

低温処理によるヒメスギカミキリ成虫休眠の消去

松浦秀明*・藤田賢市**

神戸植物防疫所業務部種苗担当

Termination of adult diapause by chilling in the small cedar longicorn beetle, *Callidiellum rufipenne* (MOTSCHULSKY) (Coleoptera, Cerambycidae). Hideaki MATSUURA, Ken'ichi FUJITA, (Kobe Plant Protection Station). *Res. Bull. Pl. Prot. Japan* 33: 43-48

Abstract: Factors affecting diapause termination of adults of the small cedar longicorn beetle, *Callidiellum rufipenne*, in Japanese cedar logs were investigated. Logs with adults inside were kept outdoors for about one month in September, 1995, and chilled at 5°C for 30, 45, 60 or 90 days before incubation at 25°C under 14L-10D or DD (constant darkness). Adult emergence from the logs occurred more synchronously and earlier in the groups chilled for 60 and 90 days (LC: Long-Chilled groups) than in those chilled for 30 and 45 days (SC: Short-Chilled groups) irrespective of the photoperiodic condition. The emergence rate was 100% in LC groups, while it was 65.9-98.3% in SC ones. In addition, the rate of females which laid eggs, mean number of eggs laid by each female, and mean hatchability of the egg were higher in LC groups than in SC ones. These results suggest that the ovarian development of this species consists of the two successive process, the diapause process maintained and terminated by 5°C-chilling of 60-90 days, and the development one promoted by such a high temperature as 25°C.

Kew words: Coleoptera, Cerambycidae, *Callidiellum rufipenne*, Termination of adult diapause, chilling

緒 言

オゾン層保護の観点から、臭化メチルくん蒸に替わる検疫消毒方法の開発が行われているが、そのための殺虫試験用供試虫の一種としてヒメスギカミキリ (*Callidiellum rufipenne* (MOTSCHULSKY)) が用いられている。

本種は、年1世代で、神戸では成虫は8月下旬から9月上旬に羽化するが、そのまま寄生木の蛹室に留まり休眠する。成虫は翌年の4月下旬から5月中旬に脱出し、スギやヒノキの新鮮な枯死木の樹皮の隙間に産卵する。幼虫は8月中旬から下旬に蛹化する。そのため任意の時期に各態を随時供給することが不可能である。そこで、成虫の休眠を消去し、短期間で次世代が獲得できれば供試虫の周年供給の可能性が大きくなる。

ヒメスギカミキリの休眠に関しては、雌成虫が成熟卵を持って正常に材から脱出するために、冬の低温と休眠後の高温が必要ということが報告されているだけである（小林，1984）。本種と同様の生活史をもち成虫越冬するスギカミキリでは、いくつかの報告がある。成虫の材からの脱出には低温が必要であり（小

林，1984），その後，室内飼育した材内成虫を一定期間低温処理した後に高温下（25°C）に置くと卵巣が発育し，交尾・産卵行動が解発され，産下卵は孵化する（前藤・山根，1985）。また，さまざまな温度条件下での休眠消去の研究（五十嵐・松田，1992）があり，継代飼育が可能なことも判明している（北島・五十嵐，1993）。

そこで，筆者らは，スギカミキリでの調査方法を参考にして，本種の休眠消去に対する低温の効果，産卵，孵化等の基礎的な実験を行った。さらに，本種の殺虫試験への供給についても検討した。

本文に先立ち，本報告のとりまとめに当たって，助言および校閲を賜った大阪府立大学農学部石井実教授，助言をいただいた農林水産省森林総合研究所関西支場の上田明良技官，ならびに，植林地内でのヒメスギカミキリおよび間伐材の採取等の便宜を図っていただいた神戸市建設局森林整備事務所の米沢公夫所長および和田邦孝技官に厚くお礼を申し上げる。

材料及び方法

1995年5月上旬に，兵庫県神戸市再度山のスギ植林地でヒメスギカミキリ成虫を採集し，神戸市中央区において，伐採後約3ヶ月のスギ間伐材（直径6cm×長

*現在，神戸植物防疫所広島支所

**現在，神戸植物防疫所関西空港支所

さ60cm) 20本を入れた網室内に約2週間放飼し、産卵させた。その後、それらの間伐材は通気性のある容器内に平積みし、寒冷紗で覆い野外に放置したが、乾燥を防ぐために1週間に1度給水を行った。材の一部を定期的に割砕したところ、新成虫が8月下旬から9月上旬に羽化するのが確認された。

休眠消去に対する低温の効果を明らかにするために、上記の間伐材(木部内成虫)を1995年10月3日から5℃全暗条件下で30, 45, 60, 90日間処理し(低温処理区)、その後25℃の14L-10D(長日区)または全暗区(ただし、調査日の17時頃に5~15分間のみ照明下で観察した)で保管した。この実験と平行して、無低温処理25℃保管区(無処理区)も設置し、14L-10D(長日区)および全暗区(低温処理区と同様)を設けた。成虫の脱出消長の調査は1年間行ったが、観察は調査開始から5ヶ月間は毎日行い、その後は2~3日毎に行った。脱出した成虫を交尾させ、産卵、孵化について調査した。あわせて、適時、材から成虫を取り出し、解剖を行い精巣および卵巣の発育状況を調べた。野外保管材内の成虫についても、同様に解剖を行った。1年経過後、材を割砕し内部の状況を調査した。

また、上記の実験のうち、14L-10Dの30, 45, 60, 90日間処理で得られた成虫の産下卵から孵化した幼虫各50個体を用いて飼育を行い羽化率を調べた。この実験では、伐採後約半年のスギ間伐材に内樹皮に到達する裂け目を入れ、孵化後24時間以内の幼虫を接種した。幼虫の飼育は25℃全暗条件下で行った。

結 果

1. 成虫の脱出率

成虫の脱出はすべての処理区で認められた。1年経過後に材を割砕して脱出状況を調査した結果、60, 90日低温処理区が長日区・全暗区ともに100%で、以下、30日処理区、45日処理区の順であった。無処理区でも全暗区で65.9%, 長日区で81.0%が脱出した(第1表)。死亡虫は、乾燥して体に触れると分解するものが多かったが、45日低温処理区では昆虫寄生菌に侵されているものが長日区・全暗区あわせて6個体確認された。

2. 成虫の脱出消長

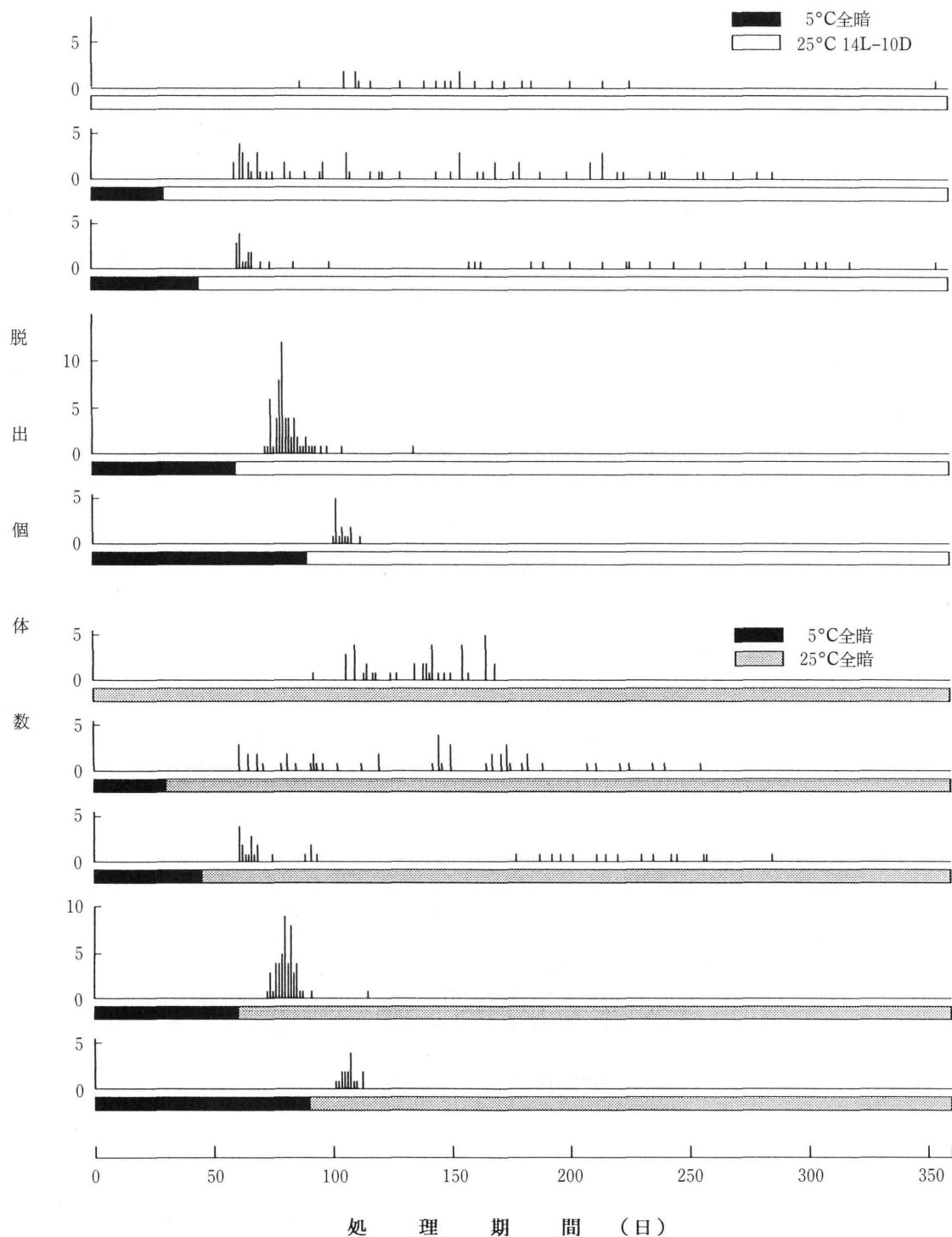
成虫の脱出パターンは、30, 45日低温処理区では、30日の全暗区を除き脱出開始直後にわずかに集中する傾向が見られたが、その後も長期間に渡って続いた。30日の全暗区および無処理区では、集中する時期が認められず、ばらついた。60, 90日低温処理区では、日長条件に関わらず脱出開始直後の短い期間に集中した(第1図)。

低温処理後25℃に移してから脱出開始までの期間および平均脱出日は、低温処理が長いほど短くなる傾向がみられ、長日区・全暗区に有意な差はなかった。30日処理では、25℃の保温開始後31日目から脱出が始まり、45日処理では16~17日目、60および90日では12~13日目であった。一方、無処理区では、約90日目であった。平均脱出日は、90日処理区では、約2週間

第1表 異なる休眠消去条件下におけるヒメスギカミキリ成虫の材からの脱出率および脱出状況

処 理 区	脱出数(♂:♀)	未 脱 出 数		脱出率 (%)	脱 出 日			脱出期間 50%
		生存	死亡(♂:♀)		最短	最長	平均±SD	
全暗5℃30日→14L-10D 25℃	61 (29:32)	0	2 (1:1)	98.3	31	256	92.1±70.0 ac	49
45日→	38 (22:16)	0	5 (3:2)	86.8	17	309	109.8±97.1 a	55
60日→	58 (26:32)	0	0	100	12	75	21.5± 9.9 b	18
90日→	14 (7: 7)	0	0	100	12	23	15.4± 3.2 b	14
全期間 14L-10D 25℃	21 (9:12)	0	4 (4:0)	81.0	88	227	153.4±35.8 c	149
全暗5℃30日→全暗25℃	51 (23:28)	0	1 (1:0)	98.0	31	324	113.3±61.6 ac	115
45日→	35 (20:15)	0	4 (1:3)	88.6	16	263	96.8±83.2 a	45
60日→	52 (22:30)	0	0	100	13	55	20.5± 6.1 b	19
90日→	16 (9: 7)	0	0	100	12	22	16.5± 2.8 b	16
全期間 全暗 25℃	41 (17:24)	0	14 (9:5)	65.9	92	168	136.4±21.3 c	140

異なる文字間にはKRUSKAL-WALLIS検定後のDUNNの多重比較検定において有意差あり(a-c: $p < 0.05$, その他: $p < 0.01$)。



第1図 異なる休眠消去条件下におけるヒメスギカミキリ成虫の材からの脱出状況

第2表 異なる休眠消去条件下における材から脱出したヒメスギカミキリ雌成虫の産卵状況

処 理 区	供試雌数	産卵雌数	産卵雌率 (%)	産卵数/1雌 (平均±SD)	孵化率 (%)
全暗5°C30日→14L-10D 25°C	32	11	34.3	28.4±25.8 ab	43.3±34.7 ab
45日→	16	5	31.3	27.4±12.1 ab	40.4±40.6 ab
60日→	32	23	71.9	44.9±19.2 a	71.6±30.4 a
90日→	7	6	85.7	57.2±23.4 a	83.5±14.9 a
全期間 14L-10D 25°C	12	4	33.3	6.0± 8.7 b	1.3± 2.5 b
全暗5°C30日→全暗 25°C	28	8	28.6	23.5±12.7 ab	41.4±36.3 ab
45日→	15	5	31.3	28.2±16.2 ab	38.2±39.7 ab
60日→	30	23	76.7	40.3±23.7 a	63.0±29.2 a
90日→	7	7	100	62.0±28.3 a	83.1±12.8 a
全期間 全暗 25°C	24	7	29.2	12.6±11.0 b	15.8±28.5 b

同一欄内の異なる文字間にはKRUSKAL-WALLIS検定後のDUNNの多重比較検定において有意差あり (p<0.05)。

目、60日処理区では約3週間目と短く、30、45日処理区では約100日と長かった。無処理区では全暗区で136日、長日区で153日であった。長日区・全暗区ともに30、45日処理区、無処理区と60、90日処理区の3グループ間に有意な差が認められた(第1表)。

脱出期間は、低温処理が長いほど短く、90日処理区が長日区で11日間、全暗区で10日間であった。60日処理区では長日区で63日間、全暗区で42日間と長かったが、脱出の遅れた各1個体を除くと長日区で32日間、全暗区では19日間と比較的短かった。それに対して、30、45日処理区では、長日区、全暗区ともに200日を越えた。また、日長条件に関わらず、50%脱出日は低温処理が長いほど早くなる傾向が認められた(第1表)。

3. 産卵および孵化

低温処理実験で羽化した成虫の産卵および孵化の状況を第2表に示す。

産卵を行った雌の割合は、低温処理期間が長い区ほど大きかった。90日低温処理区では、長日、全暗両区合わせて14雌のうち13雌が産卵したが、30、45日処理区では脱出雌の約30%しか産卵を行わず、無処理区(約30%)と大差なかった。

1雌当たりの平均産卵数は、低温処理期間が長い区ほど多い傾向が認められ、無処理区では極端に少なかった。また、最高産卵数は、長日、全暗両区を込みで考えると、90、60、45、30日の各処理区で、それぞれ122、106、53、93卵、無処理区では34卵であった。1雌当たり平均産卵数について60、90日処理区と無処理区の間には有意差が認められたが、30、45日処理区と60、90日処理区の間には有意な差はなかった。

卵の平均孵化率は、低温処理期間が長い区ほど高く、無処理区では極端に低かった。また、低温処理期間が短い区ほど孵化率のばらつきが大きい傾向があった。平均孵化率について60、90日処理区と無処理区との間には有意差が認められたが、30、45日処理区と60、90日処理区との間には有意な差は認められなかった。

4. 幼虫の发育

各低温処理区の羽化成虫の産下卵より孵化した幼虫を25°Cで飼育したところ、第3表に示すように、すべての区で羽化が見られ、羽化率は各区約50%であった。処理条件の違いによる影響は認められなかった。

5. 内部生殖器官の发育状況

野外に置かれた材中の雌成虫は3個体とも同様な发育状況で、羽化から約1ヶ月後(10月3日)、約2ヶ月後(11月4日)および約3ヶ月後(12月2日)には、体内は脂肪で満たされ、卵は未成熟で長径は約0.4mmであった。しかし、4月中旬に自発的に脱出した時点では、左右に1対で合計約20本ある卵巣小管および貯卵嚢は成熟卵で満たされ、卵の長径は約1.5mmであった(第4表)。

低温処理区においては、処理日、処理後60日目、90日目には、体内は脂肪で満たされ、卵は未成熟で、長径は約0.4mmであり、低温処理中に卵巣の发育はなかった。しかし、90日の低温処理後に25°C条件下で脱出した雌の卵巣小管および貯卵嚢は、成熟卵で満たされていた(第4表)。

雄には、2本の貯精嚢があり、各々の貯精嚢に2個ずつの精巣が確認できた。野外に置かれた材中の雄成

第3表 異なる休眠消去条件下における材から脱出したヒメスギカミキリ雌成虫産下卵の発育後の羽化率

温度処理	供試虫数	羽化数	羽化率 (%)
5°C30日→25°C	50	26	52.0
45日→	50	22	44.0
60日→	50	28	56.0
90日→	50	27	54.0

虫は、羽化後約1ヶ月（10月3日）には腹部は脂肪で満たされていたが、既に精巣は十分に発達し、直径約1.3mmに肥大していた。しかし、貯精嚢の肥大は認められなかった。その後、精巣は収縮し貯精嚢が肥大し、羽化3ヶ月後の12月2日には、その大きさは自然状態での脱出時の1/3～2/3（平均0.6×2.5mm）の体積であった。4月中旬に自発的に脱出した時には、貯精嚢は1×3mmにまで肥大し内部は精子で充満し、精巣は糸状に収縮していた。低温処理32日目には貯精嚢の肥大は見られなかったが、60日目には肥大しているものが3個体中2個体見られ、自然脱出時の約1/2(0.5×2.7mm)であった（第4表）。

考 察

本調査において、ヒメスギカミキリの成虫休眠は一定期間の低温処理（5°C）で消去されることが明らかになった。その後の高温（25°C）で成虫は材から脱出し、交尾、産卵を行い、産下卵は孵化して成虫まで発育した。雌成虫では、成熟卵を持って正常に材から脱出するためには低温とその後の高温が必要であったが、雄成虫では、精巣の発育には必ずしも低温を必要としない可能性が示唆された。

25°C移行後からの成虫の脱出は、スギカミキリ（小林, 1984；北島・五十嵐, 1991）と同様、低温処理期間が長いほど早く、特に45日処理と60日処理の間で急激に早くなった。この間に休眠消去が進行したと考えられる。

60, 90日低温処理区では、成虫の脱出は比較的短期間に集中し、斉一性が見られたことから、大部分の個体は2～3ヶ月の低温処理で十分に休眠から覚醒し、温度の上昇を待っている状態であったと考えられる。一方、30, 45日処理区では脱出にばらつきがあり、産卵数、孵化率も60, 90日処理区より劣っていたので、低温処理が休眠の消去に不十分であったと考えられる。しかし、無処理区より低温の効果は認められたが、低温処理期間の違いによる差は明確でなかった。

このことについては今後の調査が必要である。

本種は、無低温処理や低温での休眠消去の処理が不十分でも、多くの個体が脱出した。実際、無低温処理では66%および81%、30日や45日間の低温処理でも87～98%の脱出が見られた。休眠は、一般に消去要因に接触しなくても自発的に消去されるが、そのタイミングは不斉一になる（石井, 1986, 1988）。本種でも、低温処理をしない場合、および不十分な場合の成虫の脱出は不斉一であったので、この原則が適応できるであろう。

内部生殖器官の発育を見ると、雌では、低温処理中は卵巣の発育が見られなかったが、90日の処理後に25°Cに保温し、脱出してきた雌の卵巣小管および貯卵嚢は成熟卵で満たされていた。これは、雌成虫が成熟卵を持って正常に材から脱出するためには、冬の低温と休眠後の高温が必要という小林（1984）の推論を支持するものである。

本種の雌では、低温で維持・消去される卵巣休眠の過程と高温で促進される卵巣発育の2つの過程の存在が示された。

本種の雄では、精巣の発育に低温は必要としない可能性が考えられた。一化性で成虫休眠するコガタリハムシ等の数種のアムシ類では、精子形成には低温を与える前に一定の高温が必要であるという（芦田, 1981, 芦田・松田, 1983）。また、本種に生活史のよく似たスギカミキリでも同様なことが示唆されている（前藤・山根, 1985）。本種においても、羽化後1ヶ月以内には既に精巣が発達していたが、この間（9月）は自然状態に放置されており、野外の高温で精巣が発育したことは十分考えられる。実際、羽化後に低温処理をせず25°Cに2ヶ月間置いた雄は、低温処理した雌と正常に交尾し、その産下卵は孵化した（松浦, 未発表）。また、本種では精子が精巣から貯精嚢へ移動し、精巣が収縮していく過程があり、今回の実験でこれは低温下でも起こることがわかった。このことはスギカミキリでは確認されていない。今後、本種雄の精子形成に最適な温度と期間の探索や、精子移動のシステムの調査を行い、低温処理の開始時期を決定する必要がある。

今回、筆者らは5°Cで低温処理を行ったが、スギカミキリでは、7°Cで90日以上処理した後に25°Cに加温する方法が累代飼育に適当である（北島・五十嵐, 1993）と報告されている。また、同種では休眠発育の適温は13°C前後の中温と予測されている（五十嵐・松田, 1992）。本種においても、より短期間で効率的な休眠消去を行うためには、休眠消去の適温の決定を

第4表 野外および5℃低温処理を行ったヒメスギカミキリ成虫の内部生殖器官の発育状況

調査区	調 査 日	調 査 個体数	内部生殖器の大きさ			
			卵 (長径: mm)	精巣 (直径: mm)	貯精囊 (短径×長径: mm)	
野 外	1995年10月 3日	3(W) ^{b)}	0.4	1.3	0.2×*	
	11月 4日	3(W)	0.4	1.1	0.5×1.0	
	12月 2日	3(W)	0.4	0.6	0.6×2.5	
	1996年 4月16～17日	3(E) ^{b)}	1.5	*(糸状)	1.0×3.0	
低温処理	1995年10月 3日	5℃保管後 0日目	3(W)	0.4	1.3	0.2×*
	11月 4日	32	3(W)	—	1.2	0.2×*
	12月 2日	60	3(W)	0.4	1.2 ^{c)}	0.2×* ^{c)}
					0.8 ^{d)}	0.5×2.7 ^{d)}
	1996年 1月 1日	90	3(W)	0.4	—	—
	1月14日 25℃保管後 ^{a)}	13～15	3(E)	1.5	*(糸状)	1.0×3.0

a) 日長は14L-10D. ; b) Wは材内の個体. Eは材から脱出した個体. ; c) 長径が測定不能の1個体.
; d) 2個体の平均. ; —未調査. ; * 測定不能.

行う必要がある。またその際、産卵数や孵化率も考慮に入れる必要がある（北島，私信）だろう。

日長が本種の休眠消去に与える影響は、今回の調査では不明であった。しかし、カミキリムシでは、冬休眠している幼虫の休眠消去には日長と温度が関係していることがセンノカミキリ（阿久津，1985）やマツノマダラカミキリ（上田・遠田，1995）の人工飼育実験で報告されているので、本種の休眠消去にも日長の影響がないと断定できないと考えられる。

最後に、殺虫試験への本種の供給を考えると、殺虫試験では各態の殺虫データが必要となるため、供試虫は均一な発育経過であることが望ましい。材食入状態で殺虫試験に供試する場合、ヒメスギカミキリを材へ寄生させることが必要となる。その方法としては、孵化幼虫を材に接種するか、成虫を材に放飼し産卵させることが一般的である。作業能率を考えると、前者は、採卵、幼虫の取り出し、接種等の手間やテクニックが必要である。しかし、後者は成虫を材に放飼するだけでよく、前者より作業は簡便である。ただし、材への確実な産卵数が不明であるが、多数の個体を放飼することにより必要数を獲得できるであろう。そのためには、この方法では同時期に多数の成虫が必要となる。今回の調査で用いた方法では、5℃で60日以上処理すれば約8ヶ月で次世代の成虫が獲得でき、産卵、孵化も優れている。

今後、本種を供試虫として利用するためには、野外虫と休眠消去で得られた飼育虫との差異等さまざまな調査が必要であろう。しかし、成虫の休眠を消去でき、次世代が獲得できたことから、周年を通して本種の供試虫が供給できる可能性が大きくなった。

引用文献

- 阿久津喜作（1985）センノカミキリの生態ならびに防除に関する研究。東京都農試研報18：1-72
- 芦田栄徳（1981）休眠中のコガタリハムシ成虫における精子形成。応動昆25：299-300
- 芦田栄徳・松田一寛（1983）ハムシ類の化性と精子形成期。応動昆27：142-145
- 五十嵐正俊・松田一仁（1992）スギカミキリの卵巣成熟と温度の関係。103回日林論：527-528
- 石井 実（1986）アゲハチョウ類 北上と季節適応。日本の昆虫—侵略と攪乱の生態学（桐谷圭治 編），東京：東海大学出版会，pp.24-32
- 石井 実（1988）1 化性昆虫の季節学。昆虫学セミナー II 生活史と行動（中筋房夫 編），東京：冬樹社，pp.66-108
- 北島 博・五十嵐正俊（1991）低温処理によるスギカミキリ成虫の休眠打破。応動昆第35回大会 p.201〔講要〕
- 北島 博・五十嵐正俊（1993）スギカミキリの大量継代飼育法の確立。森林総研研究成果選集 平成4年度：6-7
- 小林一三（1984）スギカミキリとヒメスギカミキリ成虫の休眠と材からの脱出の温度条件。95回日林論：491-492
- 前藤 薫・山根明臣（1985）低温処理によるスギカミキリ成虫の休眠打破。日林誌67：376-377
- 上田明良・遠田暢男（1995）マツノマダラカミキリの幼虫休眠と日長・温度の関係。日林関西支論4：163-166