コガネムシ類の発育ステージと呼吸量との関係^{1), 2)}

刑部正博³⁾・吉田正義⁴⁾・廿日出正美

静岡大学農学部

Relationship between Developmental Stages and Respiration Function in Scarab Beetles (Coleoptera : Scarabaeidae). Masahiro OSAKABE⁵⁾, Masayoshi YOSHIDA⁶⁾ and Masayoshi HATSUKADE (Laboratory of Applied Entomology, Faculty of Agriculture, Shizuoka University, 834 Ohya, Shizuoka-shi, Shizuoka 422, Japan). *Jap. J. appl. Ent. Zool.* **26** : 294—299 (1982)

Respiration function in each developmental stage of scarab beetles was measured by the gas chromatography. The amount of CO₂ expired by the eggs of *Anomala osakana* SAWADA was 0.364 μ l/hr per egg when the eggs had absorbed water for three days after oviposition, and 1.319 μ l/hr after water absorption for nine days. The amount of CO₂ expired by the first to third instars (feeding period) of *A. osakana* and *A. schönfeldti* OHAUS increased as the larval stage progressed, but the amount of CO₂ expired per unit body-weight decreased as the larvae grew. Dermal respiration of the hibernating 3rd instar larvae of *A. osakana* and *A. cuprea* HOPE was demonstrated. The amount of CO₂ expired at 25°C by the nocturnal adult *A. osakana* and the diurnal *Phylloperth diversus* WATERHOUSE was 46×10^{-2} ml/g/hr in the daytime and 87×10^{-2} ml/g/hr at night, and 261×10^{-2} ml/g/hr and 111×10^{-2} ml/g/hr respectively. As mentioned above, there was a certain relationship between the activity of the adults and the amount of CO₂ expired.

緒 言

近年芝草害虫に関する研究が進み、その生理・生態および防除法などが逐次明らかにされてきた (吉田, 1979 ; 吉田・廿日出, 1981)。しかし、その多くが潜土性の昆虫であるため、発生の確認や防除は極めて困難である。中でも芝草に重大な被害を与えるコガネムシ類の種類は多く、20 種以上にものぼる (吉田, 1978)。また、米国においてもマメコガネ *Popillia japonica* NEWMAN や European chafer *Amphimallon majalis* RAZOUMOVSKY などが牧草地・果樹園などで大きな被害をもたらし、それらに関する多くの重要な報告がなされている (FIORI, 1976 ; LADD et al., 1980 ; TASHIRO and KUHR, 1978)。

しかしこれらの中でコガネムシ類の土壌中における呼吸生理や摂食行動など生息環境に関連した基礎的な研究は殆んどみられない。そこで著者らは 1979 年 11 月～1980 年 9 月にわたって、オオサカスジコガネ *Anomala*

osakana SAWADA を中心として各発育ステージにおける呼吸量および幼虫における皮膚呼吸について実験を行った。

材料および方法

1. 供試虫

供試虫は野外採集したものと室内飼育で得たものを用いた。野外採集のものはオオサカスジコガネ、ドウガネブイブイ *Anomala cuprea* HOPE、ウスチャコガネ *Phylloperth diversus* WATERHOUSE の 3 種は静岡県磐田市鯨島 (浜松シーサイドゴルフ場) から、チビサクラコガネ *Anomala schönfeldti* OHAUS は同県小笠郡浜岡町門屋 (静岡カントリークラブ浜岡ゴルフ場) から、コイチャコガネ *Adoretus tenuimaculatus* WATERHOUSE は静岡市大谷の山地 (有度山) から採集した (以下、供試虫はそれぞれオオサカ、ドウガネ、ウスチャ、チビおよびコイチャと略称)。また、室内飼育では木材粉を混合した腐葉土をつめた直径 7.5 cm × 高さ 5 cm のプラスチック

1) 本報告は日本応用動物昆虫学会東海支部第 38 回講演会 (1980) で発表した。

2) 静岡大学農学部応用昆虫学教室 業績番号 : 99.

3) 現在 農林水産省果樹試験場安芸津支場。

4) 現在 社団法人 静岡県ゴルフ場協会。

5) Present address : Akitsu Branch, Fruit Tree Research Station, Akitsu, Hiroshima 729-24, Japan.

6) Present address : Shizuoka Golf Course Association, 300 Momozono, Susono-shi, Shizuoka 410-11, Japan.
1982 年 7 月 8 日受領 (Received July 8, 1982)

製のカップを飼育装置として用いた。また、ドウガネ成虫の飼育には餌としてカキの新葉を用いた。

供試虫として用いた幼虫は3齢前期で摂食活動を行っているものを摂食期、後期で摂食活動をせず体内の糞を全て排出したものを非摂食期とし、さらに蛹化のため脚の運動を停止して走行しなくなったものを前蛹として区別した。

2. 呼吸量の測定

供試虫を個別にガラスまたはプラスチック製の円筒容器（それぞれ直径 1.6×高さ 7.5 cm, 2.4×5.5cm）に入れてシリコンゴムで蓋をし、恒温室内（15～25℃）に1～3時間静置後、1 ml の注射器で容器内の空気を抜き取りガスクロマトグラフィーにより CO₂ 量を測定した。CO₂ の定量条件は Table 1 に示す。また、CO₂ 呼出量の換算には虫の比重を 0.8 とし、空気を抜き取る際の減圧を考慮して容器内の気相の体積に 3 ml を加えて計算した。

卵：湿ったろ紙を敷いたシャーレに産卵直後のオオサカの卵を並べて室内に静置し、卵重はほぼ2日ごとに5～10粒をトーションバランスで秤量し、産卵後3日目と9日目の卵各5粒について呼吸量を測定した。

幼虫：室内飼育したオオサカとチビの1～3齢幼虫（摂食期）およびオオサカの3齢幼虫（摂食期、非摂食期、前蛹）について、前者ではオオサカで30頭、チビで19頭、後者では摂食期、非摂食期、前蛹の計34頭、また1979年11月～1980年5月まではほぼ毎月野外から採集したオオサカ3齢幼虫について各5頭ずつ測定を行った。

幼虫の気門閉鎖：1, 2および4月に野外採集したオオサカ（摂食期、非摂食期）と室内飼育のドウガネ（非摂食期）の3齢幼虫の気門を速乾性エナメルで全て閉鎖し、呼吸量を測定した。気門閉鎖の有無は実体顕微鏡で確認し、測定にあたっては閉鎖が不完全と思われるものは全て除いた。また、対象として気門を閉鎖していないドウガネ3齢幼虫についても測定した。供試虫数は各5頭である。

Table 1. CO₂ determination by gas chromatography

Apparatus	HITACHI K53
Detector	TCD
Column	Stainless column 3 mm×2 m
Fillers	Porapak R (80–100 mesh)
Temperature	Column : 50–60°C Injector : 50–60°C
Carrier gas	He : 40 ml/sec.
Chart speed	1 cm/min.

Fig. 1. Increase in egg weight of *A. osakana* after water absorption and respiratory activity at 25°C. (●: egg weight, ○: Amount of CO₂ expired, vertical lines: S. D.).

蛹：オオサカとドウガネの蛹について、蛹化～21日目まではほぼ3日ごとに測定した。供試虫数は各5頭である。

成虫：室内飼育により羽化後1週間以上を経過したオオサカ、チビ、ドウガネおよび野外採集したウスチャ、コイチャの成虫各5頭について、昼間（12：00～15：00）と夜間（20：00～21：00）に測定した。

結 果

1. 吸水成長による卵重の変化と卵の呼吸量

産卵後3および9日目のオオサカ卵のCO₂呼出量と産卵～9日目までの卵重の変化を Fig. 1 に示した。卵重は産卵当日は 1.9 mg であったが、その後増加し9日目には産卵当日の約 3.4 倍の 6.7 mg となった。また、CO₂ 呼出量は3日目では1卵当たり 0.364 μl/hr であったが、9日目では 1.319 μl/hr で、約 3.6 倍に上昇した。

2. 幼虫の呼吸量

1 オオサカおよびチビ1～3齢幼虫の呼吸量

オオサカとチビ1～3齢（摂食期）幼虫について、幼虫の体重と1頭当たりおよび単位体重当たりのCO₂呼出量との関係をそれぞれ Fig. 2 と 3 に示した。Fig. 2 によると、オオサカ1頭当たりのCO₂呼出量は1齢

Fig. 2. Respiratory activity in larvae of *A. osakana* and *A. schönfeldti* at 25°C. (○: *A. osakana*, ●: *A. schönfeldti*).

Fig. 3. Respiratory activity per unit body-weight in larvae of *A. osakana* and *A. schönfeldti* at 25°C. (○: *A. osakana*, ●: *A. schönfeldti*).

(体重 0.1 g 以下のグループ), 2 齢 (0.1~0.2 g) および 3 齢 (0.3 g 以上) でそれぞれ約 0.01, 約 0.02~

0.035 および 0.03~0.15 ml/hr であり, 幼虫の齢が進むにつれて増大した。チビにおいても 1 齢 (0.025 g 以下のグループ), 2 齢 (0.025~0.1 g) および 3 齢 (0.2 g 以上) でそれぞれ約 0.01, 0.02~0.045 および 0.06~0.135 ml/hr で, オオサカと同様に発育が進むにつれて増大し, 両者の間に大差はなかった。しかし, これを単位体重当りに換算すると, Fig. 3 から明らかなように両者ともに 1 齢で CO₂ 呼出量が最も多く, 以後発育が進むにつれて低下した。また, 両者の間では明らかにチビの方が多かった。

オオサカ 3 齢幼虫の CO₂ 呼出量は, Table 2 に示したように摂食期に最も多く, 次は前蛹, 非摂食期の順であった。

2 越冬幼虫の呼吸量の変化

Table 2. Respiratory activity per unit body-weight in third instar larvae of *A. osakana*

Temp.	Amount of CO ₂ expired ($\times 10^{-2}$ ml/g/hr) ^{a)}		
	feeding period	non-feeding period	prepupal period
20°C	7.46 $\pm$ 1.98	1.92 $\pm$ 0.32	4.20 $\pm$ 0.49
25°C	13.70 $\pm$ 4.50	2.22 $\pm$ 0.60	5.33 $\pm$ 1.13
weight(g)	0.637 $\pm$ 0.061	0.584 $\pm$ 0.046	0.526 $\pm$ 0.085

a) mean $\pm$ S.D.

Fig. 4. Respiratory activity per unit body-weight in third instar (larvae of field-collected *A. osakana* during hibernation. (●: feeding period, ○: non-feeding period, —: 25°C, ---: 15°C).

Table 3. Respiratory activity of hibernating third instar larvae of *A. osakana* and *A. cuprea* determined after plugging the spiracles with enamel

	Amount of CO ₂ expired ($\times 10^{-2}$ ml/g/hr)					
	feeding period			non-feeding period		
	Jan.	Feb.	Apr.	Jan.	Feb.	Apr.
<i>A. osakana</i>						
normal (A1)	8.2 $\pm$ 2.4	9.0 $\pm$ 2.5	10.5 $\pm$ 0.5	7.8 $\pm$ 3.8	7.6 $\pm$ 2.6	7.2 $\pm$ 1.5
closed (B1)	6.9 $\pm$ 1.3	4.7 $\pm$ 1.2	4.8 $\pm$ 1.4	4.3 $\pm$ 0.9	3.9 $\pm$ 1.4	4.1 $\pm$ 0.7
<i>A. cuprea</i>						
normal (A2)	—	—	—	7.9 $\pm$ 1.5	10.8 $\pm$ 1.8	11.0 $\pm$ 3.5
closed (B2)	—	—	—	2.6 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 0.6	3.1 $\pm$ 1.2
B1 A1 $\times 100$ (%)	84.1	52.2	45.7	55.1	51.3	56.9
B2 A2 $\times 100$ (%)	—	—	—	36.7	19.4	28.2

越冬期に野外採集したオオサカ 3 齢幼虫の CO₂ 呼出量を Fig. 4 に示した。これによると、15°C では月別の変化はほとんど認められなかった。しかし、25°C では摂食期のものは 11~12 月にかけて CO₂ 呼出量が急激に減少し、その後次第に上昇して 5 月にはほぼ回復した。一方、非摂食期のものでは 12~4 月まではほぼ一定であり、気温の上昇した 5 月にはむしろ減少の傾向がみられた。

Fig. 5. Respiratory activity per unit body-weight in pupa of *A. osakana* at 25°C.

3 気門を閉鎖した幼虫の呼吸量

速乾性エナメルで気門を閉鎖したオオサカおよびドウガネ 3 齢幼虫の CO₂ 呼出量を Table 3 に示した。この結果、気門を閉鎖した場合でも両種ともに CO₂ の呼出が認められ、その傾向はオオサカでは 1 月の摂食期幼虫の結果を除いて $4 \sim 5 \times 10^{-2}$ ml/g/hr で、1~4 月の間はほぼ一定の値を示した。ドウガネではほぼ 3×10^{-2} ml/g/hr でオオサカと同様に一定の値を示した。これに対して、正常な幼虫ではオオサカの摂食期、非摂食期でそれぞれ $8 \sim 10.5 \times 10^{-2}$ 、 $7 \sim 8 \times 10^{-2}$ ml/g/hr で、気門を閉鎖した場合の CO₂ 呼出量は正常なもの約 1/2 であった。また、ドウガネでは約 1/3 であった。

3. 蛹の呼吸量

オオサカ蛹について、蛹化後の経過日数と CO₂ 呼出量との関係を Fig. 5 に示した。蛹の CO₂ 呼出量は日数の経過に伴って減少し、複眼に着色が認められるようになる 7~9 日目を底として、それから胸部背面に着色が認められるようになる 20~21 日目に向かって急増した。ドウガネにおいても同様の傾向が認められ、また 25°C における単位体重当たりの CO₂ 呼出量は両種の間にはほとんど差がなかった。

4. 成虫の呼吸量

オオサカ、チビ、ドウガネ、ウスチャおよびコイチャ成虫の CO₂ 呼出量を温度別、昼夜別に Table 4 に示した。この結果を温度別にみると、オオサカ、ウスチャおよびコイチャでは 20°C と 25°C との間に CO₂ 呼出量の大きな差異が認められたが、チビとドウガネでは認められなかった。また、昼夜別の比較では、オオサカでは特に 25°C において昼間より夜間の CO₂ 呼出量の方が多かったが、ドウガネでは昼夜の間にほとんど差異は

Table 4. Respiratory activity of adult of scarab beetles in the daytime and at night

kind	temp.	Amount of CO ₂ expired ($\times 10^{-2}$ ml/g/hr)	
		daytime	nighttime
<i>A. osakana</i>	20°C	27 $\pm$ 2	27 $\pm$ 4
	25	46 $\pm$ 8	87 $\pm$ 45
<i>A. schönfeldti</i>	20	53 $\pm$ 23	—
	25	73 $\pm$ 21	—
<i>A. cuprea</i>	20	65 $\pm$ 7	40 $\pm$ 7
	25	65 $\pm$ 9	62 $\pm$ 5
<i>A. tenuimaculatus</i>	20	66 $\pm$ 24	50 $\pm$ 12
	25	113 $\pm$ 18	91 $\pm$ 21
<i>P. diversa</i>	20	92 $\pm$ 44	50 $\pm$ 25
	25	261 $\pm$ 137	111 $\pm$ 58

なく、コイチャでは夜間の方がやや少なく、ウスチャでは明らかに昼間の方が多かった。

5. 発育に伴う呼吸量の変化

オオサカの卵を除いた各発育ステージに属する個体のCO₂呼出量を Fig. 6 に示した。最も呼吸量が多かったのはふ化直後の1齢幼虫であり、その値は約70~200 $\times 10^{-2}$ ml/g/hr であった。その後、幼虫の呼吸量は2

Fig. 6. Relationship between developmental stage and respiratory activity per unit body-weight at 25°C in *A. osakana*. (A: feeding period, B: non-feeding period, C: prepupal period).

齢、3 齢と進むにつれて急激に減少する傾向がみられた。呼吸量の最も少ないのは3 齢の非摂食期で、その値は約 2×10^{-2} ml/g/hr で、前蛹で多少増加し、蛹では $2 \sim 9 \times 10^{-2}$ ml/g/hr であった。さらに成虫の呼吸量は約 $30 \sim 60 \times 10^{-2}$ ml/g/hr で蛹期と比べて非常に増加した。

考 察

一般に昆虫の呼吸量は、活動が活発になるほど多くなる傾向があると考えられる。本実験では密閉した容器内での呼吸量を測定している点から、その測定値は自然状態における数値と若干の相違がある可能性はある。しかし、本実験の結果は上述の傾向とほぼ同様の傾向を示している。このため、これらの数値からコガネムシ類の各発育ステージに属する個体の呼吸量について検討し、さらに幼虫期における皮膚呼吸の有無について検討した。

1. 発育ステージおよび種類と呼吸量との関係

一般に卵の呼吸量は胚子の発育に伴って増加すると考えられ、山崎 (1976) によるとミカンコミバエ *Dacus dorsalis* HENDEL の卵の呼吸量は産卵当初に低くふ化前に高くなるが、本実験の結果においても同様の傾向が認められた。

幼虫期の呼吸量はふ化当時から最も多く、2 齢、3 齢と進むにつれて急激に減少する傾向がみられ、さらに活動の最も少なくなる3 齢非摂食期および前蛹期に最低となる (Fig. 3, Fig. 6)。永田ら (1978) によるとカイコ *Bombyx mori* LINNÉ 幼虫の呼吸量は摂食期に多く、脱皮期に少ないが、4 齢摂食期の CO₂ 呼出量の最大値が約 $50 \mu\text{moles/時間/生体重 g}$ である。これをオオサカ3 齢摂食期幼虫 (25°C) と比較してみると、単位体重当たりでみた場合、カイコ4 齢幼虫の呼吸量はオオサカの約10 倍であり、本実験で呼吸量が比較的多かったチビにしても、カイコの約 $1/3 \sim 1/4$ である。著者らは他の土壌昆虫であるマルクビクシコメツキ *Melanotus fortunii* CANDEZE とシオヤアブ *Promachus yesonicus* BIGOT の幼虫の呼吸量について調査し、チビの場合とほぼ同じ数値を得たのであるが (未発表)、土壌中に生息する幼虫と地上に生息する幼虫の呼吸量の間にこのような差がみられることは生活様式の相違を暗示するものではないかと考えられ興味深い。

蛹の呼吸量は $2 \sim 9 \times 10^{-2}$ ml/g/hr でいわゆるV字形の変化を示し、これは山崎 (1972) によるミカンコミバエの場合と同様な傾向であった。また、胸部背面に着色が認められるようになる蛹化後20~21 日目に向けて呼

呼吸量が増大したが (Fig. 5), この現象は他の多くの昆虫で述べられているように (永田ら, 1978), 羽化準備のための脂質の燃焼に起因するものであろう。

成虫の呼吸量が蛹期より急激に増加した (Fig. 6) 理由は, 活動量の増加によるものと考えられる。

次に幼虫の生息環境の相違と呼吸量との関係であるが, 含水量の少ない土壤中に生息するチビ (3 齢摂食期) と含水量の多い土壤に生息するオオサカ (3 齢摂食期) の幼虫の呼吸量を比較するとチビの方がはるかに多かった (Fig. 3)。このことは両種の間の活動性の相違を意味するものと考えられる。

Table 4 にみられるように, 成虫の温度に対する感受性が種類によって異なっている理由は, その発生時期の相違と関係があるのではないかと考えられる。また, 成虫の活動する時刻もその種類によって大きく異なる。例えば, ウスチャは昼間の一定時間帯 (10:00~15:00) に芝草の上を盛んに群飛しているが, それ以外は地中に潜入する (奥富・吉田, 1976)。オオサカやチビでは逆に昼間は土中に潜入しており, 夜間の一定時間帯に地上に出現して盛んに活動するなどである (吉田・安田, 1975; 吉田, 1979)。そこでこれらの活動する時刻と呼吸量との関係を見ると, 昼間活動性のウスチャでは昼間に呼吸量が多く, 夜間活動性のオオサカ (25°C) では夜間に呼吸量が多くなっている (Table 4)。したがって, これらのコガネムシ類成虫の呼吸量は活動と正の相関関係にあるものと考えられる。

2. コガネムシ類の幼虫期における皮膚呼吸

前述のようにコガネムシ類幼虫の呼吸量が地上に生息する昆虫の幼虫に比べて極めて低い数値であるので, 両者の呼吸様式に相違があることが予測される。そこでオオサカとドウガネの 3 齢幼虫の気門を閉鎖して呼吸量を測定した。気門を閉鎖された幼虫は初めは体の緊張が一瞬ゆるんだ状態になるが, 両種の幼虫とともに CO_2 の呼出が認められ, その量は正常なものの約 $1/2 \sim 1/3$ であった (Table 3)。吉田 (1961) はマルクビクシコメツキの生理・生態に関する一連の研究の中で, 同幼虫は皮膚呼吸も行う可能性があることを報告している。本実験においても, オオサカとドウガネ幼虫の気門を完全に閉鎖した場合に CO_2 の呼出が確認された。したがって, このことは両種の幼虫が気門呼吸と同時に皮膚呼吸も行うことを示唆するものであろう。また, 気門を閉鎖した場合の呼吸量がオオサカとドウガネでともに 1~4 月の間はほぼ一定の値を示したことから (Table 3), 越冬期の幼虫にみられる呼吸量の変化 (Fig. 4) は気門による

呼吸量の変化に起因するものではないかと思われる。

摘 要

ガスクロマトグラフィーを用いて, コガネムシ類の各ステージにおける呼吸量の測定と幼虫における皮膚呼吸の有無について検討した結果, 以下のことが明らかとなった。

- 1) オオサカスジコガネの卵の CO_2 呼出量は卵の発育に伴って上昇する傾向を示した。
- 2) オオサカスジコガネとチビサクラコガネの幼虫期の単位体重当たりの CO_2 呼出量は 1 齢で最も多く, 齢期が進むにつれて減少した。
- 3) オオサカスジコガネとドウガネブイブイの越冬 3 齢幼虫で, 気門を閉鎖したところ, CO_2 の呼出が認められ, 皮膚呼吸の可能性が示唆された。
- 4) 蛹期の CO_2 呼出量は蛹化後 7~9 日目に最低となり, その後急増した。
- 5) 成虫では, 昼間活動性のものと夜間活動性のものとの間に, CO_2 呼出量で一定の関係が認められた。

引用文献

- FIORI, B. J. (1976) European chafer: Aspects of night behavior. *J. econ. Ent.* **69**: 462-464.
- LADD, T. L., A. B. BORKOVEC, C. R. BURIFF, and M. G. KLEIN (1980) Japanese beetle: Chemosterilization by Fumigation. *J. econ. Ent.* **73**: 12-14.
- 永田昌男・藤條純夫 (1978) 昆虫の変態. 昆虫の科学 (松本義明, 高橋信孝, 吉武成美 編), 東京: 朝倉書店, pp. 38-61.
- 奥富一夫・吉田正義 (1976) 芝草を加害するコガネムシ類の研究 VIII. ウスチャコガネの生態と防除. *芝草研究* **5**: 69-77.
- TASHIRO, H. and R. J. KUHR (1978) Some factors influencing the toxicity of soil applications of chlorpyrifos and diazinon to European chafer grubs. *J. econ. Ent.* **71**: 904-907.
- 山崎輝男 (1972 [1976]) 昆虫の生理. 応用昆虫学 (安松京三・山崎輝男・内田俊郎・野村健一 編), 東京: 朝倉書店 pp. 107-109.
- 吉田正義 (1961) マルクビクシコメツキの生理生態学的研究. *静大農特報* No. 1, 127 p.
- 吉田正義 (1978) 芝草害虫と防除. *植防* **32**: 383-389.
- 吉田正義 (1979) 芝草の病虫害と雑草. (細辻豊二・吉田正義 編), 全国農村教育協会, pp. 38-109, 193-262.
- 吉田正義・廿日出正美 (1981) 芝草害虫に関する研究. *静大農特報* No. 4, 171 p.
- 吉田正義・安田 誠 (1975) 芝草を加害するコガネムシ類の研究 VI. チビサクラコガネの生活史と経過習性. *芝草研究* **4**: 1-6.