短 報

日長変化によるコウモリガの蛹化の促進

北島 博*・菅 栄子†・横原 寛

森林総合研究所

Accelerated Pupation in the Swift Moth, *Endoclita excrescens* (Butler) (Lepidoptera: Hepialidae), by Changing the Photoperiod. Hiroshi KITAJIMA,* Eiko KAN†† and Hiroshi MAKIHARA Forestry and Forest Products Research Institute; Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 50: 337-340 (2006)

Abstract: Larvae of the swift moth, *Endoclita excrescens* (Butler) were reared on an artificial diet under a long (16:8 h light/dark) or short (10:14 h light/dark) stationary photoperiod at 25°C. Larvae were also reared under different photoperiod conditions; second to ninth larval instars were transferred from a long photoperiod condition to a short photoperiod condition. The larvae sporadically pupated at low rates under long (20%) and short (7%) stationary photoperiods. By contrast, the larvae almost synchronously pupated at the highest rate (90%) when they were transferred from the long photoperiod to the short photoperiod at the ninth larval instar. These results show that the pupation of *E. excrescens* can be accelerated by transferring the larvae from a long photoperiod to a short photoperiod at the ninth larval instar. Adult emergence of *E. excrescens* in the field is, therefore, thought to occur from late summer to autumn.

Key words: *Endoclita excrescens*; life history; photoperiod; pupation; rearing

コウモリガ *Endoclita excrescens* (Butler) (Lepidoptera: Hepialidae) の幼虫は、様々な種類の草本および木本植物の茎や幹に穿孔する(小尾ら, 1965; 行成, 1996)。トウモロコシや果樹などに被害を与える農業害虫である一方、スギやヒノキなどの造林木の幹に穿孔し、材質劣化や枯損などの被害を引き起こす森林害虫としても広く知られている(井上, 1976; 横原・五十嵐, 1991)。成虫は晩夏から秋にかけて出現し、薄暮時に配偶飛翔して交尾する(Kan et al., 2002a, b)。交尾後の雌成虫は飛翔しながら卵を地表へばらまき、卵休眠で越冬後、翌春に孵化する。1年1化あるいは2年1化であり、孵化した年の秋に羽化する場合には9~11齢幼虫で蛹化し、孵化した翌年の秋に羽化する場合には12~15齢幼虫で蛹化することが報告されている(松沢ら, 1966; 遠田, 1969)。

本種幼虫の人工飼育技術確立のため、北島ら(2006)は市販の蚕用人工飼料を用いて、25°Cの16時間明8時間暗条件下(以下、LD16:8のように表記する)とLD10:14で幼虫の飼育を試みた。

その結果、蛹化は日長条件の影響を受けることが明らかとなり、LD16:8の方がLD10:14より蛹化率が高くなった。しかし、LD16:8でも蛹化率は37.6%と低く、幼虫期間も124~195日間とばらついた。それゆえ、本種の効率的な飼育のためには、蛹化率を向上させ、蛹化を斉一化させなければならない。

休眠の誘導、打破や回避のために、一定の日長ではなく日長変化を季節変化のシグナルとして活用する昆虫が多数報告されている(Tauber et al., 1986; Zaslavski, 1988)。コウモリガにおいても、蛹化が日長の影響を受けること、夏から秋にかけて蛹化・羽化することから、孵化した年に羽化する個体は9~11齢幼虫で蛹化することから、孵化から9齢幼虫の間に長日から短日への変化に反応することによって蛹化している可能性が考えられる。そこで、本種の孵化幼虫から9齢幼虫に、長日、短日、および長日から短日への日長変化を与えて飼育し、日長変化が蛹化におよぼす影響を調査した。また、得られた結果から本種の生活史調節機構について考察した。

材料および方法

1. 供試虫

茨城県稲敷郡茎崎町(現在:つくば市)において、1997年9月3日に羽化直後に採集して7°Cで保存しておいた雄成虫1個体と、同年9月10日に羽化直後に採集した雌成虫1個体を、雌成虫採集後直ちにハンドペアリング法(五十嵐, 1981)により交尾させた。翌日、交尾が終了し雄と雌が離れてから雌を三角紙(短辺12.5 cm)に入れ、室温条件下で5日間産卵させた。三角紙内に産下された卵を毎日集め、産卵日毎に分け、ポリカップ(直径6.6×高さ3 cm)内の蒸留水で湿らせた土の上に置いた。それらのポリカップに入った卵を、採卵後10~14日間15°C全暗条件下に置いた後、休眠を打破するため5°C全暗条件下に90日間(五十嵐, 1973)置いた。その後、これらの卵を15°C全暗条件下に10日間、20°C LD16:8に10日間の順に置いて高温に馴らしてから、25°C LD16:8で孵化させた。幼虫の飼料には、北島ら(2006)と同様に市販の蚕用人工飼料(シルクメイト3S:日本農産工業(株)製)を用いた。卵の孵化を確認した後、短冊状(約0.5×2.5×0.2 cm)に切った飼料約5 gをポリカップ内の土の上に1日間置き、飼料に食いついた孵化幼虫をポリカップから取り出し、供試虫とした。なお、供試虫の孵化日をポリカップから取り出した日の前日とした。

2. 日長処理区と幼虫の飼育

幼虫の飼育温度を25°Cとし、日長条件としてLD16:8とLD10:14を用いた。日長処理区として、飼育期間中すべて

Table 1. Pupation rate, adult emergence rate, and forewing length of *E. excrucians* reared under different photoperiod conditions

Treatment ^a	Duration under LD16:8 before under LD10:14 (days)	No. of larvae tested	Rate (%) of ^b		Forewing length (mm) ^c	
			Pupae	Adult	♂	♀
LL	—	30	20.0 ab	20.0 a	25.8±0.7 (4)	29.4±1.7 (2)
SS	—	30	6.7 ab	6.7 a	27.2±1.3 (2)	—
2L	6	30	10.0 ab	10.0 a	26.7±0.9 (3)	—
3L	11	30	30.0 ab	23.3 a	28.0±0.2 (6)	—
4L	16	30	3.3 a	3.3 a	28.4 (1)	—
5L	22	20	15.0 ab	10.0 a	28.5±1.0 (2)	34.1 (1)
6L	29	20	30.0 ab	30.0 a	26.8±0.5 (4)	—
7L	43	20	15.0 ab	15.0 a	26.5±0.9 (3)	—
8L	60	20	50.0 b	30.0 a	27.1±0.7 (6)	—
9L	91	20	90.0 c	75.0 b	24.9±0.3 (10)	30.2±0.7 (4)

^a LL, LD16:8 throughout. SS, LD10:14 throughout. 2L–9L, LD16:8 until 2nd–9th instar, and then transferred to LD10:14.

^b Ratio to number of larvae tested. Values followed by the same letter are not significantly different (Fisher's exact test, $p>0.05$).

^c Numbers indicate mean±SE, sample sizes are shown in parentheses.

LD16:8 (以下, LL と表記する), すべて LD10:14 (以下, SS と表記する), および 2~9 齢のそれぞれの齢まで LD16:8 で飼育した後 LD10:14 に移したものを (以下, 2~9 齢まで長日で飼育した後短日に移したものを, それぞれ 2L~9L と表記する) の 10 処理区を設けた。

短冊状に切った飼料を約 5 g 入れた 50 個のシャーレ (直径 6×高さ 1.5 cm) に, 孵化幼虫をそれぞれ 15 個体ずつ接種した。LL, SS, および 2L には孵化幼虫接種後直ちにそれぞれ 2 個のシャーレ (30 個体) を割り振った。その後, 3 齢幼虫に脱皮するまではシャーレで飼育し, それ以降は幼虫どうしの噛み合いを防ぎ観察を容易にするため, 以下の要領で個体飼育した。すなわち, 3~4 齢幼虫は飼料約 0.5 g を入れたプラスチック製のねじ口容器 (1×1×2.5 cm) に入れて脱脂綿で栓をした。5 齢幼虫以降では, 飼育容器にシャーレ (直径 6×高さ 1.5 cm) を用い, 下ろし金ですり下ろした飼料約 5 g, または円盤状 (直径 5×高さ 0.5 cm) に切った飼料の 1/2~1/4 を, 幼虫の成長に合わせて与えて飼育した。LL, SS, および 2L に割り振った以外の 44 個のシャーレは LD16:8 に置き, 3 齢幼虫に脱皮するまではシャーレで飼育し, それ以降は以下の要領で集団飼育した (以下, ストック飼育群と表記する)。すなわち, ポリカップ (直径 9.8×高さ 5.4 cm) におろし金ですり下ろした飼料約 10 g を入れた上に, 市販の小動物飼育用木材チップを飼料が見えなくなる程度に入れたものに, 齢を揃えた 3~9 齢幼虫を発育に合わせて 2~10 個体ずつ入れた。

2L~9L における, LD16:8 から LD10:14 への幼虫の移し替えは以下のように行った。2L では, すべての幼虫が 2 齢へ脱皮した時点 (接種後 6 日目) で, 幼虫を短日へ移した。3L~9L では, ストック飼育群の生存幼虫の半数以上が次の齢へ脱皮した時点で, 脱皮した個体のうちの任意の 20~30 個体を供試した (Table 1)。結果的に, 2L~9L では, それぞれ接種後 6, 11, 16, 22, 29, 43, 60, および 91 日目に幼虫を LD16:8 から LD10:14 へ移した (Table 1)。各日長処理区に供試した後は, LL, SS, および 2L と同様な方法で個体飼育した。なお, 今回の実験では, 幼虫を LL, SS, 2L, およびストック飼育群へ振り分けた日は実際には孵化当

日から孵化 1 日後の間であると考えられるが, 本文中では便宜上孵化日を各日長区へ振り分けた日として記述した。

すべての日長処理区とストック飼育群では, 飼育容器と飼料を 3~4 日ごとに交換しながら飼育した。その際に, 日長処理区では幼虫の生死および脱皮を, ストック飼育群では幼虫の脱皮を観察し, 幼虫の齢を確定した。各日長処理区では, 孵化後 270 日目まで飼育した。

3. 蛹化および羽化の観察

老熟幼虫はシャーレの中で吐糸して目の粗い繭状の蛹室を作り, その中で蛹化した。飼料交換時に蛹室の有無を観察し, 蛹化が近いと思われた個体では蛹化を毎日観察した。蛹化後, シャーレから蛹を取り出し, 雌雄を判別した後, 蒸留水で湿らせた水苔を入れたポリ円筒容器 (直径 8×高さ 13 cm) に移し, 再び同じ日長処理区に置いて羽化を毎日観察した。羽化後, 成虫の前翅長をノギスを用いて測定した。

結 果

Table 1 に各日長処理区における蛹化率, 羽化率, および得られた成虫の平均前翅長を示した。また, Fig. 1 に各日長処理区における幼虫の発育経過を示した。すべての処理区で蛹化・羽化が見られたが, 蛹化・羽化の割合や消長は処理区によって異なった。蛹化率は, 9L が 90.0% で最も高く, 次いで 8L が 50.0% と高かったが, 他の処理区は 3.3~30.0% と低かった。9L の蛹化率は, 他のすべての日長処理区のそれとの間に, 統計的な有意差が見られた (Fisher の正確確率検定, $p<0.05$)。さらに, 9L における蛹化消長は他の処理区に比べてほぼ斉一であり, 蛹化した 18 個体すべてが幼虫を LD16:8 から LD10:14 へ移してから 19~40 日目の間に蛹化し, そのうちの 15 個体 (83.3%) は 19~24 日目に蛹化した。

蛹化だけでなく, 幼虫発育も日長の影響を受けた (Fig. 1)。LL と SS とを比較すると, LL に比べて SS では 5~8 齢幼虫の発育が遅延する傾向が見られた。また, LL では 10~11 齢幼虫まで発育したものの孵化後 150 日目から死亡し始め, 飼育終了時に生存していた幼虫はいなかった。一方, SS では最高 15 齢まで脱皮を重

Fig. 1. Development of *E. excrucians* larvae reared under different photoperiod conditions. See the footnote to Table 1 for LL, SS, and 2L–9L. The values of relative frequency in adults are shown at the accumulation rate.

ねながら、飼育終了時まで蛹化しなかった幼虫（以下、未蛹化幼虫と表記する）が接種幼虫に対して 33.3% 存在した。2L–8L においても、SS と同様に未蛹化幼虫が 20.0–66.7% 存在したが、9L では存在しなかった。

いずれの日長処理区でも雄成虫は得られたが、雌成虫は LL, SS, および 9L でだけ見られた (Table 1)。各日長処理区で得られた成虫の平均上翅長は、雄および雌でそれぞれ 24.9–28.5 mm, および 29.4–34.1 mm であった。

Fig. 2 に、各日長処理区において蛹化した個体の最終幼虫齢を示した。蛹化は 8–15 齢幼虫において見られたが、蛹化した幼虫の齢が揃っていたのは、蛹化個体数の少なかった SS および 4L を除くと 9L だけであった。9L では、蛹化した個体の 83.3% が 9 齢幼虫で蛹化した。また、8L では 8 齢幼虫で蛹化した個体も存在したが、蛹化した個体の 50.0% は 9 齢幼虫で蛹化した。

考 察

今回の実験では、9 齢で長日から短日に移した幼虫 (9L) でだけ顕著に蛹化率が高く、蛹化がほぼ一化した (Fig. 1)。また、9L では蛹化した個体の 83.3% は 9 齢幼虫で蛹化した (Fig. 2)。これらのことから、コウモリガは 9 齢幼虫で長日から短日への日長変化を感じると、速やかに蛹化することが明らかになった。8L でも接種幼虫の 50.0% が蛹化したことから、8 齢幼虫の一部も長日から短日への日長変化を感じて蛹化したと考えられた。

本種の野外における蛹化時の幼虫齢は、1 年 1 化の個体は 9–11 齢、2 年 1 化の個体は 12–15 齢とばらつく (松沢ら, 1966; 遠田, 1969)。それでも羽化は晩夏から秋に限られ、羽化初日から最終日までの期間も 15 日間 (高橋, 1963)–35 日間 (松沢ら,

Fig. 2. Distribution of the last instars of *E. excrucians* larvae reared under different photoperiod conditions. See the footnote to Table 1 for LL, SS, and 2L–9L.

1964) と比較的短い。また、2 年 1 化となる幼虫は 9–12 齢で越冬することが報告されている (松沢ら, 1966)。これらのことは、10 齢幼虫以降も長日から短日への日長変化を感じて速やかに蛹化することを示唆するとともに、この反応に明瞭な臨界日長が存在することが考えられる。すなわち、晩夏までに 9 齢まで发育した幼虫は、臨界日長を挟んだ長日から短日への変化に反応して速やかに蛹化する 1 年 1 化の生活史となる。一方、臨界日長となる時に 9 齢まで发育できなかった幼虫は、その後次第に日長が減少していく短日条件下でも发育を続けるが蛹化しない。これらは 2 年 1 化の生活史となり、幼虫は 9–12 齢で越冬する。

ところで、コウモリガの幼虫发育はヨモギなどの草本植物では早くクサギなどの木本植物では遅くなり (五十嵐, 1972)、生活史もトウモロコシでは 1 年 1 化、キリやクルマミでは 1 年 1 化と 2 年 1 化が混在、ブドウでは 2 年 1 化となるなど (小尾ら, 1965)、幼虫の食餌植物によって異なる。蛹化可能な幼虫が日長変化を感じて蛹化するシステムは、餌条件によって幼虫发育に個体差が生じて、蛹化可能な状態まで发育した幼虫すべてが一斉に蛹化・羽化することを保障すると考えられる。

今回の実験では、蛹化促進だけでなく幼虫の发育も日長の影響を受けることがわかった。すなわち、一定の長日条件 (LL) は幼虫发育を遅延させない。また、LL では孵化後 150 日目以降に多くの幼虫が死亡し始めた (Fig. 1)。現時点では、この幼虫の高い死亡率の原因は明らかではないが、蛹化促進条件である短日への変化を待つ間に幼虫が衰弱してしまった可能性がある。一方、一定の短日条件 (SS) では、幼虫发育が遅延した (Fig. 1)。また、接種幼虫の 33.3% にあたる未蛹化幼虫は、最高 15 齢に達しても蛹化しなかったことから (Fig. 1)、休眠状態にあると考えられた。この休眠の有無については、さらなる研究が必要である。

以上より、人工飼育条件下で本種の蛹化を促進するためには、LD16:8 で 9 齢幼虫まで飼育してから LD10:14 へ移せばよいと考えられた。しかし、この方法では、得られた成虫の上翅長が野外

成虫のそれ（松沢ら，1963；雄：37.67mm，雌：45.94mm）より小さかった（Table 1）。今後，実験供試虫としての適性や継代飼育の可能性などについて検討していく必要がある。また，得られた成虫の性比が雄に偏った。一定の日長条件下における飼育では，性比が雄に偏ることは北島ら（2006）も報告している。このことは継代飼育遂行の課題となるが，今回の実験では供試時の性比が不明なこともあり，今後の検討が必要である。

また，日長がおよぼす蛹化と幼虫発育への影響から，野外における1年1化と2年1化の生活史を持つコウモリガの生活史調節機構が推測できる。卵は休眠状態で越冬後，春に孵化する。孵化幼虫は，餌条件が良ければ夏の長日条件下で滞りなく発育し，秋に長日から短日に変わるまでに9齢幼虫まで発育できた個体は，蛹化・羽化して1年1化の個体となる。しかし，食餌植物の種類や積算温度不足等により短日に変わるまでに9齢幼虫まで発育できなかった個体は，休眠幼虫で越冬する。越冬した幼虫は翌春から発育を再開し，その年の晩夏から秋に長日から短日への変化を感受すると蛹化・羽化して2年1化の個体となると考えられる。今回の実験では，長日から短日へ変化する場合の臨界日長や幼虫休眠の存在の確定は，まだできていない。今後これらを明らかにすることで，コウモリガの生活史調節機構を解明していくことができると考えられる。

引用文献

- 遠田暢男 (1969) 日林誌 51: 321–324. [Enda, N. (1969) *J. Jpn. For. Soc.* 51: 321–324.]
- 五十嵐正俊 (1972) 林試東北支年報 13: 119–127. [Igarashi, M. (1972) *Ann. Report Tohoku Branch For. Exp. Stn.* 13: 119–127.]
- 五十嵐正俊 (1973) 日林東北支誌 25: 111–113. [Igarashi, M. (1973) *Trans. Ann. Meet. Tohoku Branch Jpn. For. Soc.* 25: 111–113.]
- 五十嵐正俊 (1981) 林業と薬剤 76: 3–17. [Igarashi, M. (1981) *Ringyo to Yakuzai* 76: 3–17.]
- 井上元則 (1976) 森林防疫 25: 151–158. [Inoue, M. (1976) *Forest Pests* 25: 151–158.]
- Kan, E., T. Hidaka, T. Sato and H. Kitajima (2002a) *Appl. Entomol. Zool.* 37: 163–169.
- Kan, E., H. Kitajima, T. Hidaka, T. Nakashima and T. Sato (2002b) *Appl. Entomol. Zool.* 37: 147–153.
- 北島 博・菅 栄子・榎原 寛 (2006) 日林誌 88: 192–196. [Kitajima, H., E. Kan and H. Makihara (2006) *J. Jpn. For. Soc.* 88: 192–196.]
- 榎原 寛・五十嵐豊 (1991) 日林東北支誌 43: 141–142. [Makihara, H. and Y. Igarashi (1991) *Trans. Ann. Meet. Tohoku Branch Jpn. For. Soc.* 43: 141–142.]
- 松沢 寛・小浜礼孝・豊村啓輔 (1963) 応動昆 7: 153–154. [Matsuzawa, H., Y. Kohama and K. Toyomura (1963) *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 7: 153–154.]
- 松沢 寛・小浜礼孝・豊村啓輔 (1964) 農薬 11(2): 46–54. [Matsuzawa, H., Y. Kohama and K. Toyomura (1964) *Agricultural Chemicals* 11(2): 46–54.]
- 松沢 寛・小浜礼孝・豊村啓輔 (1966) 昆虫 34: 304–310. [Matsuzawa, H., Y. Kohama and K. Toyomura (1966) *Kontyû* 34: 304–310.]
- 小尾充雄・保坂義行・小菅喜久弥 (1965) 山梨県農試報 10: 1–37. [Obi, M., Y. Hosaka and K. Kosuge (1965) *Bull. Yamanashi Pref. Agri. Exp. St.* 10: 1–37.]
- 高橋保雄 (1963) 植物防疫 17: 107–112. [Takahashi, Y. (1963) *Plant Prot.* 17: 107–112.]
- Tauber, M. J., C. A. Tauber and S. Masaki (1986) *Seasonal Adaptations of Insects*. Oxford Univ. Press, New York. 411 pp.
- 行成正昭 (1996) 森林防疫 45: 206–213. [Yukinari, M. (1996) *Forest Pests* 45: 206–213.]
- Zaslavski, V. A. (1988) *Insect Development: Photoperiodic and Temperature Control*. Springer-Verlag, Berlin. 187+11 pp.