱內，第2日各飼育箱分別放入大小相等之圓形(●直徑15cm)正方形(■邊長15cm)，三角形(▲邊長15cm)，十字形(✚)以兩線 $15\text{cm} \times 5\text{cm}$ 之長方形紙片組合)四種形狀之黑色紙片各乙片，作為雄蚊群舞之標記物。另以無標記物狀態供為對照，3重複。觀察記錄各種形狀標記物上雄蚊群舞的形狀，飛行軌跡；並以一般電風扇形成2 m/s之人造風，吹散正在群舞之雄蚊，記錄群舞恢復的時間，重複3次。

### 三、雄蚊形成舞群之時間

取60對羽化之成蟲放入成蟲飼育箱，自第2日黃昏18:00起開始觀察雄蚊之群舞情形，直至次日清晨06:00止，每小時記錄5分鐘內舞群中的雄蚊蟲數，連續觀察3日。

#### 四、群舞雄蚊個體大小之度量

取240對羽化後成蟲，於第2日黃昏形成群舞後10分鐘，以吸蟲管分別吸取正在舞群中之雄蟲及不停留在飼育箱壁上的雄蟲各30隻，量度其右翅長度(由其翅基瓣之側裂口量至翅端鱗片處)。另於群舞剛形成時，形成後30、60及90分鐘時分別吸取正在舞群中之雄蟲各30隻，亦分別量其右翅長度。

#### 五、成蚊群舞時雌雄交尾行爲時間

取240對羽化之成蟲，於第2日黑暗期開始時，觀察成蟲的交尾行爲，並記錄每10分鐘內交尾的對數，直至無交尾現象爲止，3重複。另以計時器測量並記錄79對交尾時間(即自雄蚊抓住雌蚊時開始計時，直至雌雄蚊分開爲止)。

#### 六、影響雌蚊受精率之因子

##### (一)不同方向光源之影響

飼育箱內置240對羽化之成蟲，每日於暗週期18:00至次日06:00時段，利用改變鎢絲燈泡的位置，使1 lux之光源分別來自飼育箱之側方(燈泡位於飼育箱外側而其中心點等高)及上方(燈泡位於飼育箱上方的中心點呈一直線，並和地面垂直)兩種處理，3重複。成蟲自羽化後第2日起至第6日，各處理每日解剖雌蚊20隻，以光學顯微鏡(Nikon, Optiphot-2, 100X)檢視其受精囊內之精子，計算其受精率；同時各取出20隻雄蚊，以保持箱內族群性比之固定。

##### (二)不同顏色光源之影響

取240對羽化之成蟲，每日於暗週期18:00至次日06:00時段內，以不同顏色之玻璃紙覆蓋微光燈泡進行原色、綠色、藍色、黃色與紅色等五處理，每處理3重複。微光光度均爲1 lux，並自飼育箱之側方照射。自羽化

後第2日至第6日止，各處理每日解剖雌蚊20隻，以光學顯微鏡檢視其受精囊，計算受精率，同時取出20隻雄蚊使性比一定。

##### (三)不同性比之影響

各取240隻羽化之雌蚊，置入飼育箱中，再依雌雄性比率分別爲♀:♂=20:1、10:1、5:1、1:1及1:5等五種不同的試驗處理，分別加入雄蚊12、24、48、240及1200隻。自羽化後第2日起至第6日止，各處理每日解剖20隻雌蚊，計算其受精率，同時各依其性比率取出相對之雄蚊，以保持各處理之性比率固定，各處理3重複。

##### (四)不同光週期之影響

取240對羽化之成蟲，調整其日夜光週期，分別爲日照(L):黑暗(D)=22:2、16:8、12:12、8:16及2:22等五種不同處理。黑暗期均另以1 lux之微光自飼育箱側方照射。自羽化後第2日至第6日止，各處理每日解剖雌蚊20隻，計算其受精率，並同時取出相等之雄蚊，3重複。

##### (五)不同溫度之影響

取240對羽化之成蟲，調整其飼育生長箱之溫度，分別爲15、20、25、27及30°C五組處理，自羽化後第2日至第6日，各處理每日解剖雌蚊20隻，檢視其受精率，並同時取出相等之雄蚊，3重複。

## 結 果

### 一、雄蚊的群舞行爲及軌跡

在實驗室飼育之條件下，觀察雄蚊之群舞現象，發現在群舞前1小時(17:00)，部份雄蚊觸角上的絲狀物會有豎起的現象，時間愈接近黑暗期，豎起觸角上絲狀物的雄蚊比例也愈高。隨後雄蚊開始產生前群舞(preswarming)的行爲，部份雄蚊繞著飼育箱網壁做大圓圈的飛行，飛行圈之最大直徑約

25cm，且時而圓時而橢圓狀，每次間隔在3-5秒之間，飛行的速度也較慢。約10分鐘後，雄蚊開始產生另一種形式的前群舞，即雄蚊在標記物的周圍，展開小圓圈式飛行，每隻雄蚊各自形成一個直徑約為10cm圓圈，快速由下而上環繞小圓圈飛行，約有2-6隻雄蚊在同一時間內形成這種繞小圓圈的飛行。並持續此飛行方式約40分鐘，這時間內飛行的雄蚊蟲數增加至約8-10隻。開始進入黑暗期(18:00)時(維持1 lux之微弱燈光)，70%-80%的雄蚊開始形成群舞，約8-20隻呈上下左右循環迴路式飛行軌跡，大部分雄蚊會在標記物上方約18cm處群舞，但也有一小部份則會在飼育箱側面向光處，以鎢絲燈泡為標記物形成群舞。經過1小時後(19:00)大約只剩30%的雄蚊仍繼續群舞，而再1小時後之20:00時，只剩下少數的雄蚊仍在群舞，漸漸地群舞的雄蚊蟲數愈來愈少，然後停止。

## 二、不同形狀之標記物對雄蚊群舞行為的影響

不同形狀的標記物對雄蚊的群舞行為會造成不同的影響。在正方形(■)的標記物上，雄蚊會在標記物上形成小球狀的群舞，約有12-15隻雄蟲，個體飛行的軌跡是繞圓圈的盤旋狀飛行，當移動標記物時，群舞的雄蚊會隨之移動，但群舞範圍的大小則不變，以2 m/s風速的風吹散正在群舞的雄蚊，需時 $8.7 \pm 0.6$  s再度形成群舞(表一)。

在三角形(▲)的標記物上，雄蚊群舞的形狀較為鬆散，無法辨認群舞的形狀，個體飛行的軌跡是鋸齒狀飛行，約有7-10隻雄蟲以和體軸垂直的方向左右飛行移動，當移動標記物時，群舞的雄蚊亦會隨之移動，但整個群舞的範圍也會擴大，顯得更為鬆散，以2 m/s風速的風吹散正在群舞的雄蚊，需時 $19.7 \pm 2.1$  s再度形成群舞。

在圓形(●)的標記物上，雄蚊會在標記物上形成小球狀的群舞，個體飛行的軌跡是繞圓圈的盤旋狀飛行，約有10-15隻雄蟲參與，當移動標記物時，群舞的雄蚊會隨之移動，但群舞範圍的大小則不變，以2 m/s風速的風吹散正在群舞的雄蚊，需時 $9.7 \pm 1.5$  s

表一 不同形狀的標記物對中華瘧蚊群舞行為的影響

Table 1. Effects of different markers on the swarming behavior of *An. sinensis*

Event	Shape of marker				
	■	▲	●	+	No marker
Swarming path	Round	Loosely formed	Round	Loosely formed	Loosely formed
Individual flight track	Hovering	Zigzagging	Hovering	Hovering and zigzagging	Hovering and zigzagging
Number of swarming males above marker	12-15	7-10	10-15	3-20	8-20
When moving the marker	Swarm follows marker	Swarm follows marker	Swarm follows marker	Swarm follows marker	-
Duration time between break up and reformation of swarming	$8.7 \pm 0.6$ s	$19.7 \pm 2.1$ s	$9.7 \pm 1.5$ s	$12.3 \pm 3.1$ s	-

- : not observed.

再度形成群舞。

在十字形(+)的標記物上，雄蚊的群舞較為鬆散，但在標記物中心處則密度較高，其個體飛行的軌跡是繞圓圈的盤旋狀，而在標記物周圍的雄蚊則形成鋸齒狀的飛行，因群舞的結構相當鬆散，故標記物上群舞的蟲難以確定，約在3—20隻之間。當移動標記物時，群舞的雄蚊會隨之移動，但群舞的情形則變得較為紊亂，以2 m/s風速的風吹散正在群舞的雄蚊，需時 $12.3 \pm 3.1$  s再度形成群舞。

沒有標記物時，雄蚊也會形成群舞，群舞的形狀並不規則，飛行的範圍也較大，個體飛行的軌跡盤旋狀及鋸齒狀都有可能出現。

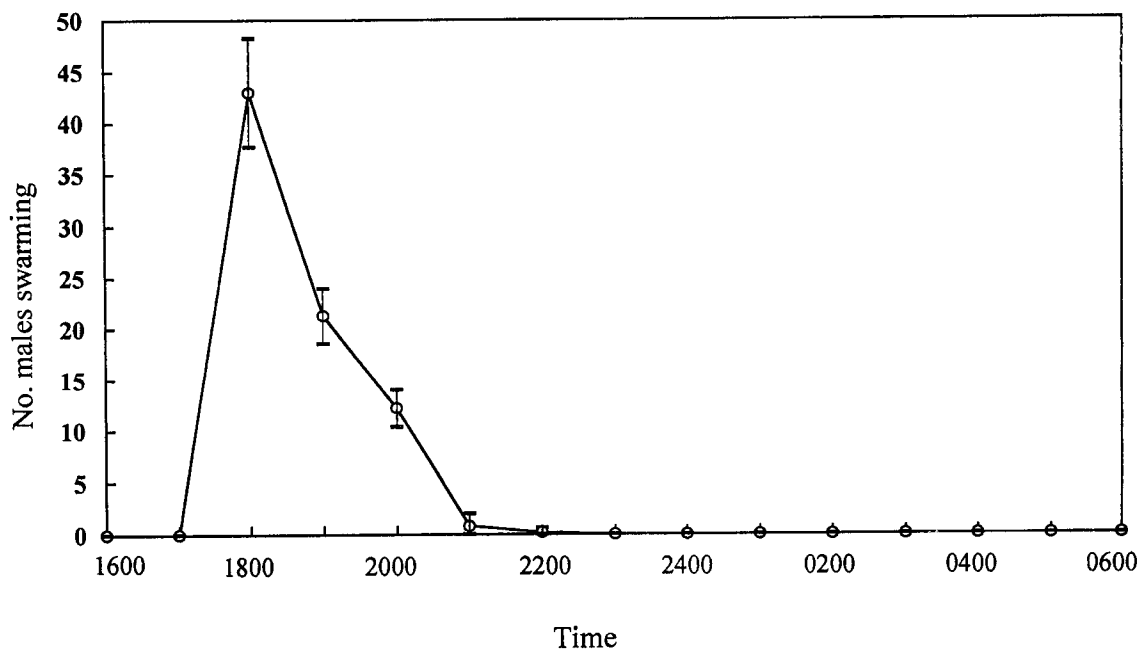
### 三、雄蚊群舞的時間

雄蚊的群舞活動主要集中在黑暗期的前3小時(圖一)，尤其是以黑暗期第1小時(18:00—19:00)之間群舞的蟲數最多，

約佔全部蟲數的70%，而在19:00—20:00之間群舞的蟲數開始銳減，只剩30%的雄蚊在群舞。20:00—22:00之間仍有少數雄蚊繼續群舞，但不及5%。23:00~06:00即不再有群舞現象。但在清晨03:30，有部份雌雄蚊形成不規則的飛行(並非群舞)，直至約04:30時結束。此段不規則的飛行期間，並無交尾的現象發生。

### 四、雄蚊個體大小參與群舞的差異

群舞時停歇於飼育箱壁上的雄蚊，其個體平均翅長為 $3.18 \pm 0.25$  mm，而參與群舞的雄蟲，其平均翅長為 $3.50 \pm 0.39$  mm，兩者之間在統計上有顯著的差異。在群舞的四個時段，隨群舞時間的延長，留下來的雄蚊，其平均翅長也越長。開始群舞時，雄蚊的平均翅長為 $3.46 \pm 0.28$  mm，開始群舞後30分鐘，雄蚊的平均翅長為 $3.58 \pm 0.21$  mm，開始群舞後60分鐘，雄蚊的平均翅長為 $3.63 \pm$



圖一 實驗室飼育中華瘧蚊的群舞日格局

Fig.1. Daily pattern of swarming activity of *An. sinensis* under insectary conditions.

0.20 mm，開始群舞後90分鐘，雄蚊的平均翅長為 $3.72 \pm 0.23$  mm。群舞開始後90分鐘的雄蚊，平均翅長最長(表二)。

### 五、中華瘧蚊的交尾頻度

成蟲在群舞開始約3分鐘後，開始有交尾的現象，70%的交尾行為在群舞1小時內發生。觀察成蟲交尾發生的時間，在群舞後10

—20分鐘時，佔全部的20.2%，為群舞的最高峰，其次為群舞後20—30分鐘時，佔全部的14.7%，之後隨著時間的延後，交尾的頻度亦降低，至1小時後每個時段交尾蟲數所佔的比例不到6%(圖二)。2小時後即不再有交尾的現象。

在雄蚊群舞發生後，部份雌蚊會加入群舞。當雌蚊飛入群舞時，常往舞群上方飛，

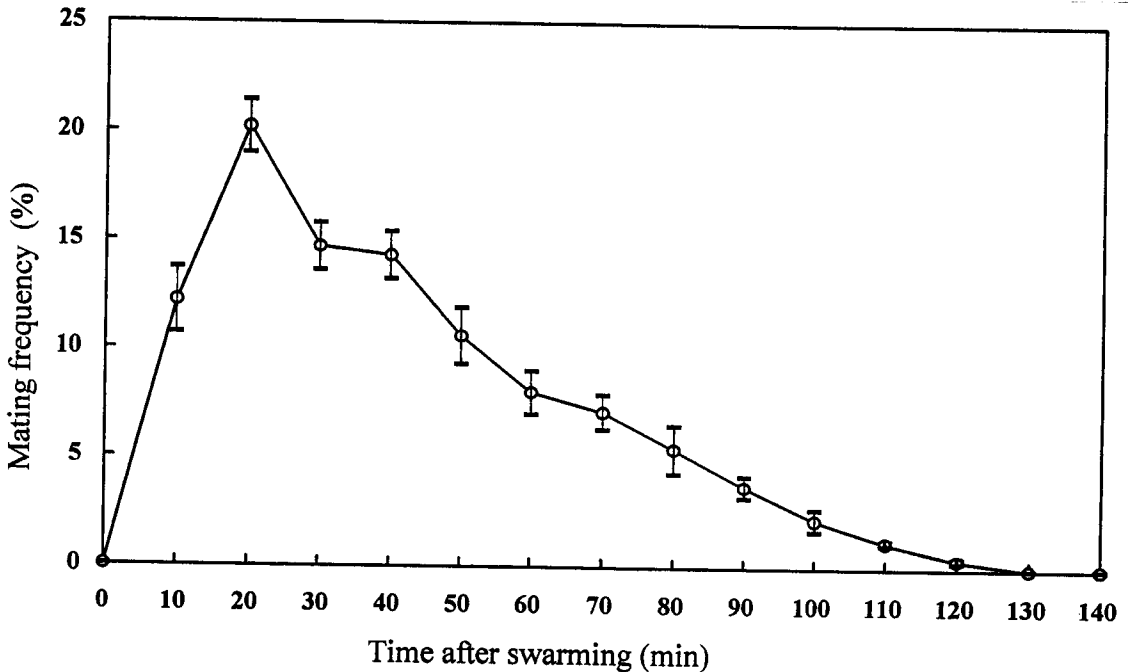
表二 中華瘧蚊雄蚊在群舞形成後不同時段之平均翅長

Table 2. Wing length of *An. sinensis* at different times after swarming\*\*

Time after swarming (min)	No. males tested	Wing length (mm)
0	30	$3.46 \pm 0.28$ c*
30	30	$3.58 \pm 0.21$ bc
60	30	$3.63 \pm 0.20$ ab
90	30	$3.72 \pm 0.23$ a

\*The same letter within a column indicates no significant difference at 5% level by LSD test ( $F=6.67$ ;  $p=0.0003$ ).

\*\*Tested in the  $35 \times 35 \times 35$  cm<sup>3</sup> cage, with nocturnal light of 1 lux.



圖二 中華瘧蚊在群舞期間的交尾頻度

Fig.2. Mating activity of *An. sinensis* during swarming period.

此時在舞群上部之雄蚊立即靠近雌蚊，並企圖以足抓住雌蚊，其交配情形有三種姿勢：

1. 雄蚊緊抓著雌蚊，繼續在群舞中飛行，雄蚊的腹部會和雌蚊的腹部接合，呈一直線，直接在飛行中交尾，經過4—5 s後分開，雌蚊跌落地面，雄蚊則繼續群舞。

2. 雄蚊抓住雌蚊後，雄蚊的腹部靠近雌蚊的腹部，待其接合後，兩者同時墜落地面，繼續交尾，雌雄蚊形成V字型，交尾完畢後兩者分開，雌蚊繼續停留地面，雄蚊再度加入群舞。

3. 雄蚊抓住雌蚊後，雄蚊的腹部靠近雌蚊的腹部，待其接合後，兩者停靠在飼育箱的側壁，以足抓住紗網，兩者呈一直線，有時雄蚊朝上，兩者的位置並不固定，交尾之後雌蚊停留原地，雄蚊繼續加入群舞。

在1.86% (22/1108) 交尾中有兩隻雄蚊同時抓住一隻雌蚊者，但僅有一隻雄蚊能成功的交尾，另一隻雄蚊則排擠而再度加入群舞。中華瘧蚊的交尾時間持續2—8秒，平均 $3.3 \pm 2.0$ 秒(n=79)。

## 五、影響雌蚊受精率的因子

(一) 群舞時不同方向微光源對雌蚊受精率的影響

在雌蚊羽化後第2日光源來自上方的受精率為 $36.7\% \pm 2.9\%$ ，和光源來自側方的受精率 $20.0\% \pm 5.0\%$ 有顯著的差異。羽化後第3

日、第4日、第5日光源來自上方和來自側方，雌蚊的受精率並無顯著的差異。但到了第6日光源來自上方的受精率為 $73.3\% \pm 2.9\%$ ，和光源來自側方的受精率 $83.3\% \pm 2.9\%$ ，後者顯著高於前者(表三)。

(二) 群舞時不同顏色光源對雌蚊受精率的影響

雌蚊在羽化後第2日在紅色光源照射下其受精率為 $40.0\% \pm 5.0\%$ ，在黃色光源為 $43.3\% \pm 2.9\%$ ，白色光源為 $20.0\% \pm 5.0\%$ ，綠色光源為 $26.7\% \pm 15.3\%$ ，藍色光源為 $25.0\% \pm 5.0\%$ ，紅色和黃色光源照射下其受精率較高，顯著比其他三者高，但到了羽化後第5日，除了在藍色光源照射下之雌蚊受精率為 $38.3\% \pm 2.9\%$ 偏低外，其餘四種顏色光源之受精率都在65%以上。在羽化後第6日的情形，亦僅藍色光源照射下之雌蚊受精率較低，為 $50.0\% \pm 5.0\%$ ，其餘四者都在78%以上，在藍色光源之受精率顯著的少於其餘四者(表四)。

(三) 不同光週期對雌蚊受精率的影響

在光週期L:D=8:16的狀態下，雌蚊在第2日，其受精率即達到 $53.3\% \pm 5.8\%$ ，而其他四組雌蚊的受精率皆在25%以下。在成蚊羽化後第3日，光週期L:D=8:16的狀態下，其受精率已達 $78.3\% \pm 10.4\%$ ，其次為光週期L:D=12:12( $43.3\% \pm 2.9\%$ )，其餘三組受精率皆未達40%。在成蚊羽化後第6日，

表三 中華瘧蚊雌蚊在不同方向的光源之受精率

Table 3. Insemination rates of *An. sinensis* exposed to light from different directions

Light direction	Insemination rate (%)				
	(mean ± SE)				
	2nd day	3rd day	4th day	5th day	6th day
Side	$20.0 \pm 5.0$	$43.3 \pm 2.9$	$61.7 \pm 2.9$	$70.0 \pm 5.0$	$83.3 \pm 2.9$
Top	$36.4 \pm 2.9$	$43.3 \pm 2.9$	$50.0 \pm 0$	$60.0 \pm 5.0$	$73.3 \pm 2.9$
F value	25	0	7.00	6	18
Pr>F	0.0075*	1.0000	0.0572	0.0705	0.0132*

\*: significant at 5% level.



光週期L : D=8 : 16及12 : 12者，雌蚊的受精率分別為88.3% ± 2.9% 及83.3% ± 2.9%，兩者間並無顯著的差異，但顯著的較L : D=16 : 8(50.0% ± 5.0%)及L : D=2 : 22(46.7% ± 2.9%)為高。光週期L : D=22 : 2之受精率僅15%(表五)。

(四)不同性比例對中華瘧蚊受精率的影響

中華瘧蚊在♀ : ♂ = 20 : 1, 10 : 1, 5 : 1, 1 : 1及1 : 5五種不同性比下，從羽化後第2日至第6日之間，每日各組間的受精率均有顯著的差異。在♀ : ♂ = 20 : 1的性比下，雌蚊從羽化後第2日至第6日受精率均為0。在

♀ : ♂ = 10 : 1時，成蚊羽化後第6日的受精率僅達15%。在♀ : ♂ = 5 : 1的狀態下，雌蚊的受精率隨著日數而增加，但在羽化後第6日的受精率也只有48.3% ± 2.9%。在♀ : ♂ = 1 : 1時，從羽化後第2日至第4日雌蚊的受精率在70%以下，但在羽化後第6日，其受精率可達83.3% ± 2.9%。在♀ : ♂ = 1 : 5的組合下，成蚊在羽化後第2日雌蚊的受精率就達到86.7% ± 2.9%，羽化後第6日雌蚊的受精率就達到98.3% ± 2.9%(表六)。

(五)不同溫度下中華瘧蚊的受精率

中華瘧蚊羽化後第6日在15、20、25、27

表四 中華瘧蚊雌蚊在不同顏色光源之受精率

Table 4. Insemination rates of *An. sinensis* exposed to light of different colors

Color of light source	Insemination rate (%)				
	(mean ± SE)				
	2nd day	3rd day	4th day	5th day	6th day
Tungsten	20.0 ± 5.0 c <sup>1)</sup>	43.3 ± 2.9 b	61.7 ± 2.9 ab	70.0 ± 2.9 a	83.3 ± 2.9 a
Green	26.7 ± 15.3 c	55.0 ± 8.7 a	65.0 ± 10.0 ab	71.7 ± 10.4 a	81.7 ± 2.9 a
Blue	25.0 ± 5.0 c	33.3 ± 2.9 c	35.0 ± 0 c	38.3 ± 2.9 b	50.0 ± 5.0 b
Yellow	40.0 ± 5.0 ab	46.7 ± 2.9 ab	68.3 ± 2.9 a	71.7 ± 5.8 a	81.7 ± 2.9 a
Red	43.3 ± 2.9 a	55.0 ± 5.0 a	55.0 ± 0 b	65.0 ± 5.0 a	78.3 ± 2.9 a
F value	4.84	9.83	15.80	15.21	35.75
Pr > F	0.0197*	0.0017**	0.0003**	0.0003**	0.0001**

1) The same letter within a column indicates no significant difference at 5% level by LSD test.

\*: significant (p < 0.05)

\*\*: significant (p < 0.01)

表五 中華瘧蚊雌蚊在不同光週期下的受精率

Table 5. Insemination rates of *An. sinensis* with different photoperiods

Photoperiod	Insemination rate (%)				
	(Mean ± SE)				
	2nd day	3rd day	4th day	5th day	6th day
L : D=22 : 2 <sup>2)</sup>	11.7 ± 2.9 c <sup>1)</sup>	13.3 ± 2.9 d	15.0 ± 0 d	15.0 ± 0 d	15.0 ± 0 c
L : D=16 : 8	18.3 ± 2.9 bc	35.0 ± 13.2 bc	38.3 ± 7.6 c	43.3 ± 12.6 c	50.0 ± 0 b
L : D=12 : 12	20.0 ± 2.9 b	43.3 ± 2.9 b	61.7 ± 2.9 b	70.0 ± 5.0 b	83.3 ± 2.9 a
L : D=8 : 16	53.3 ± 2.9 a	78.3 ± 10.4 a	83.3 ± 10.4 a	85.0 ± 5.0 a	88.3 ± 2.9 a
L : D=2 : 22	21.7 ± 2.9 b	26.7 ± 2.9 cd	31.7 ± 2.9 c	40.0 ± 5.0 c	46.7 ± 2.9 b
F value	47.75	29.09	46.04	48.09	269.58
Pr > F	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0001*

1) The same letter within a column indicates no significant difference at 5% level by LSD test.

2) L: light; D: dark.

\*: significant (p < 0.01).

及30°C各組的受精率分別為31.7%±2.9%、48.3%±2.9%、65.0%±5.0%、83.3%±2.9%及95.0%±0%，各組間在統計上均有顯著的差異，中華瘧蚊之受精率隨溫度上升而增加，以30°C最高(表七)。

## 討 論

中華瘧蚊必須藉雄蚊之群舞以提供雌雄交尾的場所。羽化後24小時性器官發育成熟之雄蚊，在日落黃昏時，觸角的絲狀物會逐漸豎起，隨後雄蚊開始環繞標記物群舞，

而此時雌蚊有振翅之行爲。據Charlwood and Jones (1979)以發音器模擬雌蚊之振翅，試驗觀察*An. gambiae*雄蚊群舞之結果，証實雌蚊之振翅波有誘發雄蚊群舞之現象，中華瘧蚊雌蚊在群舞發生時亦有此振翅現象，是否亦會產生誘發群舞仍有待證實，因在實驗室中控制燈光開關，不論何時段燈光熄滅時，以1 lux光度觀察，約10分鐘後即會有群舞發生，這說明雌蟲振翅會誘發雄群舞，但不是必須的步驟；也說明光度刺激誘發群舞比其生理時鐘的影響要大。至於舞群發生時間Rodriguez-Perez *et al.* (1991)觀察

表六 中華瘧蚊雌蚊在不同性比例下的受精率

Table 6. Insemination rates of *An. sinensis* for different sex ratios

Sex ratio (Female : Male)	Insemination rate (%) (mean±SE)									
	2nd day		3rd day		4th day		5th day		6th day	
20 : 1	0 ± 0	d <sup>1)</sup>	0±0	e	0±0	e	0±0	e	0±0	e
10 : 1	11.7±2.9	c	11.7±2.9	d	15.0±0	d	15.0±0	d	15.0±0	d
5 : 1	13.3±2.9	c	21.7±2.9	c	35.0±5.0	c	45.0±5.0	c	48.3±2.9	c
1 : 1	20.0±5.0	b	43.3±2.9	b	61.7±2.9	b	70.0±5.0	b	83.3±2.9	b
1 : 5	86.7±2.9	a	88.3±2.9	a	93.3±2.9	a	96.7±2.9	a	98.3±2.9	a
F value	356.8		544.62		227.41		399.41		1075.50	
Pr>F	0.0001*		0.0001*		0.0001*		0.0001*		0.0001*	

1) The same letter within a column indicates no significant difference at 5% level by LSD test.

\*: significant ( $p < 0.01$ ).

表七 中華瘧蚊雌蚊在不同溫度之受精率

Table 7. Insemination rates of *An. sinensis* in different temperatures (°C)

Temperature (°C)	Insemination rate (%) (mean±SE)									
	2nd day		3rd day		4th day		5th day		6th day	
15	5.0±5.0	c <sup>1)</sup>	11.7±2.9	d	18.3±2.9	e	21.7±2.9	e	31.7±2.9	e
20	10.0±0	c	16.7±2.9	d	28.3±2.9	d	41.7±2.9	d	48.3±2.9	d
25	20.0±5.0	b	48.3±2.9	d	40.0±5.0	c	50.0±5.0	c	65.0±5.0	c
27	20.0±5.0	b	43.3±2.9	b	61.7±2.9	b	70.0±5.0	b	83.3±2.9	b
30	43.3±2.9	a	78.3±2.9	a	93.3±2.9	a	93.3±2.9	a	95.0±0	a
F value	5.70		9.70		29.00		25.60		75.27	
Pr>F	0.0118*		0.0018**		0.0001**		0.0001**		0.0001**	

1) The same letter within a column indicates no significant difference at 5% level by LSD test.

\*: significant ( $p < 0.05$ ).

\*\* : significant ( $p < 0.01$ ).

16對 *An. pseudopunctipennis* 之群舞，於 20：00 時群舞的數目達最大。中華瘧蚊之群舞則集中於黑暗期的前 3 個小時，即以 18：00—19：00 時的群舞蟲數最多，70% 之成蟲均參與群舞，19：00—20：00 時，則群舞的蟲數銳減，僅剩 30% 翅較長之個體仍在飛舞，此情形在實驗室光源是驟暗驟明之情況下群舞發生之時間，如上述停電時以低光強 (1—10 lux) 光線檢視時，群舞亦會發生。據 Sheu (1995) 之報告，中華瘧蚊幼蟲飼育的密度越低，食物充分、蛹體越重，羽化成蟲後，翅長亦有增加。翅長較長之個體，有助於群舞飛翔，舞群中的雄蟲，其翅長均大於 3.00mm，而停留在飼育箱沒有參加群舞的雄蟲，則有 16.7% 翅長小於 3.00mm，和本實驗結果雄蟲群舞飛行者平均翅長皆大於 3.46mm (表二)，停留者平均翅長為 3.18mm 類似。翅長代表適應良好時，其在群舞中比較有機會和雌蟲交配，遺傳較優良之基因，而不加入群舞或群舞中被擠至舞群下方者是沒有機會交配的，這可能和族群自然淘汰有關但仍須進一步探討。

標記物能助長雄蚊之集結，且其形狀會影響群舞雄蟲之飛行方向。Downes (1969) 則稱大型的標記物會產生個體數目較多的舞群。雖然 Bate (1949) 說明 *An. multicolor* 及 *An. pseudopunctipennis* 飼育籠中之標記物是白紙或反光物，而非黑色物質，但其並未說明養蟲籠之底部顏色，且重複試驗於 *An. superpictus* 及 *An. labranchiae* 時並沒有結果；本試驗平時為了飼育方便，在蟲籠底部而鋪以白色紙板，故採用黑色紙標記試驗，這和 Bate (1949) 所言雖有差異，可能和背景色及瘧蚊種不同而有不同。雄蚊發生群舞後，即有部分雌蚊加入舞群，而為雄蚊所擱住進行交配。70% 之雌蚊於群舞 1 小時內交尾，一直到 2 小時後即不再交配。每次交尾的

時間平均  $3.3 \pm 2.0$  秒。據 Quraishi (1965) 觀察 *An. stephensi mysorensis* 之交尾行為時，在群舞初期，間隔 15—20 秒有 1 隻雌蚊進入舞群中，但當舞群最大時，每分鐘有 9 隻雌蚊進入舞群。

雄蚊在群舞時，Sheu (1995) 報告稱，1 lux 之微光有助於成蟲之交配。初羽化成蟲，微光來自於上方，雌蟲之受精率較高，其後，微光來自於側方者，更有利於雌蚊之受精。而微光之顏色，除藍色光之受精率較低外，其餘色光之間並無顯著之差異。惟 Baerg (1971) 曾提到紅色光與藍色光較諸黃色，白色光更能增加 *An. pseudopunctipennis* 之交尾機會。此可能由於各色光波長不同，對不同習性之瘧蚊亦有差異所致。

群舞時，光週期亦影響雌蚊之交配意願。據 Rowland (1989) 觀察 *An. stephensi* 之報告，光週期為全暗 (DD) 狀態時，處女雌蚊之飛行活動會受到抑制。中華瘧蚊交配之最適光週期為 L : D = 8 : 16。

Sheu (1995) 曾報告中華瘧蚊的族群大小，雄蚊蟲數太少，無法形成群舞。但族群內雌雄性比對雌蚊之受精率亦有很大的影響，在 ♀ : ♂ = 20 : 1 時，雌蚊幾無受精現象；而 ♀ : ♂ = 1 : 5 時，雌之受精率達  $98.3\% \pm 2.9\%$  幾乎所有的雌蚊都已受精。足以證明棲群的雄蚊所佔比率越高，群舞的範圍及密度越大，雌雄蚊彼此接觸的機率亦增加，受精之機會亦相對提升。

在 15—30℃ 適溫範圍內，雌蚊的受精率和溫度成正比，溫度愈高，初羽化的成蟲體內的新陳代謝加速，提早提性成熟；且在高溫下，成蟲之活動力也提高，雌雄蚊交配活躍，因而增加交尾的機會，故雌蚊之受精率也愈高。實驗以 240 隻為試驗蟲數，每日取出對而不影響之後的交配率，乃因 Sheu (1995) 稱在 35cm × 35cm × 35cm 之蟲箱中放入 120 對

及240對之受精率是無差異的。

## 參考文獻

- Baerg, D. C.** 1971. Colonization of *Anopheles pseudopunctipennis* in Panama. J. Med. Entomol. 8: 180-182.
- Bate, M.** 1949. The natural history of mosquitoes. Macmillan New York. 378 pp.
- Charlwood, J. D., and M. D. R. Jones.** 1979. Mating behavior in the mosquito, *Anopheles gambiae* s.l. I. Close range and contact behavior. Physiol. Entomol. 4: 111-120.
- Charlwood, J. D., and M. D. R. Jones.** 1980. Mating in the mosquito, *Anopheles gambiae* s.l. II. Swarming behavior. Physiol. Entomol. 5: 315-320.
- Downes, J. A.** 1969. The swarming and mating flight of Diptera. Ann. Rev. Entomol. 14: 271-298.
- Jones, M. D. R., and S. J. Gubbins.** 1978. Changes in the circadian flight activity of the mosquito *Anopheles gambiae* in relation to insemination, feeding and oviposition. Physiol. Entomol. 3: 213-220.
- Lien, J. C.** 1978. Ecology and control of Taiwanese mosquitoes. Proceeding of Ecology and Control of Insects. Academia Sinica Taipei, Taiwan, 37-69 pp.
- Pan, C. F., and L. C. Han.** 1979. Study of rearing of *Anopheles sinensis* in the laboratory. Acta Entomol. Sinica 22: 41-44.
- Quraishi, M. S.** 1965. Swarming, mating, and density in nature of *Anopheles stephensi mysorensis*. J. Econ. Entomol. 58: 821-824.
- Ramachandra Rao, T., and P. F. Russell.** 1938. Some field observations on the swarming and pairing of mosquitoes, particularly *Anopheles annularis*, in south India. J. Malar. Inst. India 1: 395-403.
- Reisen, W. K., Y. Aslan, and T. F. Siddiqui.** 1977. Observation on swarming and mating of some Pakistan mosquitoes in nature. Ann. Entomol. Soc. Am. 70: 988-995.
- Reisen, W. K., N. F. Knop, and J. J. Peloquin.** 1985. Swarming and mating behavior of laboratory and field strains of *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 78: 667-673.
- Rodriguez-Perez, M. A., A. Gonzalez-Hernandez, and F. Reyes-Villanueva.** 1991. Observations on the flight and mating behavior of *Anopheles pseudopunctipennis* under insectary conditions. J. Am. Mosq. Control Assoc. 7: 316-317.
- Rowland, M.** 1989. Changes in the circadian flight activity of the mosquito *Anopheles stephensi* associated with insemination, blood-feeding, oviposition and nocturnal light intensity. Physiol. Entomol. 14: 77-84.
- Sheu, H. S.** 1995. Study of the colonization of *Anopheles sinensis* and observation of its mating behavior. M.S.

- Thesis, Dept. of Entomology, National Chung Hsing Univ. Taiwan. 70pp. (in Chinese).
- Theron, D. L.** 1978. An observation on swarming in a member of the *Anopheles gambiae* complex in Zululand (Diptera: Culicidae). J. Entomol. Soc. Sth. Afr. 41: 215-216.
- Wang, H. L., S. K. Chiang, S. W. Zhang, J. P. Chiang, and C. C. Huang.** 1983. Observation the development of *Plasmodium vivax* inside *Anopheles sinensis* mosquito at Kaifeng, Henan, China. Acta Zool. Sinica 29: 141-148. (in Chinese).
- Wang, H. S., H. S. Jen, and P. C. Deng.** 1982. The mating habit of *Anopheles sinensis* in the laboratory. Acta Entomol. Sinica 23: 114-116. (in Chinese).
- Yuval, B., J. W. Wekesa, and R. K. Washino.** 1992. Effect of body-size on swarming behavior and mating success of male *Anopheles freeborni* (Diptera: Culicidae). J. Insect Behav. 5: 333-342.

收件日期：1996年10月1日

接受日期：1996年11月23日

# Studies of Mating Behavior of *Anopheles sinensis* (Diptera: Culicidae)

Cheng-wen Liu, Chin-chang Yeh\* Department of Entomology, National Chung Hsing University  
Cheng-hsung Wang Environmental Protection Administration, Executive Yuan

## ABSTRACT

A place for the mosquito, *Anopheles sinensis*, to mate has to be made available by the swarming of males. Under 1 lux light after dawn in the laboratory, 70%-80% of males swarmed by circling around a marker in a zigzag path. Meanwhile, females waited outside the circle and showed wing vibration. A marker helped males gather, and its shape influenced the swarming structure and flight direction. Swarming mainly occurred during the 1st h of the dark period (18:00-19:00). After 1 h of darkness (19:00-20:00), the numbers of swarming males greatly decreased; only 30% of males continued swarming. During swarming, females were attracted to join and were caught by males for mating. We observed 70% of females mating within 1 h after the onset of swarming and mating usually lasted for 2-8 sec with an average of 3.3 sec.

Dim light (1 lux) from the side helped insemination of females more than light from above. As to the effect of the color of light on the insemination rate, except for blue light which decreased the rate, the other colors made no significant difference. Different photoperiods [light (L): Darkness (D)] also influenced the tendency of female mating. When L:D=12:12 and L:D=8:16, the insemination rates of females surpassed 80%.

The insemination rate rose as the sex ratio of males to females increased. When ♀:♂=20:1, females were hardly inseminated, but when ♀:♂=1:5, the insemination rate reached 98.3%. As for the effect of temperature in the normal range, insemination rates increased as the temperature went up with a peak of 95% at 30 °C.

**Key words:** swarming, marker, sex ratio, *Anopheles sinensis*, insemination rate.