

環動昆

報 文

- 大村和香子・土居修一・大原誠資：蒸煮カラマツ心材抽出物
を利用したイエシロアリ体内へのホウ酸取り込み
の促進に関する室内試験（英文）…………… 1

短 報

- 大町俊司・佐藤 浩・石山良範・佐藤純一郎・石崎亨子・
谷川 力・川上裕司：紫外線カットフィルム（オ
プトロン）の飛翔性昆虫に対する光誘引阻止効果 …… 9

解 説

- 二井一禎：“マツ材線虫病”と環境…………… 15
- 大会印象記…………… 25
- セミナー印象記…………… 34
- 会 報…………… 38
- 投稿規定…………… 47
- 会員名簿…………… (1)

Vol. 11

1

2000

日本環境動物昆虫学会

Acceleration of Boric Acid Uptake into *Coptotermes formosanus* Shiraki Using Steamed Larch Heartwood Extracts in a Laboratory Test

Wakako Ohmura¹⁾, Shuichi Doi²⁾, and Seiji Ohara¹⁾

- 1) Forestry and Forest Products Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tsukuba 305-8687, Japan
- 2) Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876, Japan

(Received : July 10, 1999 ; Accepted : November 2, 1999)

蒸煮カラマツ心材抽出物を利用したイエシロアリ体内へのホウ酸取り込みの促進に関する室内試験 大村和香子¹⁾・土居修一²⁾・大原誠資¹⁾ (¹⁾農林水産省森林総合研究所・²⁾秋田県立大学木材高度加工研究所)

蒸煮処理カラマツ心材から得た熱水抽出物とホウ酸との混合物がイエシロアリの挙動に及ぼす影響を室内試験により検討した。蒸煮処理したカラマツ心材の熱水抽出物から得た水可溶部 (S-Water) と 0.01~2.0% (w/w) のホウ酸との混合物またはいずれか一方のみを含浸したペーパーディスクをイエシロアリに投与し、摂食量を測定した。さらに、シロアリ致死率及び摂食試験終了後のシロアリ体内のホウ素量を定量した。ホウ酸濃度 0.1% 以下では S-Water の混合により有意に摂食量の増加が認められた ($P < 0.01$)。致死率に関しては、試験期間 (21 日間) では、いずれの濃度においても S-Water の混合による増加は認められなかった。一方、ホウ素含有量を調べた結果、ホウ酸濃度 2.0% においては、兵蟻投入区の方が未投入区よりも職蟻のホウ素含有量が低かった ($P < 0.01$)。これは栄養交換により職蟻から兵蟻へホウ素が伝搬したためと考えられる。また、兵蟻未投入区では、ホウ酸濃度 2% において S-Water 添加区の方が職蟻体内のホウ素含有量が高かったことから、S-Water により、イエシロアリ体内のホウ素の排出の阻害または蓄積の促進が生じる可能性が示唆された。

Laboratory tests were done to measure the efficacy of addition of steamed larch (*Larix leptolepis* (Sieb. et Zucc.) Gord.) heartwood extracts for the uptake of boric acid against the termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki. Paper discs were treated with the water-soluble fraction obtained from hot-water extracts of steamed larch wood

(S-Water) with or without 0.01-2.0% boric acid, followed by exposure to this of termites, *C. formosanus*. The consumptions of the discs, termite mortalities, and boron contents in the termite bodies were measured. The S-Water significantly accelerated the consumptions of the discs at the retentions of boric acid below 0.1% (w/w) ($P < 0.01$). However, regardless of the addition of the S-Water, the termite mortalities were almost the same at all the retentions of boric acid examined after 21 days of exposure. When the paper discs treated with the S-Water and 2.0% boric acid were given to workers and soldiers, boron contents in workers were lower than those of the same experiment without soldiers ($P < 0.01$). This is because ingested boron was incorporated into soldier bodies from workers by trophallaxis. In the experiment using only workers, boron contents of termites fed with 2.0% boric acid plus the S-Water were larger than those of the termites fed without the S-Water. From the result, it was supposed that the S-Water inhibited the excretion of boron from the termite bodies or increased the accumulation of it in the termite bodies.

Key words : Bait-toxicant, *Larix leptolepis*, Steam treatment, Hot-water extracts, Boric acid, *Coptotermes formosanus*.

Introduction

Chemical treatments of wood and/or soil have been major termite control methods to protect wooden structures from termite attacks. However, such treatments require a large amount of chemicals and cost. In the United States, about \$ 1.5 billion are spent for termite control per year (Su, 1991).

Baiting systems for termite control are usually constructed with a combination of bait substrates and toxicants. The systems may use 1000-fold less pesticide than the current soil termiticide treatments, according to a preliminary estimate (Su and Scheffrahn, 1990a). Various kinds of slow-acting poisons are applied to be spread throughout the colony. The first trial of the system was done using a decayed wood and a slow-acting toxicant, mirex (Esenther and Beal, 1974 ; 1978). Recently, moulting inhibitors such as diflubenzuron and hexaflumuron have been evaluated for their bait-

toxicant activity instead of mirex (Su and Scheffrahn, 1990b ; Su, 1994). Boron compounds have also been tried to use as bait-toxicants (Grace, 1991 ; Susan, 1991). On the other hand, bait-substrates must be more attractive to termites than the surrounding food sources (Pearce, 1997). The ingestion of toxicants in bait-substrates with attractants is expected to be larger than that without them. Thus, the application of attractants to bait-substrates would make the bait system more effective. In China, crushed bagasse, eucalypt bark, or pine sawdust is used with mirex, and placed in termite-infested areas (Li *et al.*, 1994).

We found that the water-soluble fraction (S-Water) obtained from hot-water extracts of steamed Japanese larch (*Larix leptolepis* (Sieb. et. Zucc.) Gord.) heartwood was preferred by a termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Ohmura *et al.*, 1999). In this paper, the additive effects of the S-Water to accelerate the ingestion of paper discs

permeated with boric acid were investigated. Boron contents in the termite bodies were also measured to know whether boron could be distributed to other individuals. This is a preliminary study for construction of a baiting system using the S-Water as a bait-additive.

Materials and Methods

Preparation of the test substrates

Boards of Japanese larch heartwood measuring 150 (tangential) \times 20 (radial) \times 1200 (longitudinal) mm were steamed at 170 °C for 60 min. in a 500 L autoclave. After steaming, the boards were air-dried and ground to obtain wood meal passing a 1-mm screen mesh. One hundred g of the wood meal was extracted with 1000 ml of deionized water under reflux for 8 h. The extraction process was repeated five times and water was replaced for each process. The combined hot-water extracts were concentrated to approximately 300 ml under reduced pressure.

The hot-water extract was successively extracted with *n*-hexane, diethyl ether, and ethyl acetate. The residual water layer was freeze-dried to give a water-soluble fraction (S-Water).

The S-Water was dissolved in 150 ml of deionized water. Paper discs (diameter ; 13 mm, weight ;

about 60 mg : Whatman International Ltd.) were treated with 90 μ l of the S-Water solution including boric acid (SB). They were dried at 60 °C for 12 h followed by drying in a vacuum desiccator for a day. Discs treated only with boric acid (BA) were also prepared by the same procedure. Boric acid retentions were 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, and 2.0 % (w/w per disc) for both the SB and the BA series.

Termite bioassay

Termites

Termites were collected from a laboratory colony of *C. formosanus*. The colony was maintained in the dark at 28 ± 2 °C and approximately 80% R. H. for more than fifteen years at Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba.

Test chamber

A test chamber was made of a plastic cup (rim diameter ; 60 mm, bottom diameter ; 50 mm, height ; 50 mm) with a hard plaster bottom. Three g of sea sand (15-20 mesh: Junsei Chemical Co., Ltd.) was layered in the center of the test chamber, and moistened with 0.5 ml of deionized water. A disc on a plastic saucer (diameter ; 15 mm) was put onto the sea sand so that termites could easily reach the disc (Fig. 1 (a)). A dampened cotton pad was spread under the chamber to supply water to the sea

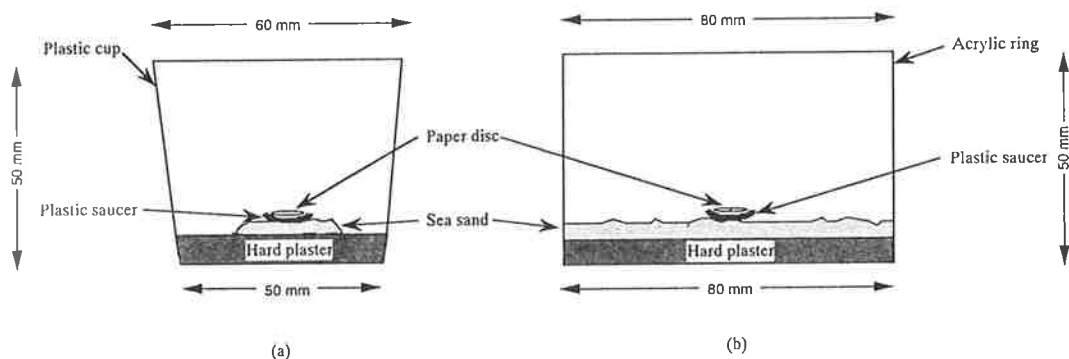


Fig. 1 Diagrams of test chambers for (a) no-choice bioassays and (b) boron analysis.

sand layer.

Short-term no-choice bioassay

A disc treated with the SB or BA was put on a saucer and 100 workers were introduced into a test chamber. Consumption (weight loss in mg) of each disc was measured after 3 days. Three replications were done for each retention.

Long-term no-choice bioassay

Fifty workers were put into a test chamber, and forced to feed on each disc treated with the SB or BA series with no boric acid (SB-0, BA-0), 0.1% boric acid (SB-0.1, BA-0.1) or 2% boric acid (SB-2, BA-2). A starvation test was also done. Termites were transferred into the new discs and test chambers every 3 days. Termite mortalities were counted every 3 days until the end of bioassay for 21 days. Three replications were done for each retention.

Quantitative analysis of boron

Test chamber

An acrylic ring (inner diameter ; 80 mm, height ; 50 mm) with a hard plaster bottom was used as a test chamber (Fig. 1 (b)). Fifty g of sea sand (15-20 mesh; Junsei Chemical Co., Ltd.) was layered on the bottom of the test chamber, and moistened with 10 ml of deionized water. A disc on a plastic saucer (diameter ; 15 mm) was put on the center of the test chamber. A dampened cotton pad was also spread under the chamber to supply water to the sea sand layer.

Boron analysis

Two hundred workers with or without 30 soldiers were put into a test chamber, and forced to feed on each disc treated with the SB-0, SB-0.1, SB-2, BA-0, BA-0.1, or BA-2 for 7 days. In the experiments with soldiers, two chambers were used for each experiment. After that, 60 workers or 50 soldiers were put into a Teflon vessel. The termites were decomposed with $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ as described in

the literature (Haraguchi, 1992), and the obtained mixture was filtered through a 0.45- μm diskfilter unit to get a sample filtrate. Three replications were done for each experiment. The boron content of the filtrate was analyzed using an inductively coupled plasma atomic-emission spectrometer (ICP-AES ; Seiko SPS 7700) at the wavelength of 249.773 nm after checking that there was no interference from iron. Weight losses of the discs were also measured to estimate the uptake of boron by workers.

Statistical analysis

Statistical analyses were done with a Tukey-Kramer HSD test using the computer software JMP (SAS Institute, 1989).

Results and Discussion

Effects of S-Water on the ingestion of boric acid

Consumptions of the discs exposed for 3 days to *C. formosanus* are shown in Fig. 2. Consumptions of the discs were significantly decreased at 2.0% retentions of boric acid in both the SB and BA treatments ($P < 0.01$). At the retentions of 0.01, 0.05, and 0.1%, the termites consumed more of the SB discs than the BA discs at the same boric acid retentions ($P < 0.01$). For example, the average consumption of the discs treated with SB-0.1 was 29.9 mg, while that with BA-0.1 was 22.8 mg. This suggests that the presence of boric acid at less than 0.1% in discs was not inhibiting for 3-day exposure as well as that the addition of the S-Water attracted the termite feeding.

Effects of S-Water on the mortality

Figure 3 shows the course of mortality of *C. formosanus* fed on the discs treated with the SB or BA containing boric acid at retentions of 0, 0.1, and 2.0% (w/w). The starvation test showed an average mortality of 26% at the end of the test period. Twelve% and 16% mortalities were observed in the treatments with the S-Water (SB-

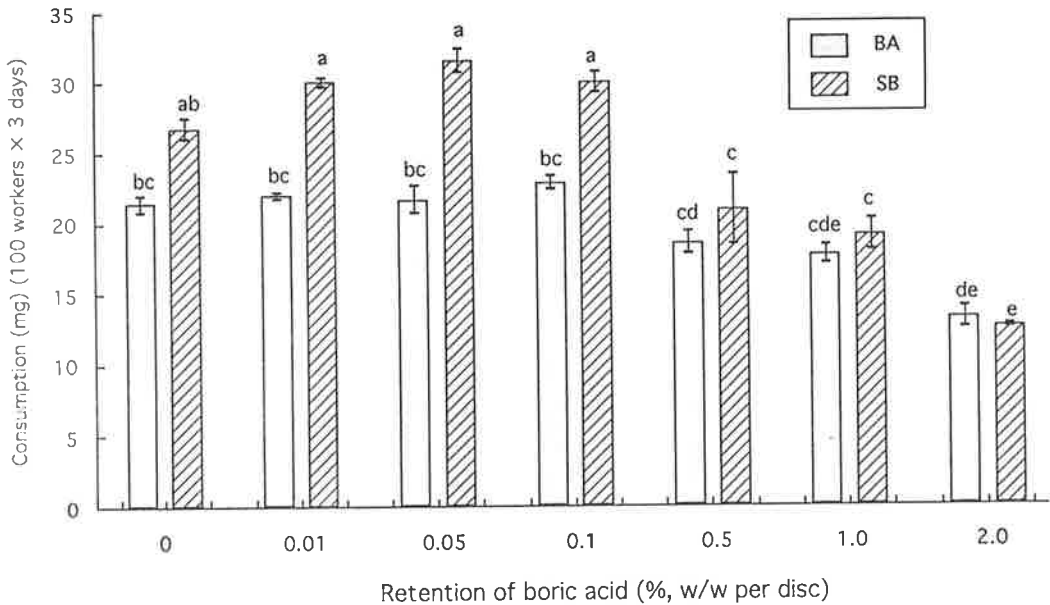


Fig. 2 Consumption of the discs (mg) treated with boric acid (BA) or the S-Water plus boric acid (SB) series for 3-day exposure to 100 workers of *C. formosanus*. The S-Water is the water-soluble fraction from hot-water extracts of steamed larch heartwood. Bars indicate standard errors ($N = 3$). Significant differences ($P < 0.01$) were detected among the results attached with different letters (a, b, c, d, e).

0) and in the untreated control (BA-0), respectively. The S-Water showed no significant effect on the mortality at each retention of boric acid, although SB-0.1 discs were consumed significantly more than BA-0.1 discs (Fig. 2). The mortalities on the SB-0.1 and BA-0.1 discs were almost the same as those of the SB-0 and BA-0 discs. In the applications of the SB-2 and BA-2, a drastic increase of mortalities was observed after 12 days, and then reached approximately 100 % mortalities after 21 days. The same phenomenon was also observed when nickel (II) was applied to *C. formosanus* (Ohmura and Ohara, 1995). The reason for these sudden increases of mortality is not clarified but some breaking point of toxicant deposits could be supposed. The boron content in termite bodies are supposed to increase with time. When the accumulation of the toxicant exceeds the lethal accumulative

dose, the termites will be dead. The reason for no difference in mortalities between SB-0.1 and BA-0.1 discs might be that boron contents in termites fed on these discs do not reach the lethal accumulative dose during 21 days. As the boron content in termite bodies fed on SB-0.1 would reach the lethal accumulative dose earlier than that on BA-0.1, a significant difference in mortalities between the SB-0.1- and BA-0.1-treatments might occur if the bioassay would be continued more than 21 days.

Toyoshima *et al.* (1997) suggested that boric acid formed complexes with biological substances having *cis*-hydroxyl groups in termite bodies, and that these complexes might cause the disruption of physiological functions of termite. Boron forms complexes with almost all pentoses and hexoses (Chapelle and Verchere, 1988). As the main components of the S-Water are low-molecular weight saccharides

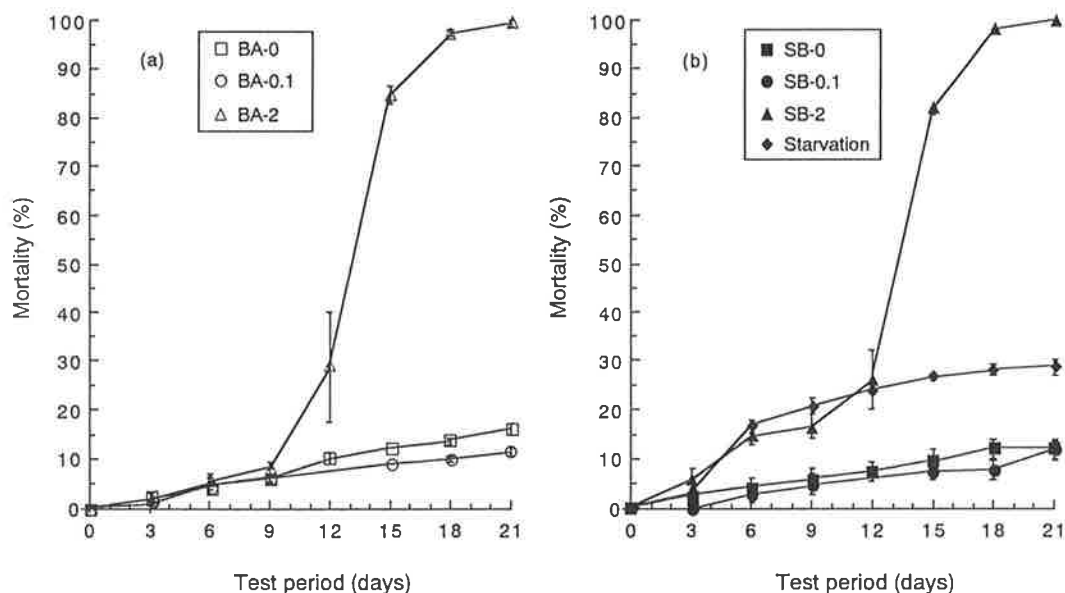


Fig. 3 Course of mortality of *C. formosanus* in no-choice test for 21 days. (a) BA-0, BA-0.1, and BA-2 are the BA series containing boric acid at retentions of 0, 0.1, and 2.0% (w/w per disc), respectively. (b) SB-0, SB-0.1, and SB-2 are the corresponding SB series, respectively. BA, SB, and

(Ohmura *et al.*, 1999), it seems that boron forms complexes with saccharides in the S-Water. The formation of these complexes might delay the effect of the toxicity of boron. Such delayed toxicity of boric acid seems to be useful for the baiting system.

Accumulation of boron in termite bodies

In termite societies, soldiers play a role for defense while they depend on workers for feeding.

Thus, soldiers were introduced into the test chambers together with workers in order to find out about the transportation of boron from workers to soldiers through trophallaxis. Test chambers introducing only workers were also prepared for comparison.

At first, uptakes of boron by workers were calculated from the consumptions of the discs (Table 1).

Table 1 Calculated boron uptakes (ng/termite) by workers of *C. formosanus* for 7-day exposure

Treatments	Uptakes of boron into workers (ng/termite)	
	With soldiers	Without soldiers
BA-0.1	94.6 ± 3.62 ^{ab}	90.2 ± 0.52 ^b
BA-2	671 ± 60.1 ^c	584 ± 5.33 ^c
SB-0.1	109 ± 3.13 ^a	108 ± 2.80 ^a
SB-2	689 ± 62.1 ^c	668 ± 30.5 ^c

BA-0.1, BA-2, SB-0.1 and SB-2: see notes on Figure 3. Values indicate the means ± standard errors ($N=3$). Values followed by the same letters (a, b, c) are not different at the significant level of $P<0.01$.

Uptake of boron in the SB-0.1 disc tended to be higher than that in the BA-0.1 disc, while there was no difference between the SB-2 and BA-2 discs regardless of the existence of soldiers.

The boron contents in the bodies of these termites were measured by ICP-AES. The results are shown in Table 2. Boron was incorporated even into soldier bodies. When the SB-2 and BA-2 discs were exposed to workers and soldiers, boron contents in workers were lower than those of the same experiment without soldiers. Almost the same contents of boron were detected from the termites fed on the SB-0.1 and BA-0.1 discs, although the termites consumed more of the former discs than the latter in the bioassay using only workers. Considering the boron contents in termite bodies on SB-0 and BA-0, it was thought that standard errors in the analysis data were too large to obtain a significant difference between the SB-0.1 and BA-0.1 discs.

In the experiments without soldiers, workers fed on the SB-2 disc had larger content of boron than those on the BA-2 disc (Table 2) although they ingested almost equal amounts of boron (Table 1). Therefore, it was assumed that the orally ingested boron was difficult to excrete or easy to accumulate in the termite bodies in the presence of the S-Water.

Thus, the S-Water incorporating boric acid was

found to have potential as a bait-toxicant. Extended studies concerning the retentions of boric acid will be done. Field tests applying this bait-toxicant are also necessary before practical use.

References

- Chapelle, S. and J-F Verchere (1988) A ^{11}B and ^{13}C NMR determination of the structures of borate complexes of pentoses and related sugars. *Tetrahedron* **44** : 4469-4482.
- Esenher, G. R. and R. H. Beal (1974) Attractant-mirex bait suppresses activity of *Reticulitermes* spp. *J. Econ. Entomol.* **67** : 85-88.
- Esenher, G. R. and R. H. Beal (1978) Insecticidal baits on field plot perimeters suppress *Reticulitermes*. *J. Econ. Entomol.* **71** : 604-607.
- Grace, J. K. (1991) Response of eastern and Formosan subterranean termites (Isoptera, Rhinotermitidae) to borate dust and soil treatments. *J. Econ. Entomol.* **84** : 1753-1757.
- Haraguchi, H. (1992) *Fundamentals and applications of ICP atomic-emission spectrometry*. Kodan-sha (in Japanese).
- Li, G.-X., Z.-R. Dai and B. Yang (1994) Introduction to termite research in China. *J. Appl. Ent.* **117** : 360-369.
- Ohmura, W., S. Doi. M. Aoyama and S. Ohara

Table 2 Boron contents in termite bodies (ng/termite) detected by ICP-AES

Treatments	Boron contents (ng/termite)		
	With soldiers		Without soldiers
	Soldiers	Workers	Workers
BA-0	3.06 ± 2.54 ^e	2.40 ± 1.02 ^e	4.92 ± 0.61 ^e
BA-0.1	7.32 ± 1.67 ^e	46.8 ± 6.92 ^{de}	44.0 ± 3.89 ^{de}
BA-2	115 ± 1.62 ^{de}	368 ± 32.5 ^c	476 ± 31.1 ^b
SB-0	0.00 ± 0.00 ^e	3.71 ± 0.60 ^e	0.65 ± 0.17 ^e
SB-0.1	10.6 ± 2.08 ^e	46.7 ± 10.4 ^{de}	43.3 ± 4.26 ^{de}
SB-2	146 ± 19.4 ^d	447 ± 39.8 ^{bc}	610 ± 29.0 ^a

For further explanation, see notes in Table 1 and Figure 3.

- (1999) Components of steamed and non-steamed Japanese larch (*Larix leptolepis* (Sieb. et Zucc.) Gord.) heartwood affecting the feeding behavior of the subterranean termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). *Holzforschung* (in press).
- Ohmura, W. and S. Ohara (1995) Termiticidal activity of tannin and tannin-metal complexes. *Abs. 7th Ann. Mtg. Jpn. Soc. of Environ. Entomol. and Zool.* : 23 (in Japanese).
- Pearce, M. J. (1997) *Termites. Biology and pest management.* CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK.
- SAS. (1989) *JMP user's guide version 2.0 of JMP.* SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Su, N.-Y. (1991) Termites of the United States and their control. *SP World* 17 : 12-15.
- Su, N.-Y. (1994) Field evaluation of a hexaflumuron bait for population suppression of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.* 87 : 389-397.
- Su, N.-Y. and R. H. Scheffrahn (1990a) Economically important termites in the United States and their control. *Sociobiology* 17 : 77-94.
- Su, N.-Y. and R. H. Scheffrahn (1990b) Potential of insect growth regulators as termiticides. *Sociobiology* 17 : 313-328.
- Susan C. J. (1991) Field evaluation of boron as a bait toxicant for control of *Heterotermes aureus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* 19 : 187-209.
- Toyoshima, I., T. Yoshimura, K. Tsunoda and M. Takahashi. (1997) Comparative toxicity, residual nature and effect on respiration of boron compounds in a lower termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). *Mat. u. Org.* 31 : 217-226.

紫外線カットフィルム（オプトロン）の 飛翔性昆虫に対する光誘引阻止効果

大町 俊司¹⁾・佐藤 浩²⁾・石山 良範²⁾
佐藤純一郎³⁾・石崎 亨子¹⁾・谷川 力¹⁾
川上 裕司⁴⁾

- 1) イカリ消毒株式会社 技術研究所
2) 大成化工株式会社 テクニカルセンター
3) イカリ消毒株式会社 薬品事業部
4) 株式会社エフシージー総合研究所 生活科学部
環境生物研究室

Effects of a UV Screening Film, Optron Covering the Surface of a Lamp on the Number of Flying Insects Attracted to the Light. Shunji Omachi¹⁾, Hiroshi Sato²⁾, Yoshinori Ishiyama²⁾, Junichiro Sato³⁾, Kyoko Ishizaki¹⁾, Tsutomu Tanikawa¹⁾ and Yuji Kawakami⁴⁾ (1) Technical Research Laboratory, Ikari Corporation, Chibadera-cho, Chuo-ku, Chiba 260-0844, Japan, 2) Technical Center, Taisei Chemical Industries, Nishi Shinkoiwa, Katsushika-ku, Tokyo 124-8535, Japan, 3) Chemicals Division, Ikari Corporation, Akanehama Narashino, Chiba 275-0024, Japan, 4) Laboratory of Environmental Biology, FCG Research Institute, Inc., Higushishinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0002, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 11: 9-13 (2000)

Optron-Fluorescent Lamp Clear is a colorless and clear UV-screening film, that practically cuts 100% of ultraviolet rays ranging from 300 to 400 nm length wave. This film is expected to reduce the number of flying insects attracted to a fluorescent lamp without any reduction of illuminance. The film was tested at night on a river bank for such effects as these; a light trap with a fluorescent lamp was used for the experiment. The reduction of the number of captured insects was 56.1% (Diptera, 52.3% and Hemiptera, 51.0%). The effects of the film were also confirmed in a usual light trap setting (black light); 93.7% of flying insects weren't attracted to the light trap covered with the film. These results suggest that this film can greatly reduce the attractiveness of fluorescent lamps to flying insects.

Key words: unattractiveness, flying insects, Optron-Fluorescent Lamp

近年、夜間照明に正の走光性（以下、走光性と呼ぶ）を示す飛翔性昆虫が食品工場などに飛来して、製品へ混入する事例（平尾, 1989）や、ユスリカなどが照明に群飛して不快害虫として問題となる事例（佐藤, 1989）、また、これら飛翔性昆虫の死骸が微細塵となって空気中を浮遊し、喘息のアレルゲンとなる事例（五十嵐, 1987）などが多数報告されている。

これらの防虫対策の一つとして、紫外線域の短波長（300～500nm付近）を遮断した緑色などの有色フィルムが、飛翔性昆虫の誘引を阻止する効果があることが明らかになり（河野ら, 1992）、食品工場・医薬品工場などに利用されてきた。しかし、有色フィルムは、ファミリーレストランやコンビニエンスストアなどでは、防犯上の問題や顧客へのイメージダウンにつながることから、業務用としての使用には制限があるのが現状である。

そこで、著者らは、走光性の主な原因の短波長である300～400nmをほぼ100%遮断することができる無色透明の紫外線カットフィルム（オプトロン[®]蛍光ランプクリア；以下、オプトロンと呼ぶ）を開発した。今回、このオプトロンが飛翔性昆虫の飛来を抑制することができるかどうかを試験した結果、十分実用に堪える結果が得られたので報告する。

材料と方法

試験 1

試験場所は千葉市花見川区花見川（図1）で、1995年8月～10月の各月2日の計6日試験を実施した。試験には白色蛍光灯（NEC FL20SD）にオプトロンを装着したもの（以下、OP・FLSDと称す）と、対照として同上の白色蛍光灯のみ（以下、FLSDと称す）を用いた。

試験は、川幅約30m、河原の幅約15mの花見川周辺において実施した。先ず、長さ55cm、幅4cm

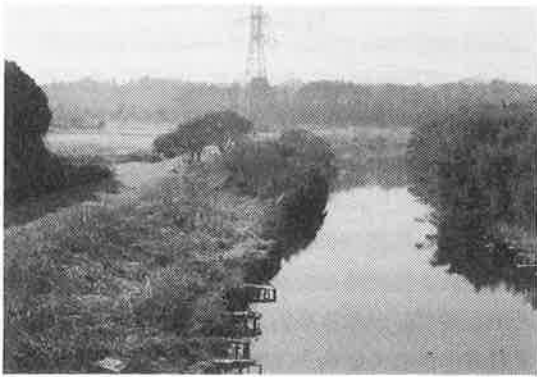


図1 試験場所。

の粘着捕虫紙を取り付けたライトトラップ（商品名：ムシボン）4台にOP・FLSDまたはFLSDを取り付け、川岸より10mの地点に10m間隔で1列に並べた。そして位置的な公平を期するためにOP・FLSDとFLSDを各2台ずつ交互に配置した（図2：TCTCの順）。さらに、両端には無灯のライトトラップを置き、光に対する誘引以外の行動による昆虫の捕獲もおこなった。ライトトラップ

は日没30分後に4台同時に10分間点灯し、粘着捕虫紙を取り外した。次にライトトラップに新しい粘着捕虫紙を取り付けて、OP・FLSDとFLSDの配置交換をおこなって、再度10分間点灯した（図2をCTCTにした）。配置の順番を入れ替えておこなったOP・FLSDとFLSDの総捕獲数から、飛翔性昆虫に対する誘引阻止率を以下の式より求めた。そして、計12回（6日×2回）の捕獲数から求めた誘引阻止率によってオプトロンの阻止効果を判定した。なお、試験は、雨天以外の無風で気温20℃以上の日を選んで実施した。

$$\text{誘引阻止率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{OP・FLSDの捕獲数}}{\text{FLSDの捕獲数}}\right) \times 100 (\%)$$

試験2

試験場所は試験1と同様で、試験日時は、1998年7月14日の1日のみとした。試験にはブラックライト（NEC FL20BL）にオプトロンを装着したもの（以下、OP・FLBLと称す）と、対照として同上のブラックライトのみ（以下、FLBLと称す）を用いた。

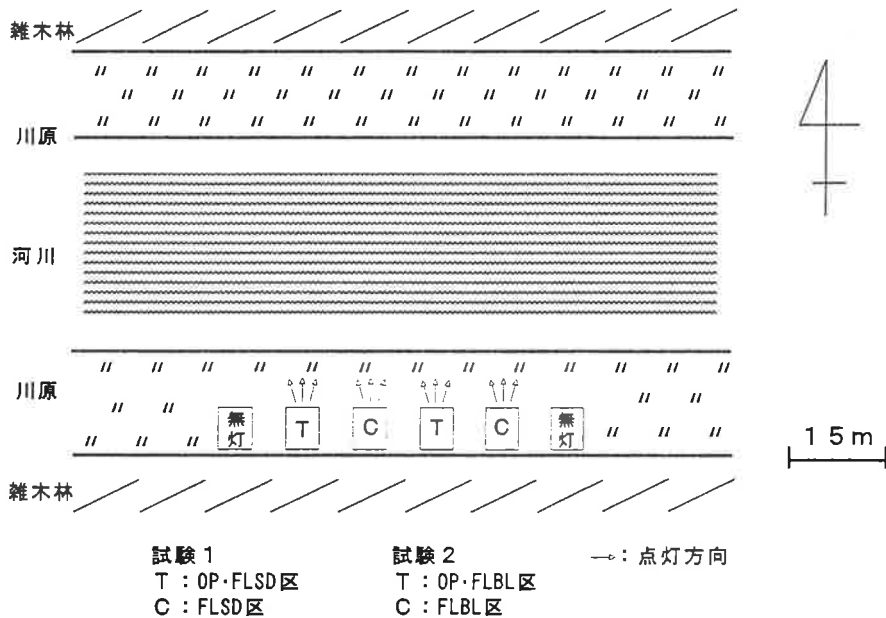


図2 トラップの配置方法。

誘虫灯（ブラックライト）は飛翔性昆虫を誘引捕獲するために用いられるが、オプトロンが誘虫灯の紫外線に対しても短波長域を遮断する効果があるかどうかを調べることを目的として、白色蛍光灯（NEC FL20SD）の代わりにブラックライト（NEC FL20BL）を用いて、試験1と同様の

方法で試験を実施した。誘引阻止率についても試験1と同様の式より求めた。

結果と考察

試験1の結果（OP・FLSDとFLSDの捕獲昆虫の目別比較）を図3に示した。目別の捕獲数を比

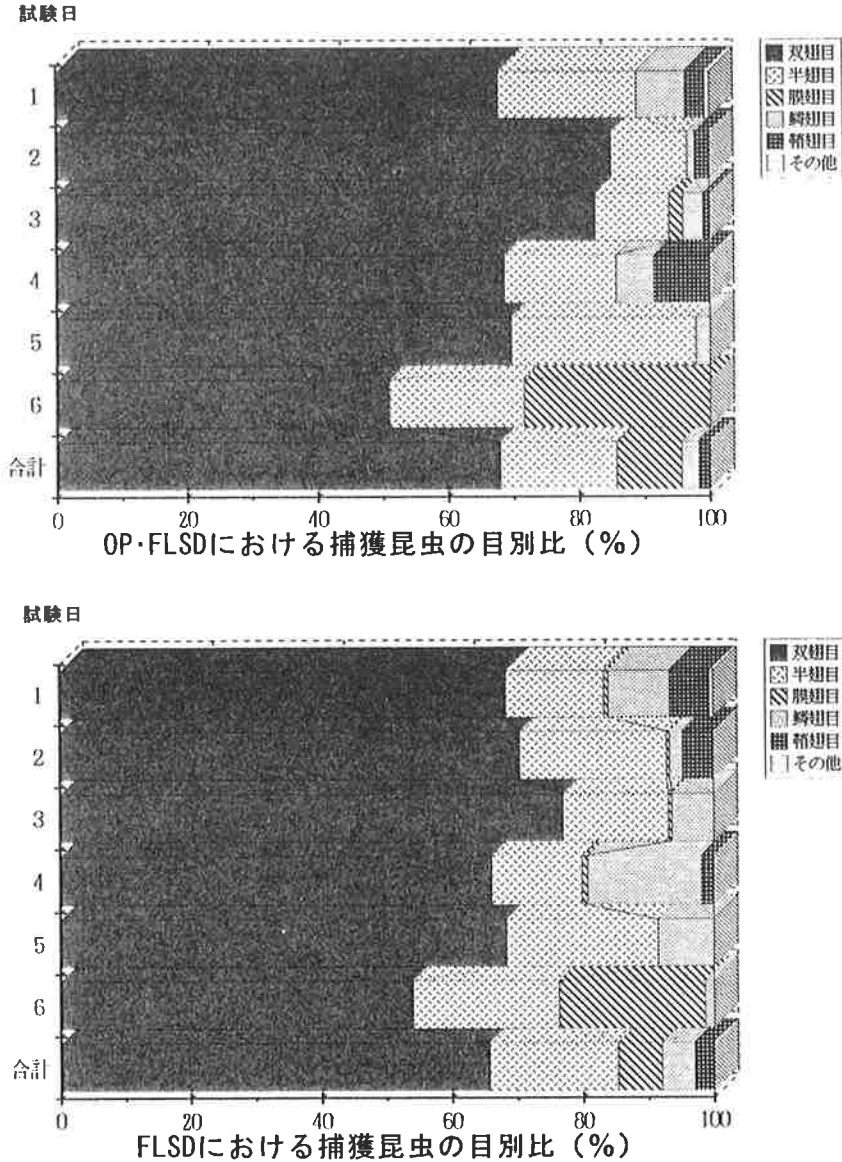


図3 試験1におけるOP-FLSDとFLSDの試験日ごとの捕獲昆虫目別比.

較すると、OP・FLSD、FLSDいずれも双翅目>半翅目>膜翅目>鱗翅目>鞘翅目の順に多く、目別でみるかぎりほぼ同じ捕獲比率で、OP・FLSDがFLSDと比べて特定の目をより多く阻止する効果はないことがわかった。しかしながら、目別の誘引阻止率は、双翅目では52.3%（優占種：ユスリカ類）、半翅目では51.0%（優占種：ウンカ・ヨコバイ類）、膜翅目では38.9%（優占種：アリ類の有翅虫）であり、一般に飛来昆虫として問題になる昆虫類は40~50%阻止できることがわかった。また、総捕獲数で誘引阻止率を算出したところ、OP・FLSDは阻止率56.1%であり（表1）、全体としてOP・FLSD（オプトロン）はFLSDと比べて、およそ50%の飛翔性昆虫を阻止する効果が期待できることが明らかになった。無灯区では1回の試験につき0~5頭以下であったので、誘引阻止率を算出する際の誤差値とはならなかった。

この結果からオプトロンは、照度を落とすことなく夜間照明に飛来する飛翔性昆虫を半減させる効果があり、製品異物混入対策や不快害虫対策の有効な手段として実用的価値が高いことがほぼ証明された。特に、大量に群飛するユスリカ類やウンカ・ヨコバイ類に対して誘引阻止率が高いことは、郊外のレストランや山間部の工場における飛翔性昆虫の有効な防除法として期待できるものと考えられる。国際科学技術博覧会（科学万博—つくば'85）（川上・紅谷，1986）や国際花と緑の博覧会（永山・田中，1992）における飛翔性昆虫対策事例から、季節によって光に集まる昆虫相とその数は大きく変動することが知られている。ヨコバイ類やアリ類の有翅虫など、特に大量の群飛が予測される昆虫類については、季節・天候・地域ごとに発生予察をおこない、屋外に光が漏れる窓付近の蛍光灯にオプトロンを装着することにより、飛来昆虫数を減少させることが可能であると考えられる。オプトロンは、飛翔性昆虫が最もよく反応する波長365nm（平尾，1999）を含む紫外線域の短波長400nmまでをほぼ100%遮断（HITACHI U-3400型自記分光光度計で測定）しているにもかかわらず

表1 OP-FLSDとFLSDでの捕獲数比較および誘引阻止率

試験日	OP-FLSD	FLSD	誘引阻止率(%)
1	161	407	60.4
2	173	572	69.8
3	97	174	44.3
4	35	109	67.9
5	46	82	43.9
6	263	528	50.2
平均	129	312	56.1
標準偏差	86.8	217.5	11.6

ず、50%前後が誘引されてしまう理由として、300~400nmの波長域前後にも誘引する波長があるものと考えられる。今後300nm以下および400nm以上の波長域を遮断することにより、誘引阻止率が高くなるかどうかを検討する予定である。

試験2において、飛翔性昆虫の誘引阻止率は93.7%であった（図4）。この結果からオプトロンが、誘虫灯（ブラックライト）の紫外線に対しても遮断効果があることが明らかになった。

これにより、従来の色つきフィルムは使用場所

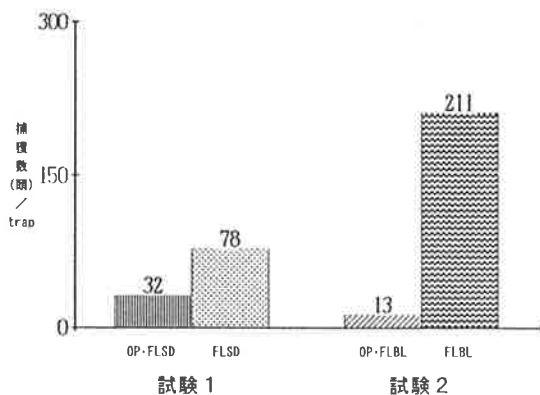


図4 試験1および試験2におけるトラップ当たりの平均捕獲数。

が限られていたが、無色透明であれば使用範囲が大幅に広がり実用面での使用が大いに期待される。

引用文献

- 平尾素一 (1989) 製品原料への異物混入防止対策.
工業技術会, 東京.
- 平尾素一 (1999) ネズミ・昆虫の衛生管理. フジ・
テクノシステム, 東京.
- 五十嵐隆夫 (1987) 生活と環境 32: 34-37.
- 川上裕司・紅谷一郎 (1986) 環境管理技術 4: 44
-63.
- 河野伸一・白井英男・津島恒生・佐藤 浩・稲生
豊人・石山良範・吉川 伸・青木秀康・大町
俊司・谷重和 (1992) 環動昆第4回年次大会
要旨集 p 58.
- 永山国夫・田中政行 (1992) ベストロジー学会誌
7: 70-72.
- 佐藤邦裕 (1989) 製品原料への異物混入防止対策.
工業技術会, 東京.

解 説

“マツ材線虫病”と環境¹⁾

二井 一禎²⁾

京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻

はじめに

日本各地のアカマツ (*Pinus densiflora*) やクマツ (*P. thunbergii*) の林に激しい被害をもたらしながらその分布域を拡げてきたマツ類の集団枯損病 (正式には“マツ材線虫病”) は、古くから“まつくいむし”という名前で呼ばれてきた。これは、枯れたマツの樹の樹皮下には決まって多数の甲虫類の幼虫が見いだされるため、これら幼虫の食害が枯死の原因と想定されたからである。しかし、これら“まつくいむし”と総称されるカミキリムシ類、ゾウムシ類、キクイムシ類などの穿孔性甲虫類の成虫は決して健全なマツに産卵することはない。また、たとえ強制的に産卵させても卵は浸出してくる樹脂に包まれて死んでしまう。つまり、なんらかの原因でマツが衰弱し、樹脂分泌が停止しないかぎり“まつくいむし”の幼虫は樹皮下での活動を許されないのである。それでは、“まつくいむし”の幼虫の活動にさきだって、マツ樹の衰弱をもたらした真の原因は何か。そのような視点で林業試験場 (現在の森林総合研究所) の特別研究が企画され、調査が始まったのは1968年のことである。この調査の中で病原体としてマツノサイセンチュウ (*Bursaphelenchus lignicolus* 後に *B. xylophilus* と改変) (図1) が発見され (清



図1 菌糸を摂食中のマツノサイセンチュウ。

原・徳重, 1971), 続いて, この病原体を枯死木から健全な樹へと伝播・流行させる媒介者が特定された。それはほかならぬ, “まつくいむし”の一種, マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* :

1) Pine Wilt Disease and its Environmental Aspects.

2) Kazuyoshi Futai (Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan)

図2) という穿孔性甲虫類であった (Mamiya and Enda, 1972).



図2 クロマツの若枝を後食中の媒介者マツノマダラカミキリ (古野原図).

マツノザイセンチュウの特異性

植物に寄生する線虫の種類は多い。これら植物寄生性の線虫による農作物の被害は昆虫による被害にまさるとも劣らないと考えられている。ただ、その主な加害の場が土壌中であり目につきにくいことや、被害植物の地上部に現れる病徴が、萎黄、生長不良といった、どちらかといえば漸進的でありまいなものが多いために、被害の実態の多くは過小評価されがちである。その意味で、木本の、それも高木に育つマツ科の樹木を冒し、感染した樹を急激に枯死に導くマツ材線虫病は線虫病としては例外的なものである。さらに、植物だけを栄養源にして生活するものが多い植物寄生性線虫の中であって、本病の病原体マツノザイセンチュウは植物と菌類の両者を食餌源として成長し、増殖できる変わり者である。なお、このマツノザイセンチュウの仲間には、菌糸をたどって、植物の地上部に適応、寄生するようになったいくつかの線虫が知られているが、いずれも植物寄生性線虫としてはマイナーな一群に属す。ところで、マツノザイセンチュウが菌類を餌として生活できるとい

うこの能力が、マツ材線虫病の感染サイクルの中で大きな意味を帯びてくる。

“マツ枯れ”の発病機作

気管系に多数のマツノザイセンチュウを潜ませたマツノマダラカミキリが枯れたマツ樹から羽化脱出してくるのは、5月末から6月のことである。羽化したてのカミキリムシはまだ生殖器が未発達なため、健全なマツ樹に飛んで行き、その若枝の皮を摂食しなくてはならない(この摂食行動を後食と呼ぶ)。カミキリ体内に潜んでいた線虫は、この時できた傷口から樹体内に侵入し、マツ樹を発病させる。

病原線虫侵入後の発病機作の全てが明らかになったわけではないが、そこで起こる細胞レベルでの変化に基づく仮説 (Futai and Nobuchi, 1992) を紹介しよう。感染部位では柔細胞内に異常な二次代謝産物の蓄積が起こり、液胞の異常発達が観察される (Nobuchi *et al.*, 1984)。やがて液胞の破裂や、核の縮小・変形が起こると、細胞は正常な膜の透過性を失い、その内容物の漏出が観察されるようになる。マツ樹の水の通路である仮導管内に漏出した細胞内容物は、仮導管細胞どうしを連結する微小な壁孔部分の網目構造を目詰まりさせ (Nobuchi *et al.*, 1984 : 図3)、水の流れの中に気泡を発生させる。このため、水の流れは次第に滞るようになり、最終的には萎凋症状を発現するようになる。このような、線虫侵入後比較的短い時間内に見られる細胞生理の異常は、一方で樹脂分泌停止という症状として観察されるようになり、枯死に至る。

マツはこのように異常を発現し、枯死に向かう過程で樹体全体から揮発性のエタノールやテルペン類を周囲に発散させるが、これらガス類は性的に成熟に達したマツノマダラカミキリに産卵に適した樹の位置を知らせ、その樹幹上に産卵を促すことになる。

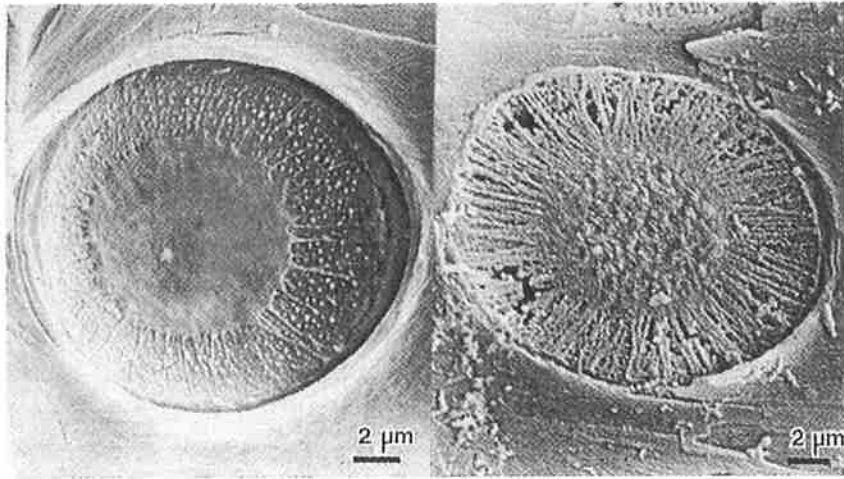


図3 異物により目詰まりを起こした壁孔対の網目(右)と正常な壁孔対(左)
(野淵原図)。

線虫の生活史を制御する菌類

樹体内に侵入した病原線虫は最初、寄主側の抵抗反応もありそれほど容易に殖えることはできないが、やがて樹脂浸出が停止する頃になると爆発的に増殖するようになる。この線虫は樹体侵入当初はマツの樹脂道周囲のエピセリウム細胞などの柔細胞を食餌源にしているが、マツが発病した後は、材内にいち早く侵入してくる青変菌(*Ophiostoma* spp.)などの菌類を餌に増殖するようになる。しかし、異常～枯死木の材内に繁殖するのは必ずしもこの線虫に都合の良い菌ばかりではない(小林ら, 1974, 1975)。線虫が餌として利用できない菌類や、反対に増殖を抑制する微生物が共存することにより、枯死材内の病原線虫の分布や密度が制御されることになる。

樹皮下に産みつけられたマツノマダラカミキリの卵は5～7日で孵化し、1齢幼虫となる。この幼虫は内樹皮を摂食しながら生長し、2回の脱皮を経て3齢幼虫になると、材内に穿入孔を作り始める。4齢幼虫は樹皮下と材の間を往復しながら坑道を穿入孔の位置より上方に掘り進め、やがて9月頃になると坑道の端部にやや広めの蛹室を形成し、この中で越冬する。この坑道や蛹室の周

辺は、適度な湿り気と、カミキリ幼虫の分泌・排泄による有機物の集積により多くの微生物が繁殖する場となっている。そして、このような菌類をもとめて、あるいはカミキリ幼虫に由来する何らかの物質に誘引されて、多くの病原線虫が蛹室の周りに高密度に定着するようになる(真宮, 1972)。

蛹室周辺に集合していた線虫は、過密と餌不足という生息環境の悪化にともない、このような環境に耐えるため身体の内部に貯蔵物質を蓄えた分散型第3期幼虫という特殊ステージになっている(Ishibashi and Kondo, 1977)。さらに、翌春、5月頃にカミキリが蛹になった頃その虫体から生産される何らかの物質が引き金となって、線虫はさらにステージを進め、分散型第4期幼虫(耐久型幼虫)へと脱皮する(Machara and Futai, 1996)。この幼虫は消化系の器官を退化させ、体表を粘性物質で覆われた分散のための特殊ステージで、カミキリ虫体から栄養を取ることはない。カミキリの蛹化期間は20日前後で、羽化後も約1週間材内にとどまるが、この間に蛹室周辺に集まっていた線虫がカミキリの気門からその気管系の奥深くまで侵入するようになる。

ところで、1頭のカミキリが保持している線虫