

ナナホシテントウの休眠の誘起と覚醒の支配要因*

桜井宏紀・平野哲司**・児玉和辛***

後藤研也****・武田 享

昆虫学研究室

(1986年7月31日受理)

Controlling factors in induction and termination of diapause in the lady beetle, *Coccinella septempunctata bruckii*

Hironori SAKURAI, Tetsushi HIRANO, Kazuyuki KODAMA
Kenya GOTO and Susumu TAKEDA

Laboratory of Entomology

(Received July 31, 1986)

SUMMARY

Controlling factors in induction and termination of aestivation in *Coccinella septempunctata bruckii* Mulsant were studied. The 1st-generation adults reared under various photoperiodic conditions entered diapause, while those reared under the short photoperiod at 18°C throughout life did not diapause. When the latter ones were transferred to the natural condition in summer after emergence, they entered the diapause. Observations indicated that aestivation is induced in response to summer conditions. The long photoperiod at 25°C inhibited both respiration and oögenesis, while the short photoperiod at 25°C did not affect oögenesis. Thus, the long photoperiod in summer might cause reproductive diapause. Whereas the diapause was activated by juvenile hormone and autumn condition (short photoperiod at 18°C). However, the diapause was activated spontaneously under the long photoperiod at 25°C. Therefore, the aestivation seems to be activated with no connection to climatic change in late summer.

摘 要

ナナホシテントウの夏眠の誘起と覚醒の支配要因を検討した。第1世代個体を羽化後25°Cで種々な日長条件下で飼育すると、全ての個体が夏眠した。一方18°C短日条件下で発育した成虫は休眠しないが、これを高温長日の自然条件下に移すと休眠することから、夏季の気候条件が夏眠誘起に関係していることが推測された。25°C長日条件下で発育した成虫は呼吸と生殖の両活性が阻害されるのに対し、25°C短日条件下のそれでは呼吸のみが阻害され、生殖機能は活発であった。このことから夏季の高温長日条件は卵形成を阻害し、生殖休眠を誘起することが示唆された。次に夏眠の覚醒については、幼若ホルモンがそれを刺激し、18°C短日条件が覚醒を促進する傾向を示した。しかし25°C長日下で発育した個体で一定期間後に休眠

* 岐阜大学農学部昆虫学教室業績 No.109

** 愛知県農業総合試験場, 山間技術実験農場

*** 名古屋植物検疫所, 清水支所

**** 京都府立桃山養護学校

覚醒がみられたことから、夏眠覚醒には気候要因は特に関係しない様に思われる。

緒 言

ナナホシテントウはわが国では基本的に2化性であり、第1世代成虫が夏眠するのに対し、第2世代成虫は越冬する^{1,2)}。夏眠個体では呼吸および卵形成が阻害され、アラタ体の内分泌活性も著しく低下する³⁾。夏眠個体に幼若ホルモン類似体を塗布すると呼吸量が増加し、成熟卵が形成されることから、夏眠がアラタ体の活性低下に起因する真の休眠であることが示される⁴⁾。一方、越冬個体では呼吸量は高くアラタ体の内分泌機能も活発である³⁾。越冬個体を高温下に移すと直ちに卵巣の成熟化がみられることから、越冬は低温による単なる活動抑制と考えられる。ナナホシテントウの夏眠誘起については、餌であるアブラムシが夏に不足することが主要因であることが示唆されている^{5,6)}。しかし夏眠の誘起と覚醒に対する温度と日長の効果については、よく分っていない。そこで本研究では、ナナホシテントウの夏眠と覚醒の支配要因について検討を加えた。

材料および方法

供試昆虫：岐阜県各務原市の岐阜大学農学部附属農場周辺の雑草上から採集した個体と、実験室内で飼育したその子孫を使用した。飼育は主として内径10cm×深さ6.5cmのプラスチック容器に5～10頭の幼虫を入れて行ったが、内径2.5cm×深さ10cmの容器で雌雄1頭ずつの飼育も行った。餌として用いたアブラムシは約20種で、その中マメアブラムシ *Aphis craccivora* Koch, モモアカアブラムシ *Myzus persicae* Sulzer, ダイコンアブラムシ *Brevicoryne brassicae* Linné, ギシギシアブラムシ *Aphis rumicis* Linné, およびタイワンヒゲナガアブラムシ *Dactynotus formosanus* Takahashi, をよく使用した。また餌の不足する夏季にはアブラムシの真空凍結乾燥粉末や、ミツバチの雄蜂児粉末⁷⁾も補助的に使用した。飼育時の温度と日長の調節は、日本医科器機製の低温恒温器を用いて行った。

幼若ホルモン類似体の処理：methoprene (ZR-515) をピーナッツ油で5 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ の濃度に希釈し、その1 μl をマイクロシリンジを用いて成虫の腹部背板に塗布した。

休眠状態の判定：呼吸量、産卵および卵巣の発達度より休眠状態を推定した。呼吸量はワールブルグ検圧計により成虫1個体当りの値を測定した。卵巣の発達度は5つの卵形成ステージに分けて観察した⁴⁾。

実験結果

1. 第1世代成虫の25°C, 各種日長条件下での飼育

5月下旬に野外より第1世代の蛹を採集し、羽化してきた成虫を25°Cで各種日長条件下で飼育した。雌成虫の呼吸量の羽化後の変化はTable 1の通りである。自然温度・日長区(A: control)および25°C, 11時間日長区(B)とも、呼吸量は羽化15日以後に急激に低下した。25°C, 13時間日長区(C)および25°C,

Table 1. Changes of respiration rate of the 1st-generation females reared under different photo-periods at 25°C after emergence

Experimental condition	Days after emergence			
	5	15	25	35
A : natural condition	2.42±0.35 *	0.57±0.16	0.67±0.26	0.51±0.17
B : 25°C, LD 11h : 13h	2.41±0.33	0.56±0.14	0.39±0.09	0.30±0.07
C : 25°C, LD 13h : 11h	1.48±0.30	1.07±0.29	0.76±0.29	0.56±0.30
D : 25°C, LD 15h : 9h	1.30±0.21	0.80±0.38	0.46±0.18	0.60±0.25

Pupae were collected in the field in the late May and adults were reared under each condition after emergence.

* Values are $\mu\text{l O}_2/\text{mg}/\text{h}$ and mean \pm SD.

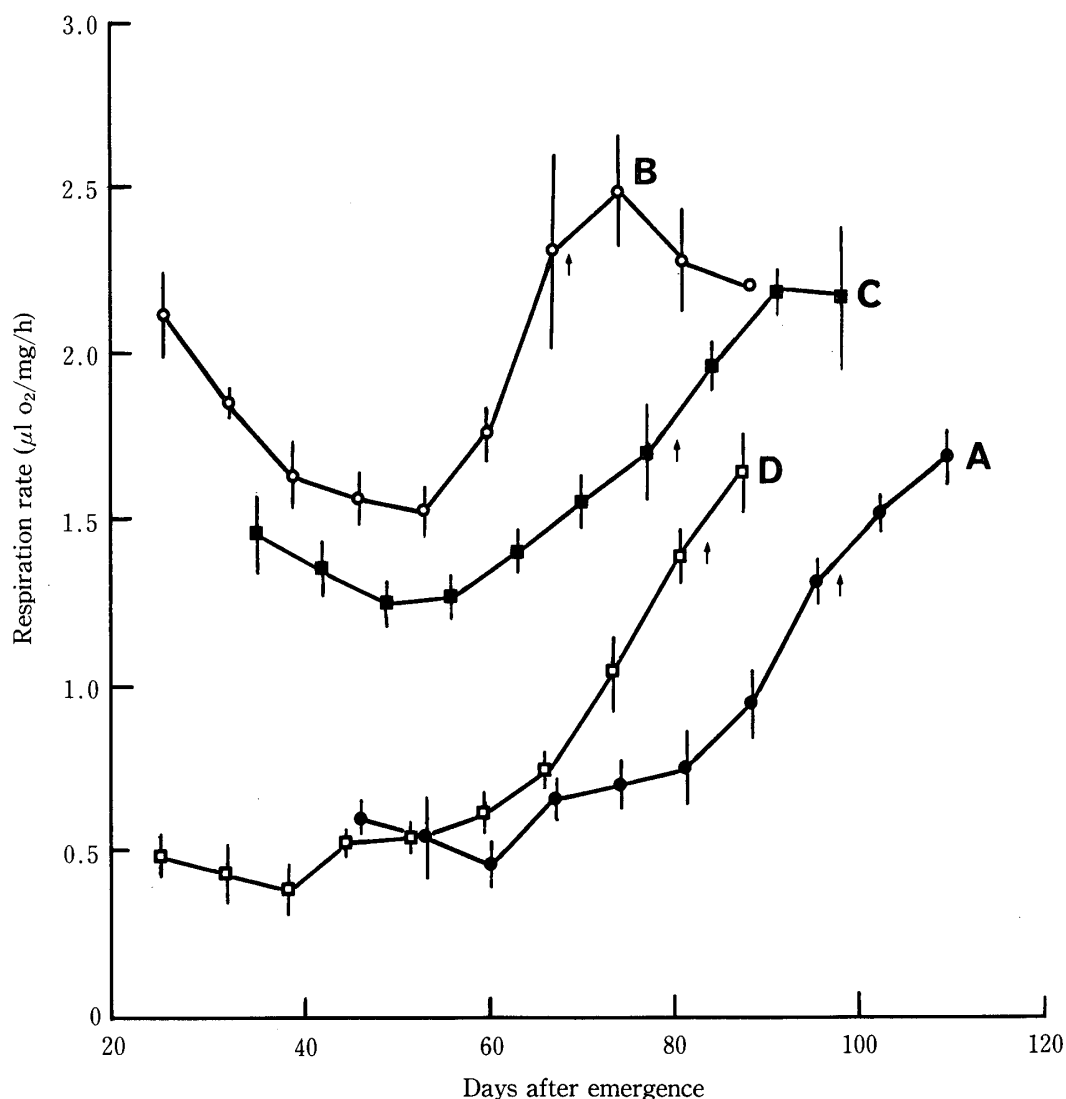


Fig. 1. Changes of respiration rate of female adults reared under various conditions. The 1st-generation larvae hatched in the late April were reared under natural condition (A : ●) or 18°C, LD 11h : 13h (B : ○). Also the larvae in A were transferred to B after 3rd-instar (C : ■), and the adults in B were to A after emergence (D : □). Arrows in the figure show the day that oviposition began. Values are mean ± SD.

15時間日長区 (D) では、呼吸量は羽化後急速に低下し、羽化後5日後におけるC、D両区の値は、A、B両区のそれに比べてかなり低かった。羽化35日後には各区とも0.3~0.6µl O₂/mg/hの低い値を示し、いずれも休眠に入っていることが推定された。なおB、C、D3区の少数の個体で、羽化後10~15日および30~35日の間に産卵がみられた。

2. 第1世代個体の自然条件下および18°C短日条件下での飼育

4月中旬に野外より採集した越冬後の雌成虫を実験室内で産卵させ、そのふ化幼虫を自然条件 (A) または18°C短日条件 (LD 11h : 13h) (B) で飼育した。またA区で発育した3令幼虫 (C) およびB区で発育した新成虫 (D) を、互いに条件を入れ替えて飼育した。各区における呼吸量の変化を7月5日より9月6日まで測定した (Fig. 1)。A区の呼吸量は羽化後60日ころに最低 (0.46µl O₂/mg/h) となった後、90日ころより急速に増加した。B区の呼吸量は羽化後50日ころに最低 (1.52) となり、その後は急激に増加

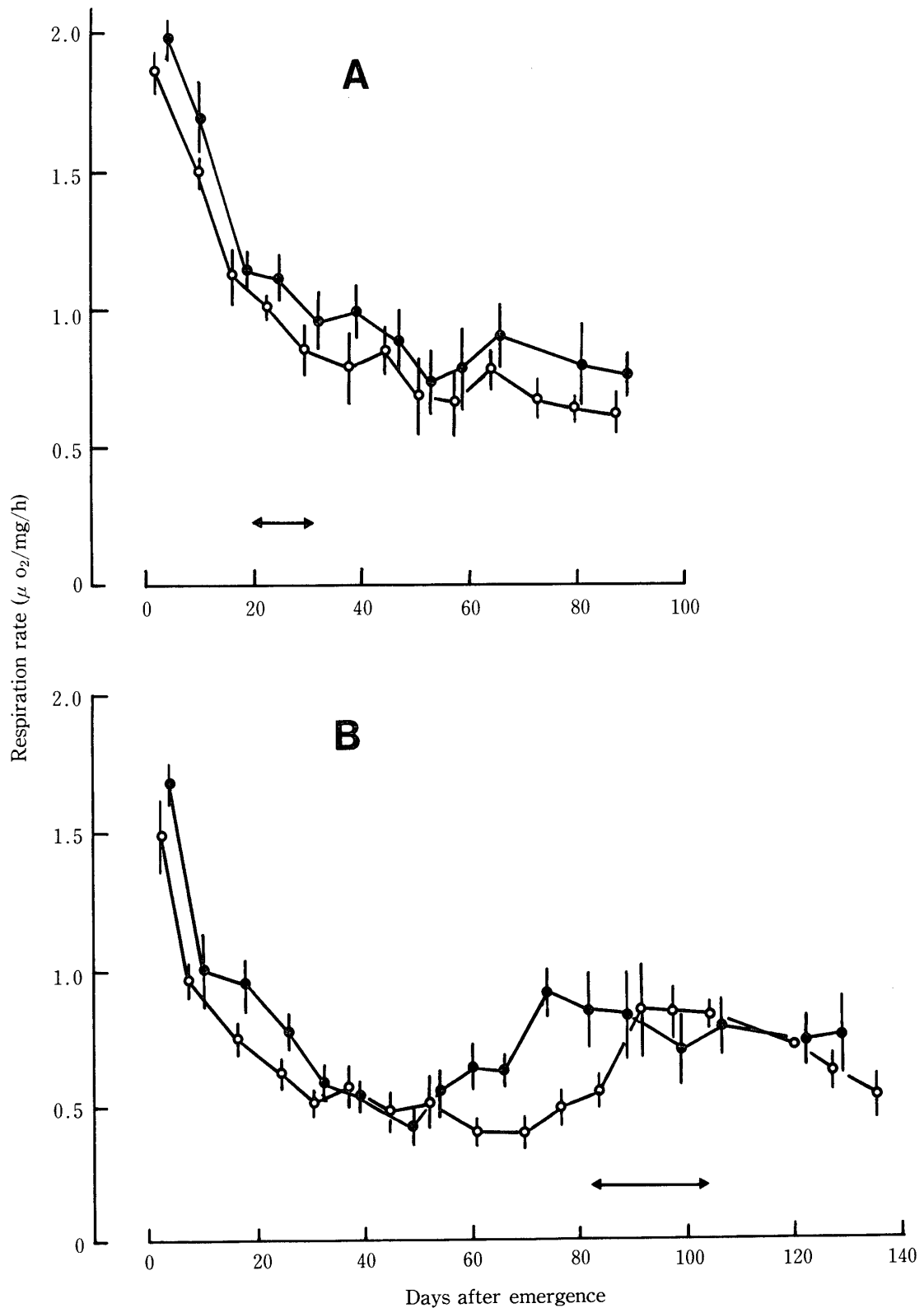


Fig. 2. Changes of respiration rate of 1st-generation adults (\circ : female, \bullet : male) reared under different photoperiods at 25°C. A ; LD 16h : 8h, B ; LD 10h : 8h. Arrow (\leftrightarrow) shows the oviposition period. Values are mean \pm SD.

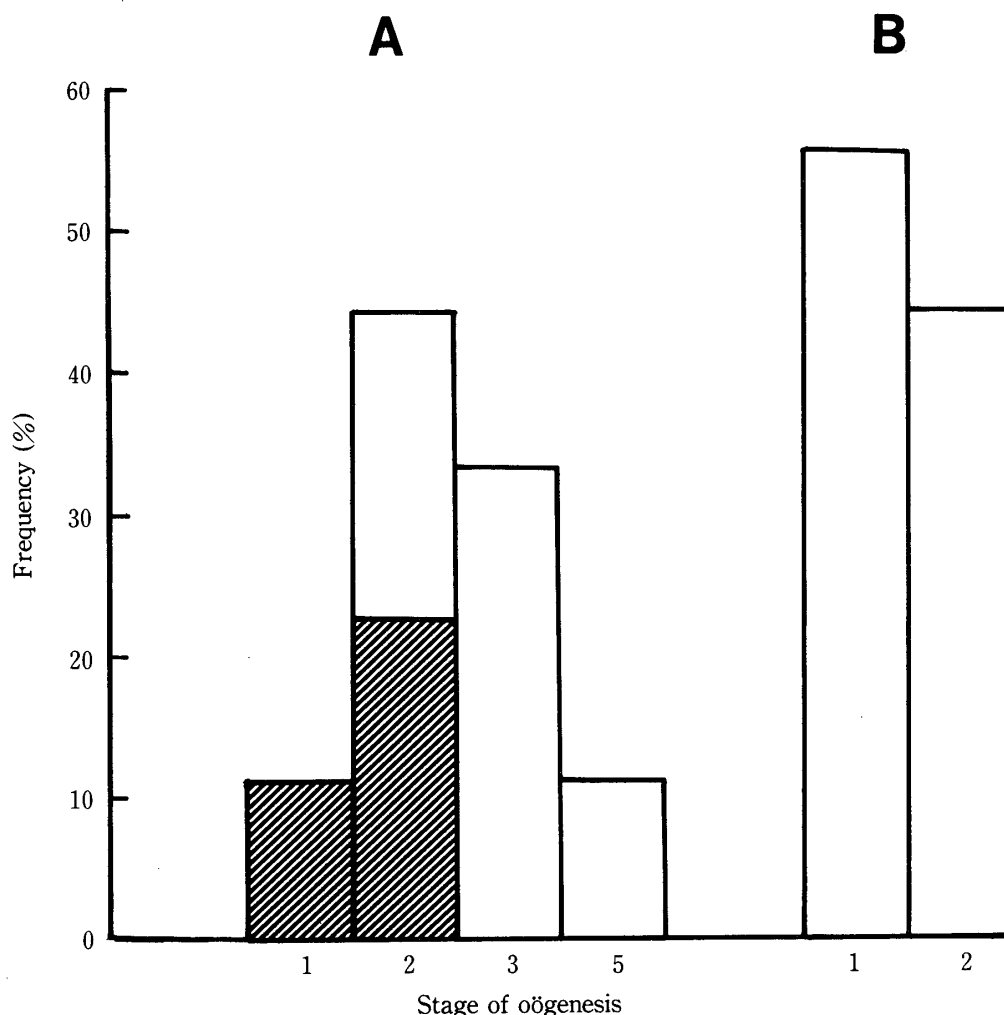


Fig. 3. Effect of photoperiods at 25°C on ovarian development on 25 days after emergence. A ; LD 10h : 14h, B ; LD 16h : 8h. Shade column represents ovaries having oviposition experience.

した。C区ではB区と同様に羽化後50日ころに呼吸量は最低（1.25）となり、その後は漸次増加した。D区の呼吸量は羽化後40日ころに最低（0.40）となり、70日以後に急速に増加した。産卵がA区では羽化後100日ころ、B区では70日ころ、C、D区では80日前後より観察された。最低呼吸量から、A、D区は休眠に入るのに対し、B、C区は休眠に入らないことが推測された。

3. 第1世代個体の25°C、短日および長日条件下での飼育

4月初旬より第1世代のふ化幼虫を、25°Cで短日（LD 10h : 14h）または長日（LD 16h : 8 h）の条件下で飼育した。ふ化から羽化までの日数は短日区が15.3±1.2、長日区が14.1±1.0で両区の間で発育日数に殆んど差はみられず、北村ら⁹⁾の25°C暗黒下での発育期間とほぼ一致していた。羽化後の呼吸量の変化はFig. 2の通りである。短日区(A)では呼吸量は羽化後急激に低下し、20日以後も僅かずつ減少し続け、100日以後は成虫は殆んど死亡した。雄は雌に比べてやや高い呼吸量を維持した。長日区(B)の呼吸量は短日区に比べて羽化後更に激減した。雄では羽化後50日ころ、雌では60日ころに呼吸量は最低となり、その後は次第に増加した。羽化後40~60日の雌と雄の最低呼吸量($\mu\text{l O}_2/\text{mg/h}$)は、それぞれ短日区では0.66と0.74、長日区では0.40と0.42であり、短日区に比べて長日区の方が呼吸量の低下は著しかった。

産卵が短日区では羽化後18~32日、長日区では84~108日の間で観察された。羽化30日後の卵巣の発育状態を観察したところ、短日区(A)では成熟卵や産卵経験がみられるのに対し、長日区(B)の卵巣は未

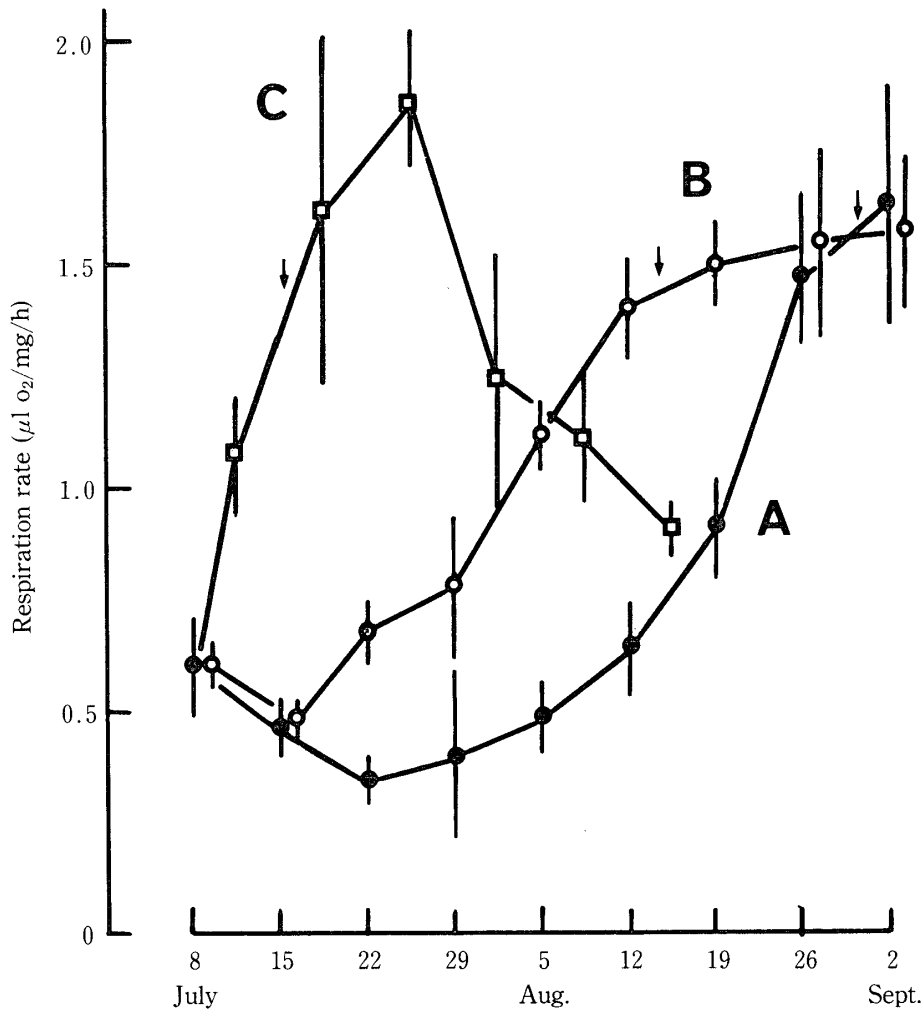


Fig. 4. Changes of respiration rate of aestivating females reared under 18°C, LD 11h : 13h (B) or treated with JHA (C). A and C were reared under natural condition and JHA was treated on 9 July. B was reared at 18°C after 5 July. Arrows in the figure show the day that oviposition began. Values are mean \pm SD.

發育であった (Fig. 3)。このように25°C，長日区では呼吸と生殖の両活性が阻害されるのに対し，25°C，短日区では呼吸のみが阻害された。

4. 休眠覚醒に対する18°C短日条件とJHAの効果

夏眠中の雌成虫に対し，7月上旬に18°C短日条件 (LD 11h : 13h) に移して飼育したり，幼若ホルモン類以体 (JHA) の塗布処理を行い，休眠覚醒に及ぼす効果をしらべた (Fig. 4)。自然条件区 (A) では8月中旬以後に呼吸量が激増し，8月下旬に産卵がみられた。18°C短日条件区 (B) では7月下旬より呼吸量は次第に増加し，8月中旬に産卵がみられた。JHA 処理区 (C) では呼吸量は処理後直ちに激増し，7月中旬には産卵がみられた。このように夏眠覚醒は幼若ホルモンにより刺激され，18°C短日条件により覚醒が促進される傾向を示した。

考 察

春に野外から採集した第1世代新成虫を25°Cで飼育したところ，短日および長日の両条件下とも一斉に夏眠に入った (Table 1)。このことから，(1)第1世代成虫は幼虫時代の気候条件により，羽化時には既に休眠性が決定されるか，あるいは，(2)高温下では日長条件に関係なく成虫は休眠に入るか，の二つの可能

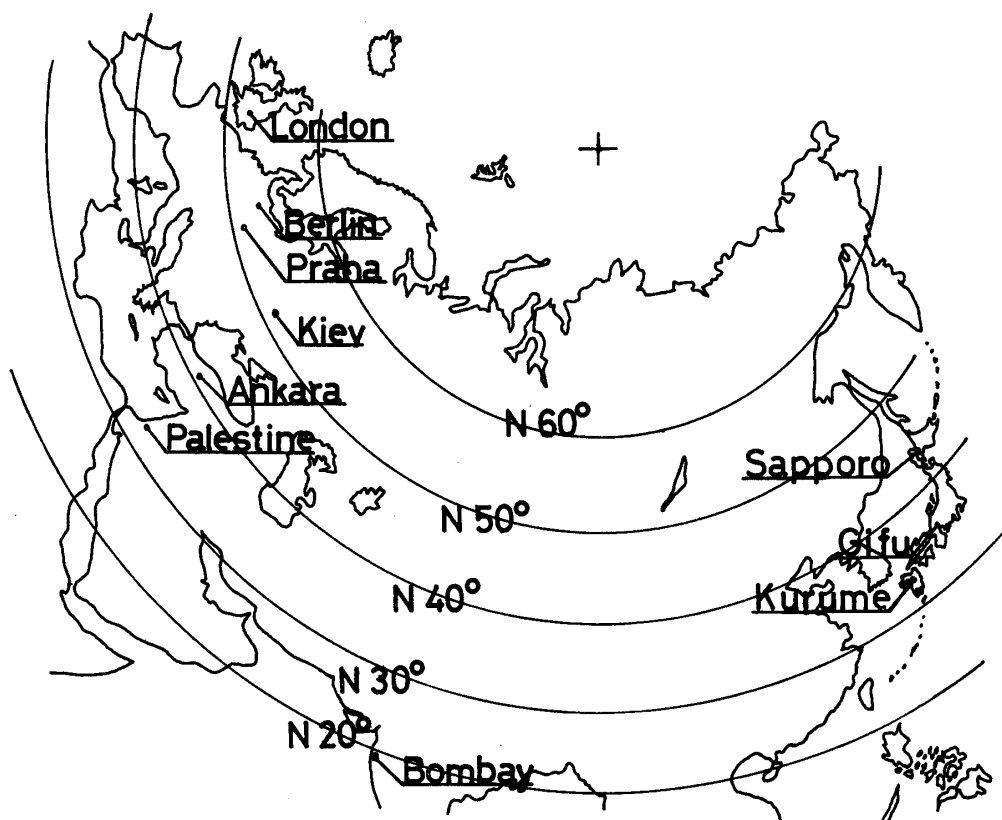


Fig. 5. Geographical strain of *Coccinella septempunctata* in the world.

性が考えられる。まず(1)の可能性についてみると、各務原市周辺で第1世代幼虫の発生する4, 5月の気候条件は、平均気温が 20°C 以下で最大日長が13.5~15.5時間である。そこでこの条件を考慮して 18°C 、16時間日長 (LD 16h : 8 h) の条件下で第1世代ふ化幼虫を飼育したところ、羽化25日後の雌成虫は $2.41 \pm 0.1 \mu\text{l}/\text{mg}/\text{h}$ の高い呼吸量と、卵巣の成熟化 (stage 4, 5)を示した。⁹⁾ このことから春の気候条件は休眠誘起に関係しないと考えられる。次に(2)の可能性について Fig. 1の結果をみると、秋季条件の 18°C 短日下で発育した成虫は休眠しないが、この成虫を羽化後より夏季の自然条件下に移すと休眠する。このことは新成虫が夏季条件の影響を受け休眠に入ることを示唆している。また秋季条件下では成虫が休眠しないことについては、秋に発生する第2世代個体が休眠しない事実³⁾と一致している。

次に夏眠誘起における夏季条件の役割が Fig. 2の結果から理解できる。 25°C 短日下で発育した雌成虫が高い生殖活性を示すのに対し、 25°C 長日下では呼吸および生殖の両活性が阻害された。このことから夏季の高温長日条件は、生殖休眠である夏眠の誘起の主要因であることが分る。しかし本種の夏眠誘起については、餌不足が主要因であるとの説も提示されている^{5,6)}。一方 25°C 短日下で発育した成虫は生殖活性が高いに拘らず、呼吸活性は羽化後次第に衰退し死亡する事実は、高温短日条件下で生息する熱帯地域での本種の生活史を説明している。すなわちインドのボンベイ (Fig. 5)では本種は非休眠であり、年間約20世代も発生する¹⁰⁾。このように高温短日条件下では、本種は非休眠で生殖活性は高く短命と思われる。

夏眠の覚醒機構について Fig. 4の結果は、アラタ体の活性化に伴い代謝および生殖の機能が活発となって休眠から覚醒することと、秋季条件は休眠覚醒を促進することを示している。しかし高温長日の一定条件下でも羽化3ヶ月後には休眠が終了することから (Fig. 2)、晩夏における気温の低下や日長の短縮化などの気候の変化は、夏眠覚醒に特に関与していないようにも思われる。このように夏眠覚醒が環境要因の効果によるのか、あるいは内因的な刺激によるのかは判然としない。一方ヨーロッパのナナホシテントウでは、越冬休眠の覚醒は日長反応によって促進される¹¹⁾。新成虫の代謝活性は高温によって抑制されるのに

対し (Fig. 2), 越冬個体では逆に高温により代謝が刺激され成熟卵が形成される事実³⁾は, 本種における夏眠と越冬との間の生理的な違いを示す事柄と考えられる。

本種の休眠性には種々な地理的変異がみられる (Fig. 5)。すなわち 1 化性の中央ヨーロッパ系統は越冬休眠するのに対し, 同じ 1 化性のトルコ系統は夏眠越冬する¹²⁾。また 2 化性のパレスチナ系統は夏眠するのに対し, 同じ 2 化性のウクライナ系統は夏眠しない。2 化性であるわが国の系統では, 夏眠誘越に夏の気候条件が密接に関係することが本研究から示唆される。一方ヨーロッパ系統の越冬休眠の誘起には秋の気候条件が関係する¹³⁾。日本とヨーロッパの系統間での休眠誘起におけるこのような条件の違いは, それぞれの生息環境に適応したことによる生理的性質の差異を反映したものと考えられる。

謝 辞

ミツバチ雄蜂児粉末を御贈与下さった玉川大学農学部 松香光夫博士および新島恵子博士, 並びに methoprene を御供与下さった大塚製薬株式会社に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Sakurai, H., Goto, K. & Takeda S.: Emergence of the ladybird beetle, *Coccinella septempunctata bruckii* Mulsant in the field. Res. Bull. Fac., Agr. Gifu Univ. (48): 37-45, 1983.
- 2) Sakurai, H. & Takeda, S.: Characteristics of diapause in *Coccinella septempunctata bruckii* in Japan. In: Ecology of aphidophaga. (Hodek, I. ed.), Academia, Prague, Czechoslovakia, pp. 173-178, 1986.
- 3) 桜井宏紀・後藤研也・森 靖・武田 享: ナナホシテントウの休眠に関する研究, II. 成虫休眠におけるアラタ体の役割. 岐阜大農研報 (45): 17-23, 1981.
- 4) Sakurai, H., Hirano, T. & Takeda, S.: Physiological distinction between aestivation and hibernation in the lady beetle, *Coccinella septempunctata bruckii* (Coleoptera: Coccinellidae). Appl. Ent. Zool. 21: 424-429, 1986.
- 5) Nijima, K. & Kawashita, T.: Studies on the ovarian development in *Coccinella septempunctata bruckii* Mulsant. Bull. Fac. Agr., Tamagawa Univ. (22): 7-13, 1982.
- 6) 河内俊英: 日長条件が 3 種食牙性テントウムシの休眠, 発育速度および羽化時生体重に及ぼす影響. 昆虫, 53: 536-546, 1985.
- 7) Matsuka, M. & Okada, I.: Nutritional studies of an aphidophagous coccinellid, *Harmonia axyridis*, (I). Examination of artificial diets for the larval growth with special reference to drone honeybee powder. Bull. Fac. Agr., Tamagawa Univ. (15): 1-9, 1975.
- 8) 北村憲二・三浦 正・筒塩宏道: テントウムシおよびナナホシテントウの発育速度に及ぼす温度の影響. 応動昆虫中国支会報, (2): 80-84, 1980.
- 9) 平野哲司・桜井宏紀・武田 享: ナナホシテントウの夏眠誘起要因. 関西病虫害研究会報 (24): 61, 1982.
- 10) Bagal, S. R. & Trehan, K. N.: Life-history and bionomics of two predaceous and one mycophagous species of *Coccinellidae*. J. Bombay Natural Hist. Society 45: 567-575, 1945.
- 11) Hodek, I., Ipert, G. & Rolley, F.: Activation of hibernating *Coccinella septempunctata* (Coleoptera) and *Perilitus coccinellae* (Hymenoptera) and the photoperiodic response after diapause. Ent. Exp. Appl., 21: 275-286, 1977.
- 12) Hagen, K. S.: Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. Ann. Rev. Entomol. 7: 289-326, 1962.
- 13) Hodek, I.: Prevention and artificial induction of imaginal diapause in *Coccinella septempunctata* (Col., Coccinellidae). Ent. Exp. Appl., 4: 179-190, 1961.