

イチジクを加害するキボシカミキリの昆虫病原性糸状菌による防除に関する研究

堤, 隆文

<https://doi.org/10.11501/3132438>

出版情報 : 九州大学, 1997, 博士 (農学), 論文博士
バージョン :
権利関係 :

第3章 イチジク圃場におけるキボシカミキリ防除試験

第1章では *Beauveria brongniartii* GSES株のキボシカミキリ成虫に対する病原性、有用昆虫および天敵類に対する安全性を、第2章ではイチジクにおけるキボシカミキリ成虫の発生生態を明らかにした。第3章では1, 2章の結果に基づき圃場における防除試験を行った。*B. brongniartii* は多くのカミキリムシ類に病原性を持つため、キボシカミキリ (河上・島根, 1986; 石々川ら, 1988; 吉井, 1991; 米山・渡辺, 1992; 柴尾・田中, 1993; 松浦ら, 1997), ゴマダラカミキリ (柏尾ら, 1988; 橋元ら1989, 1991, 1992; 堤ら1990), クワカミキリ (堤・山田, 1989, 1990), ブドウトラカミキリ (堤・山田, 1991), スギカミキリ (Shibata and Higuchi, 1988, 1992; Shibata et al., 1991), センノカミキリ (片野田, 1994) などの種に対し、本菌を用いた防除試験が行われている。また、圃場への菌の施用方法として、菌を培養したフスマの地表散布 (河上・島根, 1986; 石々川ら, 1988), 菌培養ウレタンフォームシート (橋元ら, 1989; 堤ら, 1990) または菌培養不織布シート (Shibata and Higuchi, 1988, 1992; Shibata et al., 1991; 吉井, 1991; 米山・渡辺, 1992; 柴尾・田中, 1993; Shimazu, 1994) の樹上つり下げ、主枝バンド処理などが試験されている。しかし、イチジク圃場でのキボシカミキリ防除試験は少なく、本研究以外では柴尾・田中(1993)および松浦ら(1997)の不織布シートを用いた主枝バンド処理試験の報告があるにすぎない。第3章ではイチジクでは不適と考えられるフスマの地表散布を除き、ウレタンフォームシートまたは不織布シートの圃場における効果を検討した。

第1節 菌の施用形態と殺虫効果

昆虫病原性糸状菌を施用する最も普通の方法は分生子浮遊液の散布である。しかし、糸状菌の分生子は日光の直射を2~3時間受けると不活化することが知られており、散布された浮遊液中の分生子も野外では短期間に不活化するものと考えられる。菌の活性を持続させる方法としてフスマ培地で菌を培養し、培地ごと圃場に施用する方法がある (河上・島根, 1986)。その後、フスマより長い殺虫

活性の維持を目的とした菌培養資材としてウレタンフォームシート（柏尾・氏家，1988）および不織布シート（樋口ら，1993）が開発された。第1節ではこれらの資材で培養した菌のキボシカミキリ成虫に対する殺虫効果を分生子浮遊液と比較する。

1. 分生子浮遊液の効果

材料と方法

キボシカミキリ成虫に対する病原性が *B. brongniartii* GSES株とほぼ同程度である *B. brongniartii* SES879株（第1章）を供試した。供試株は酵母エキス加用サブロー培地を用いて3日間、25℃で振とう培養後、同寒天培地上で10日間培養した。得られた分生子を滅菌水（Tween 20，0.05%添加）に浮遊し2分間超音波洗浄器にかけて分生子の拡散を行い分生子浮遊液を作成した。浮遊液中の生存分生子数の算出は第1章の試験に準じて実施した。

キボシカミキリは、福岡県志摩町のイチジク圃場で1988年6月30日に採集した成虫を供試した。供試虫は福岡県筑紫野市の福岡農総試の野外網ケージでイチジクの新梢を与えて飼育した。

1988年7月4日、網ケージ（1×1×1.2m）内のイチジク幼木に生存分生子数 1.4×10^7 /mlに調製した分生子浮遊液を葉から液が滴り落ちるまで散布した。散布1日および15日後にキボシカミキリ成虫を10頭放飼し、48時間後に回収した。成虫はイチジクの新梢を餌として与え、塩化ビニル製カップ（径12cm，高さ9.5cm）で25℃，自然日長で飼育し，接種後約30日間，2～3日間隔で生死を観察した。

結果と考察

散布後1日目の分生子浮遊液は，1ml当りの分生子数がほぼ同数の浮遊液への虫体浸漬処理（第1章）と同等の高い殺虫効果を示した（表9）。放飼虫は放飼10日後までは死亡しなかったものの，11～15日後の間に80%が死亡し，34日後

表9 *Beauveria brongniartii* 分生子浮遊液を散布したイチジク幼木に
放飼したキボシカミキリ成虫の死亡率

処理	成虫放飼日 (処理後日数)	供試 虫数	死亡虫数			累積純 死亡率 (%) ¹⁾
			放飼～10日	11～15日	16～34日	
浮遊液 散布	1	10	0	8	1	90
	15	10	1	0	0	0
無処理	1	10	0	0	0	0
	15	10	1	0	0	0

1) 表1に同じ。

までの累積死亡率は90%に達した。死亡虫は湿室に置くと糸状菌による病死虫の特徴的症狀である菌糸の叢生がみられた。これに対し、散布15日後の放飼虫は1頭死亡したが菌糸の叢生はみられなかった。

2. 菌を培養したウレタンフォームシートの効果

材料と方法

菌培養ウレタンフォームシートは、昆虫病原菌培養用の培地を混入後発泡成型させ *B. brongniartii* GSES株を培養したものである（日東電工より分与）。実験に用いたシートはイチジク圃場に暴露後回収したものを使用した。回収シートは Tween 20を0.05%添加した滅菌水500mlとともに電気ミキサーで粉碎し二重ガーゼでろ過後、超音波洗浄器で10分間処理し、分生子の拡散を行い浮遊液を作成した。浮遊液は、血球計算盤(Thoma, 1/400)で 1ml当たりの分生子数を計数し、シート 1cm²当たりの分生子数を算出した。キボシカミキリは、人工飼料（島根・河上, 1985）を用い25℃で飼育した成虫（7～14日齢）を供試した。供試虫は、羽化後イチジク新梢を与えて25℃で個体飼育した。供試虫を菌培養シートの一部（3×2 cm）を収容した塩化ビニルカップ（径12cm, 高さ9.5cm）内に放飼し、48時間後に回収した。供試後、キボシカミキリは供試前と同条件で30日間飼育し、死亡状況を調査した。

結果と考察

分生子数 1.2×10^8 /cm²および 7.0×10^7 /cm²のウレタンフォームシートと接触したキボシカミキリ成虫は全個体が10日以内に病死し、高い殺虫効果を示した（表10）。前節で行った 1.4×10^7 /mlの分生子浮遊液の散布も90%が死亡し高い効果があったが、感染から病死までに要する日数はウレタンフォームシートの方が短く、虫体に付着した分生子数が多かったことが示唆された。これらのことから、ウレタンフォームシートは分生子数が 10^7 /cm²以上あればキボシカミキリ成虫に高い殺

表10 菌培養ウレタンフォームシートと接触したキボシカミキリ成虫の死亡率

処理	シート上の 分生子数 (/cm ²)	供試 虫数	死亡虫数			累積純 死亡率 (%) ¹⁾
			処理～10日	11～20日	21～30日	
48時間 接触	1.2×10 ⁸	5	5	—	—	100
	7.0×10 ⁷	5	5	—	—	100
無処理	—	10	0	0	0	0

1) 表1に同じ。

虫効果を發揮するものと考えられた。

3. 菌を培養した不織布シートの効果

1) 不織布シート上を歩行したキボシカミキリ成虫の分生子付着数

材料および方法

キボシカミキリは愛媛県大洲市の桑園で採集した成虫を1処理あたり雌雄各10頭供試した。供試虫は採集直後から供試まで23℃の実験室内でイチジク新梢を餌とし、塩化ビニルカップ（径12cm, 高さ9.5cm）で個体飼育した。

不織布シートは、野外圃場に暴露後回収したものの中から外観上分生子の残存数が異なるとみられる3本を選び、前述の方法で生存分生子数を調査した後に供試した。

適当な長さに切断した不織布シートを直径30cmのガラスシャーレ底面に並べ、成虫を1頭放飼し、シート上を60秒間歩行させた。歩行後の成虫は、Tween 20を0.05%添加した滅菌水20mlを入れた容量30mlのプラスチック製サンプル瓶に1頭ごと收容し、2分間超音波洗浄器にかけて虫体に付着した分生子の滅菌水中への遊離を図った。処理後、成虫を取り出し、残液中の分生子数を血球計算盤を用いて算出した。なお、残液中の分生子数が少ない場合は寒天濃縮法(梅本ら, 1989)により濃縮後、算出を行った。

結果と考察

供試した不織布シート上の分生子数はそれぞれ、 $1.1 \times 10^8/\text{cm}^2$ 、 $5.7 \times 10^6/\text{cm}^2$ 、 $3.4 \times 10^5/\text{cm}^2$ であった。 $1.1 \times 10^8/\text{cm}^2$ のシートを歩行した成虫の観察では触角、口器、脚および腹部に白色の分生子塊が認められた。シートを歩行した成虫への分生子の付着数は個体間の差異が大きかったが、不織布シート上の分生子数が $10^8/\text{cm}^2$ の場合、約 10^7 /頭で、雌雄および接触時間による差はなかった(表11)。

表11 菌培養不織布シートを歩行したキボシカミキリ成虫に
付着した分生子

シート上の 分生子数 (/cm ²)	歩行 時間 (秒)	性	供試 虫数	分生子 付着数 (/頭)
1.1 × 10 ⁸	5	♂	10	(1.1 ± 0.47) × 10 ⁷
		♀	10	(0.9 ± 0.60) × 10 ⁷
5.7 × 10 ⁶	60	♂	10	(1.8 ± 0.77) × 10 ⁷
		♀	10	(1.6 ± 0.54) × 10 ⁷
3.4 × 10 ⁵	60	♂	10	(0.7 ± 0.71) × 10 ⁵
		♀	10	(2.2 ± 2.10) × 10 ⁵
3.4 × 10 ⁵	60	♂	10	(4.3 ± 2.22) × 10 ⁴
		♀	10	(6.0 ± 6.05) × 10 ⁴

また、 $10^6/\text{cm}^2$ および $10^5/\text{cm}^2$ の不織布シートの場合、それぞれ約 10^5 および 10^4 /頭であった。

2) 不織布シート上の生存分生子数と感染率

材料および方法

キボシカミキリは前試験と同じく愛媛県大洲市で採集した成虫を用いた。供試までの飼育条件も同じであった。不織布シートも同様に、野外圃場に暴露後回収したものの中から選んで供試した。供試後、前述の方法でシートの生存分生子数を調査した。

適当な長さに切断した不織布シートを直径30cmのガラスシャーレ底面に並べ、成虫を1頭放飼し、シート上を5秒または60秒間歩行させた後ピンセットを用いて回収した。また、5cm×5cmに切断した不織布シートを塩化ビニルカップ（径12cm、高さ9.5cm）に収容し、キボシカミキリ成虫を1頭放飼した。2時間または48時間後に成虫を回収し、供試前と同様に個体飼育した。なお、回収用のピンセットは先端を滅菌したものと1頭ごとに取り替えた。

結果と考察

供試した不織布シート上の生存分生子数はそれぞれ、 $5.0 \times 10^7/\text{cm}^2$ 、 $1.6 \times 10^7/\text{cm}^2$ 、 $2.5 \times 10^6/\text{cm}^2$ であった。不織布シート上の生存分生子数が $1.6 \times 10^7/\text{cm}^2$ 以上であれば、5秒間の歩行によっても、成虫は感染後約10日で高率に死亡した（表12）。生存分生子数が $2.5 \times 10^6/\text{cm}^2$ に減少した不織布シートの場合は、総死亡率に差はなかったものの、感染から致死までの期間が約25日間と有意に遅延した。また、シートとの接触時間を48時間まで延ばしても致死までの期間は短縮せず、分生子のキボシカミキリ虫体への付着数は増加しなかったものと思われる（表13）。

表12 菌培養不織布シート上を歩行したキボシカミキリ成虫の死亡率

処 理	シート上の 分生子数 (/cm ²)	歩行 時間 (秒)	供試 虫数	総死亡 率(%)	純死亡 率(%) ¹⁾	死亡までの 日数 (平均±S. D.)
歩行	5.0×10 ⁷	60	20	100	40	11±1.9
		5	20	90	45	12±2.3
無処理	—	—	20	0	0	—
歩行	1.6×10 ⁷	60	20	100	80	9±1.0
		5	19	100	63	10±1.1
無処理	—	—	20	0	0	—
歩行	2.5×10 ⁶	60	20	85	35	23±7.7
		5	20	85	25	26±5.5
無処理	—	—	20	5	0	20

1) 表1に同じ。

表13 菌培養不織布シートと長時間接触したキボシカミキリ成虫の死亡率

処 理	シート上の 分生子数 (/cm ²)	接触 時間 (秒)	供試 虫数	総死亡 率(%)	純死亡 率(%) ¹⁾	死亡までの 日数 (平均±S. D.)
接触	1.6×10 ⁷	48	19	100	78	9±1.2
		2	19	100	74	10±3.3
無処理	—	—	20	0	0	—
接触	2.5×10 ⁶	48	20	100	30	22±14.6
		2	20	95	35	24±6.1
無処理	—	—	20	5	0	20

1)表1に同じ。

不織布シート上の生存分生子数とキボシカミキリ成虫の感染の関係について樋口ら(1993)は、シート上の生存分生子数が $10^7/\text{cm}^2$ 以下に減少すると殺虫活性が急激に低下することを報告している。しかし、本研究において、キボシカミキリ成虫は生存分生子数 $2.5 \times 10^6/\text{cm}^2$ の不織布シート上を歩行した場合でも高率に死亡し、樋口ら(1993)の結果と異なった。この結果の差異は、樋口ら(1993)が死後虫体に菌糸を叢生させた個体のみを病死虫として取り扱っているのに対し、本研究では無処理区の成虫の死亡状況から、死後虫体に菌糸を叢生しなかった個体も本菌による死亡として評価したことが原因と考えられる。本菌による死亡虫は必ずしも虫体に菌糸を叢生しない場合があるため、樋口ら(1993)は、不織布シートの殺虫活性を実際より低く評価している可能性がある。

キボシカミキリ成虫はイチジク樹上を迅速に歩行する。成虫が不織布シートと長時間接触することは稀であろうと予測される。したがって、感染は極めて短時間の接触で起こらなければならない。本実験では、生存分生子数 2.5×10^6 個/ cm^2 以上の不織布シート上を5秒間歩行した成虫は高率に死亡した。このことは、実際のキボシカミキリ成虫防除を考えた場合、成虫が頻繁に歩行する部位に不織布シートを施用することにより高い殺虫効果が期待できることを示唆している。

第2節 菌培養ウレタンフォームシートの圃場施用試験

前節の試験において菌培養ウレタンフォームシートはキボシカミキリ成虫に対する高い殺虫活性があり、圃場でも長期間活性を維持しているものと推測された。本節ではイチジク圃場に施用したウレタンフォームシート上の分生子数の推移およびシート施用圃場における成虫の感染率を明らかにするため圃場試験を行った。

材料と方法

福岡県京都郡豊津町のイチジク露地圃場(面積, 25a; 品種, 蓬莱柿; 樹齢, 11年生; 植栽樹数97本)の内の10a(35樹)で試験を行った。キボシカミキリ成虫発生初期である1990年6月3日、菌を培養したウレタンフォームシート(5×30×

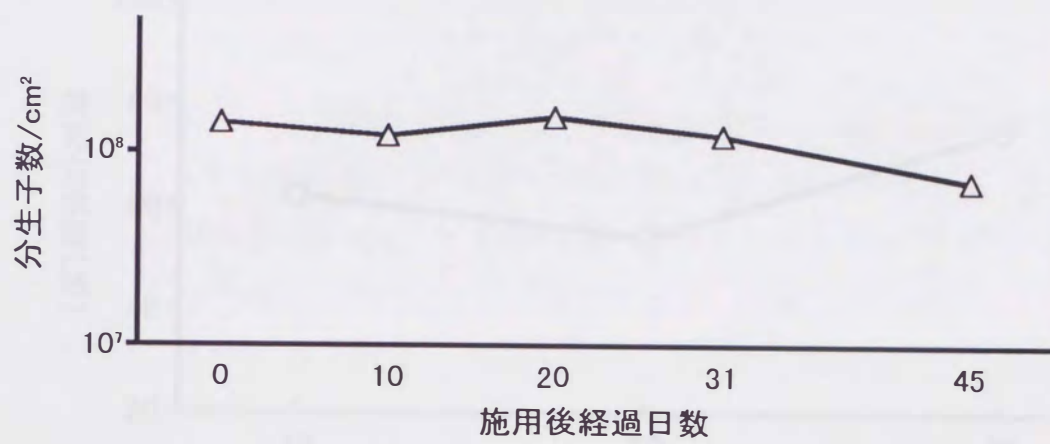


図14 圃場に施用したウレタンフォームシート上の分子子数

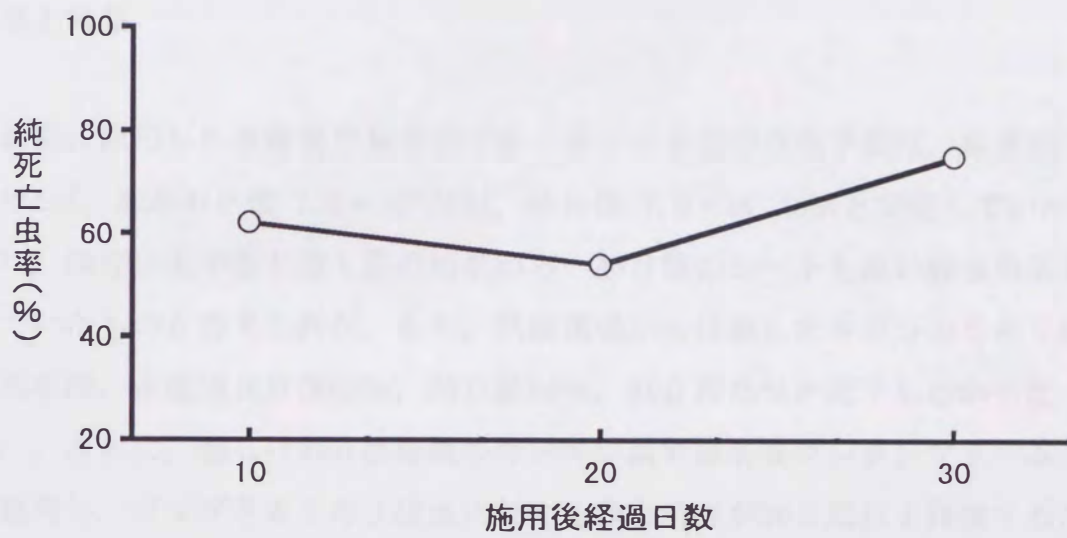


図15 ウレタンフォームシート施用圃場で採集した成虫の死亡率

500mm) を1樹当たり2本、主枝に施用した。菌施用10, 20, 31日後に試験圃場からキボシカミキリ成虫を採集し、イチジク新梢を餌に25°Cで30日間個体飼育して死亡状況を調査した。この間死亡した個体のうち、硬化死したものおよび虫体に菌糸を叢生したものを病死虫として数えた。また、成虫の採集時および菌施用後45日目に、圃場に施用したウレタンフォームシートから任意に5本を選び、その一部(3×2cm)を切り取って持ち帰り、前述の方法で生存分生子数を算出した。

結果と考察

圃場に施用した菌培養ウレタンフォームシート上の分生子数は、施用前 $1.4 \times 10^8/\text{cm}^2$ 、施用31日後 $1.2 \times 10^8/\text{cm}^2$ 、45日後 $7.0 \times 10^7/\text{cm}^2$ と安定していた(図14)。残存分生子数と第1節の結果から、45日後のシートも高い殺虫効果を維持していたものと考えられた。また、試験圃場から採集したキボシカミキリ成虫の病死率は、菌施用10日後62%、20日後54%、31日後75%と低下しなかった(図15)。さらに、堤ら(1990)は複数のカンキツ園で菌培養ウレタンフォームシートを施用し、ゴマダラカミキリ成虫に対する殺虫活性が30日間以上持続することを報告している。以上のことから菌培養ウレタンフォームシートはイチジク圃場において長期間の効果が期待できるものと考えられた。

第3節 菌培養不織布シートの圃場施用試験

第2節で述べたように、菌培養ウレタンフォームシートはイチジク圃場において長期間の効果が期待できるものと考えられた。しかし、ウレタンフォームシートは製造コストが高く、しかも、圃場では分解しないため施用したシートを回収する必要もあり、実用性に問題があった。そこで、より低コストで自然分解性の天然パルプ繊維を主体とした不織布シートが開発された(樋口ら, 1993)。菌を培養した不織布シートは室内試験でキボシカミキリ成虫に高い殺虫活性を示した(第1節)。本節では、イチジク樹上におけるキボシカミキリ成虫の生息部位

(第2章) から菌を施用すれば感染が起こりやすいであろうと推測された主幹部または樹冠部へ菌培養不織布シートを施用し、圃場における効果を明らかにする。

1. 不織布シートの主幹部バンド処理試験

材料と方法

福岡県行橋市、京都郡豊津町および犀川町のイチジク圃場(面積はそれぞれ10a~30a)に、調製後5°Cで保存した未使用の不織布シートを1992年6月5日に施用した。10a当たり50本のシートを主幹部に巻き付け、両端をステープラーで止めた(写真1)。なお、試験圃場間のキボシカミキリ成虫の移動が試験結果に影響をおよぼすことがないように、各圃場は互いに直線距離で2km以上離れているものを選んだ。各試験圃場からは、不織布シート施用後3回、約10日間隔で、1回当たり20~30頭の成虫を採集し、個体飼育を行った。なお、飼育中に死亡した成虫は菌糸の叢生の有無を記録し、菌糸を叢生した個体のみでの死亡率(純死亡率)と総死亡率を算出した。また、成虫採集時に不織布シート上の分生子数を調査した。任意に選んだ圃場内の5カ所からシートの一部(5cm×5cm)を回収し、回収したシート片は各圃場ごとにまとめてTween 20を0.05%添加した滅菌水500mlと共に電気ミキサーで1分間粉碎し、テトロンゴースでろ過した。ろ液は2分間超音波処理を行い、分生子を拡散させた。分生子浮遊液は血球計算盤(Thoma, 1/400mm)を用いて1ml当たりのみかけの分生子を計数後、デジタルピペットを用いて0.75mlを直径9cmのプラスチックシャーレ内の素寒天培地上(寒天2%)に塗布し、25°C、48時間培養後、約200個の分生子について光学顕微鏡下で発芽の有無を調査した。発芽管長が分生子短径の1/2以上進展したものを正常発芽とみなし、正常発芽率と培養前のみかけの分生子数から生存分生子数を算出した。

結果と考察

施用10日後採集虫の総死亡率は $84 \pm 1.9\%$ 、純死亡率は $77 \pm 3.6\%$ と高かった。



写真1 主幹部にバンド処理した菌培養不織布シート

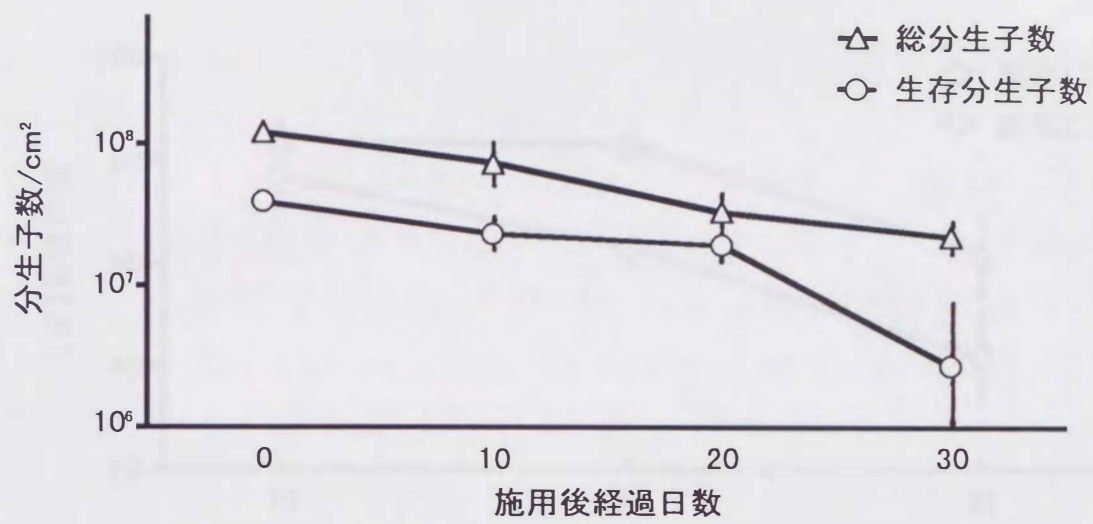


図16 圃場に施用した不織布シート上の分生子数
 図中の縦線はS. D. を表す。

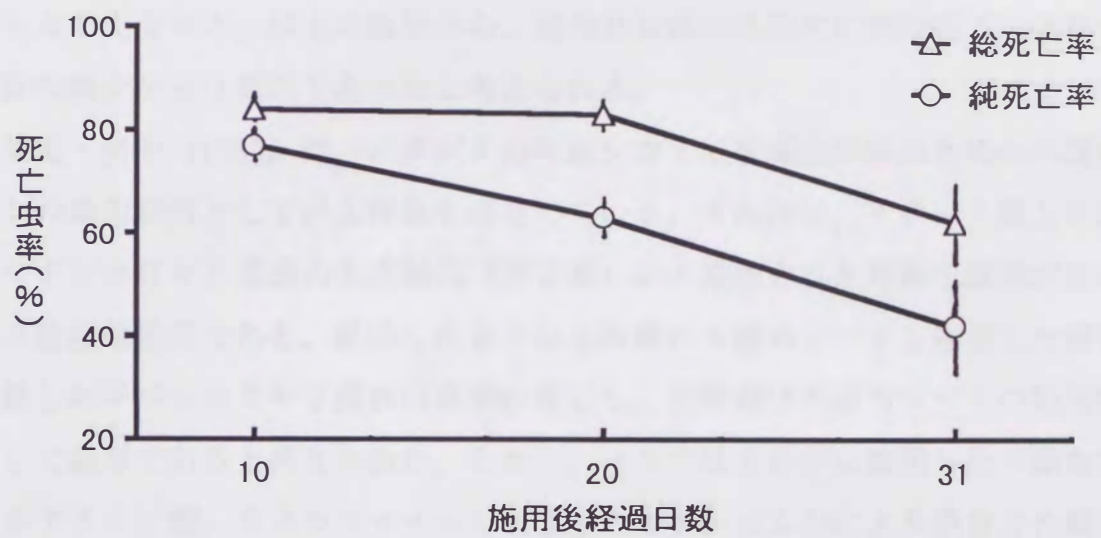


図17 不織布シート施用圃場で採集した成虫の死亡率
 図中の縦線はS. D. を表す。

20日後の総死亡率は $83 \pm 3.4\%$ ，純死亡率は 63% であった。31日後には総死亡率は $62 \pm 7.6\%$ ，純死亡率は $42 \pm 10.7\%$ とやや低下し，純死亡率の標準偏差が大きくなった（図17）。

施用直前の不織布シート上の分生子数は，みかけ上で 1.2×10^8 個/cm²，生存数で 3.9×10^7 個/cm²であった。不織布シート上のみかけの分生子数は徐々に減少したものの，31日後においても 10^7 個/cm²以上の分生子が認められた。生存分生子数は施用20日後までほとんど減少しなかったが，31日目には分生子の生存率が低下したため 10^6 個/cm²に減少した（図16）。また，シート上の生存分生子数の圃場間差も大きくなった。以上の結果から，施用31日後の成虫死亡率の低下は生存分生子数の減少が主な原因であったと考えられる。

柴尾・田中（1993）は，イチジクのキボシカミキリ成虫防除のための不織布シートの施用場所としては主幹部を選定している。主幹部は，イチジク樹上におけるキボシカミキリ成虫の生息部位（第2章）から推測された高率の感染が見込まれる菌施用場所である。前述したように主幹部に不織布シートを施用した圃場で採集したキボシカミキリ成虫は高率に死亡し，主幹部は不織布シートの施用部位として適当であると考えられた。しかし，一方では主幹部に施用した不織布シートがナメクジ類，ウスカワマイマイおよびオカダンゴムシにより摂食され殺虫活性が著しく低下した例があり（堤，未発表），この点は今後の残された問題である。

野外圃場における不織布シートの殺虫活性の維持期間について，柴尾・田中（1993）は野外イチジク樹に施用した不織布シートの殺虫活性が施用後約1ヶ月で消失したことを報告している。しかし，吉井（1991）は桑園において，不織布シート施用35日後に採集したキボシカミキリも菌に感染していたことを報告している。また，橋元ら（1991）は野外圃場のウンシュウミカンに施用後回収した不織布シートとゴマダラカミキリ成虫を塩化ビニル製カップ内で24時間接触させ，シートの殺虫活性の検定を行った結果，施用20日後のシートとの接触では 100% ，35日後では 50% の病死虫率を得ている。本研究において，野外圃場のイチジク樹の主幹部に施用した不織布シート上の生存分生子数は施用20日後まで 10^7 /cm²以上であり，

高い殺虫活性を維持していたものと考えられた。これは、この間に圃場で採集した成虫が高率に感染していたことから推察される。また、施用31日後においても不織布シート上には 10^6 個/cm²の生存分生子が存在し、不織布シート上の歩行による感染試験の結果からは、シートの殺虫活性が維持されているものと考えられた。それは、同日に採集した成虫の総死亡率62%、純死亡率42%であったことから推測される。しかし、各調査時の総死亡率および純死亡率の標準偏差から、31日後は殺虫活性の圃場間差が大きくなっており、施用後約1カ月経過すると圃場条件によっては殺虫効果が大きく低下する場合があることを示している。このことが柴尾・田中(1993)と吉井(1991)および橋元ら(1991)との結果の差異の原因のひとつとなっているものと考えられる。したがって、樹幹部に施用した不織布シートの殺虫活性は、施用後約1ヶ月で不安定化するものと思われる。

2. 不織布シートの新梢吊り下げ処理試験

材料と方法

福岡県志摩町の野外イチジク圃場 5a (一文字整枝の柵井ドーフィン13年生) においてイチジクの新梢上に紙製トレイ (直径23cm) で遮光した不織布シート (写真2) を各樹1本 (10a当たり100本) 吊り下げた。施用には新梢を誘引するため樹上に張り巡らされている針金を利用し、下端部が新梢と接触しないよう主枝から50cm以上離して設置した。1992年6月16日に施用し、施用10日後、22日および31日後の3回、圃場内のキボシカミキリ成虫を採集した。成虫は前述の塩化ビニル製カップで23℃、自然日長で30日間飼育し、原則として毎日死亡状況を観察した。なお、死亡虫は虫体上の菌糸の叢生の有無を記録し、純死亡率と総死亡率を算出した。また、前試験と同様に不織布シート上の分生子数の推移を約10日間隔で5回調査した。



写真2 新梢上に吊り下げ処理した菌培養不織布シート

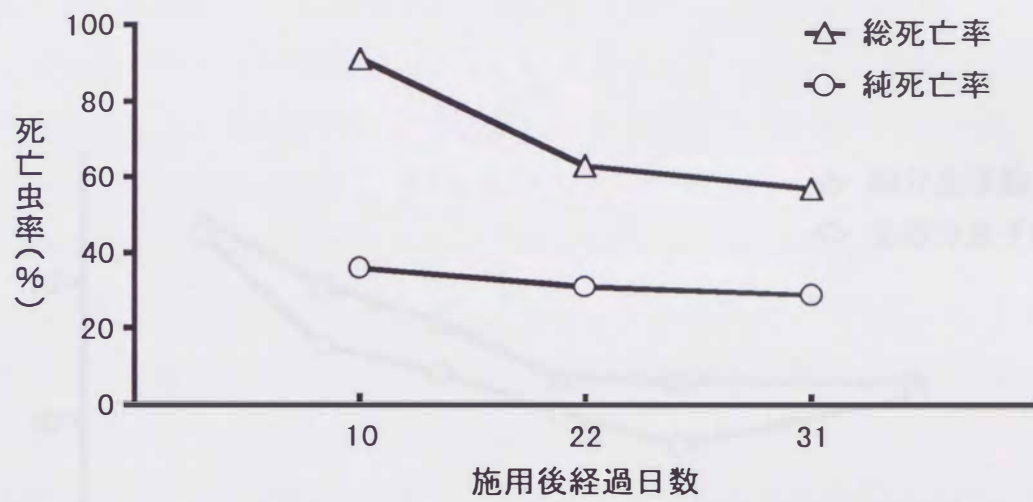


図18 不織布シート吊り下げ施用圃場で採集した成虫の死亡率

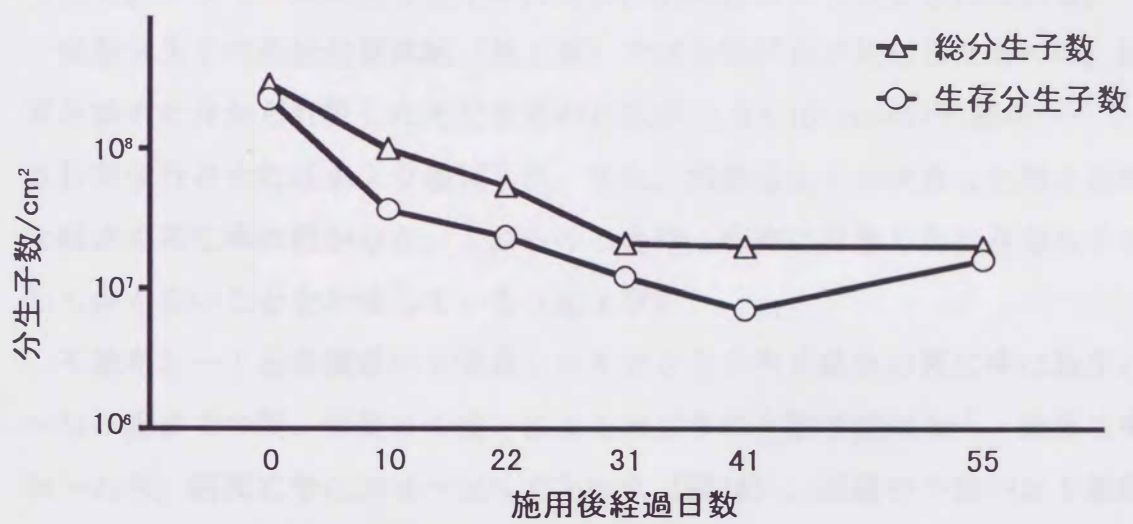


図19 圃場に吊り下げ施用した不織布シート上の分生子数

結果と考察

フトカミキリ亜科 (Lamiinae) のカミキリムシは、羽化後体の発育や性成熟のため植物体の一部を摂食して栄養を補給する習性があることが知られている (Linsley, 1959)。同亜科に属するキボシカミキリは羽化直後からイチジク樹の葉を後食するため不織布シートを施用した新梢に集まる習性がある (第2章)。さらに、キボシカミキリ成虫の行動には日周性があり、日没前から夜間にかけては交尾や産卵行動のため主幹部で多くみられるが日中は葉上で活動することが多い (第2章)。以上のことから、不織布シートを吊り下げた圃場では、キボシカミキリ成虫がシートと直接接触することは少なく、多くの場合は新梢で後食などの活動を行ううちに虫体に分生子が付着し、病死に至るものと考えられる。

飛散分生子の直接付着試験 (第1章) では全供試虫が死亡したものの、隔離飼育を始めた日から計算した死亡までの日数が $1.6 \times 10^7/\text{cm}^2$ の不織布シート上を5秒間歩行させた成虫より遅延した。また、飛散分生子が付着した葉と接触させた成虫の死亡率は低かった。これらのことは、虫体に付着した生存分生子が必ずしも多くないことを示唆している (第1章)。

不織布シート施用圃場から採集したキボシカミキリ成虫の死亡率は施用10日後～31日後までの間、採集日の違いによる死亡率に有意な差はなく、総死亡率は57%～91%、純死亡率は29%～36%であった (図18)。前述の主枝バンド処理における死亡率と比較すると、純死亡率はやや低かったものの、総死亡率は大差なかった。

施用前の不織布シートの全分生子数は $2.8 \times 10^8/\text{cm}^2$ であった。このうち、生存分生子数は $2.2 \times 10^8/\text{cm}^2$ であった。全分生子数は施用30日後に施用前の約1/10に減少したものの、施用55日後においても $10^7/\text{cm}^2$ 以上を維持した (図19)。生存分生子数は施用10日後で $3.6 \times 10^7/\text{cm}^2$ に低下したものの、その後の減少は少なく施用55日後においても $10^7/\text{cm}^2$ 以上を維持した。

分生子が不活化する原因の一つに紫外線の影響がある (Inglis et al., 1995)。しかし、主幹部に巻き付けた不織布シートに比べて吊り下げ施用したシートの方

が紫外線の影響が少ないとは考えにくい。吊り下げ施用したシート上には55日目においても $10^7/cm^2$ 以上の生存分生子が存在した原因の一つは、不織布シートの特性、すなわち、シートは培地が浸含されているため、乾燥と湿潤を繰り返すことにより分生子を再生産する機能を有する（樋口ら、1993）ことに起因するものと思われる。シートを施用した6月は梅雨期に当たり雨が多い時期である。吊り下げ施用した不織布シートは主幹部にバンド処理したシートに比べ降雨後の乾燥が早いので培地の消耗が少なく、分生子再生産機能が長く維持されたためであろうと考えられた。また、これまでに行われた不織布シートによるイチジクのキボシカミキリ成虫の防除試験において、主幹部に施用したシート上の菌がナメクジ類、ウスカワマイマイおよびオカダンゴムシに摂食され菌量が減少した結果、その後の感染率が低下した事例がみられた。試験圃場の地表や主幹部には多くのナメクジ類がみられたが、吊り下げた不織布シートではナメクジ類などによる食害痕は観察されなかった。不織布シートを吊り下げて施用することによりこれらの生物による摂食を回避することができたことも大きな要因であると思われる。

以上のように、不織布シート吊り下げ施用は主幹部への巻き付け施用と比較して、キボシカミキリへ付着する分生子数が少ないため、感染から死亡までの期間が遅延する。施用圃場で採集した成虫の純死亡率が低いなどの問題点がある。しかし、シートの分生子再生産機能が長く維持される。ナメクジ類、ウスカワマイマイおよびオカダンゴムシによる菌の摂食が起こらないなどの利点があるため、感染力維持期間が長くなる可能性がある。

第4節 菌培養不織布シートの広域施用試験

野外イチジク圃場ではキボシカミキリ成虫の移出入が活発であった（第2章）。そのため、一圃場への施用試験では殺虫効果を低く評価している可能性がある。そこで、移出入による攪乱を避けるため菌培養不織布シートを広域に施用して殺虫効果を検討した。

材料と方法

福岡県行橋市の稗田地区において、約60haの範囲に点在する13カ所のイチジク圃場（延べ60a）に10a当たり50本の不織布シートを施用した（図20）。シートは1993年6月3日（成虫羽化初期）および、施用後約1カ月経過した7月6日の2回、イチジクの主幹部にバンド処理した。広域施用区内の圃場で6月18日から8月18日まで約5～10日間隔で不織布シートおよびキボシカミキリ成虫を採集し、前試験と同様にシート上の生存分生子数と採集虫の死亡状況を調査した。

結果と考察

6月3日に施用した不織布シートの生存分生子数は $2.1 \times 10^8/\text{cm}^2$ であった。施用20日後までは $10^7/\text{cm}^2$ 以上の生存分生子が認められ、30日後においても $10^6/\text{cm}^2$ を維持していた（図21）。しかし、不織布シート施用圃場から採集した成虫の死亡率は低く、施用後15日目の採集虫の総死亡率は55%にとどまり、30日目には20%まで低下した（図22）。この原因は分生子数の減少ではなく、施用時および翌日の強い風雨により、不織布シートの多くが樹上から脱落したことによると考えられた。7月6日に施用したシートの生存分生子数は $3.1 \times 10^8/\text{cm}^2$ であった。施用後20日目までは $10^7/\text{cm}^2$ 以上の生存分生子が認められたが、30日目には $10^6/\text{cm}^2$ に減少した。さらに、40日目には $10^4/\text{cm}^2$ に減少し殺虫活性は著しく低下したものと思われた。施用圃場から採集した成虫の総死亡率は、施用後22日目の採集虫で80%、32日目以降はやや低下したが43日目においても50%が死亡した。この死亡率は、広域施用しなかった第3節の試験とほぼ同等であった。設計段階においては、菌施用地域が約60haと広い上に最も近接した多発生圃場とも約500m離れており、周囲には他の多発圃場は無いため、菌施用地域内でみられる成虫の多くはこの中で羽化したものになり、感染率が高まると考えられていた。しかし、予想に反し感染率は向上しなかった。この原因として、①イチジク圃場以外でのキボシカミキリの発生量が多かった。②キボシカミキリ成虫の移動距離が予想をはるかに上回り、遠方の圃場から飛来した。と考えられた。キボシカミキリ幼虫

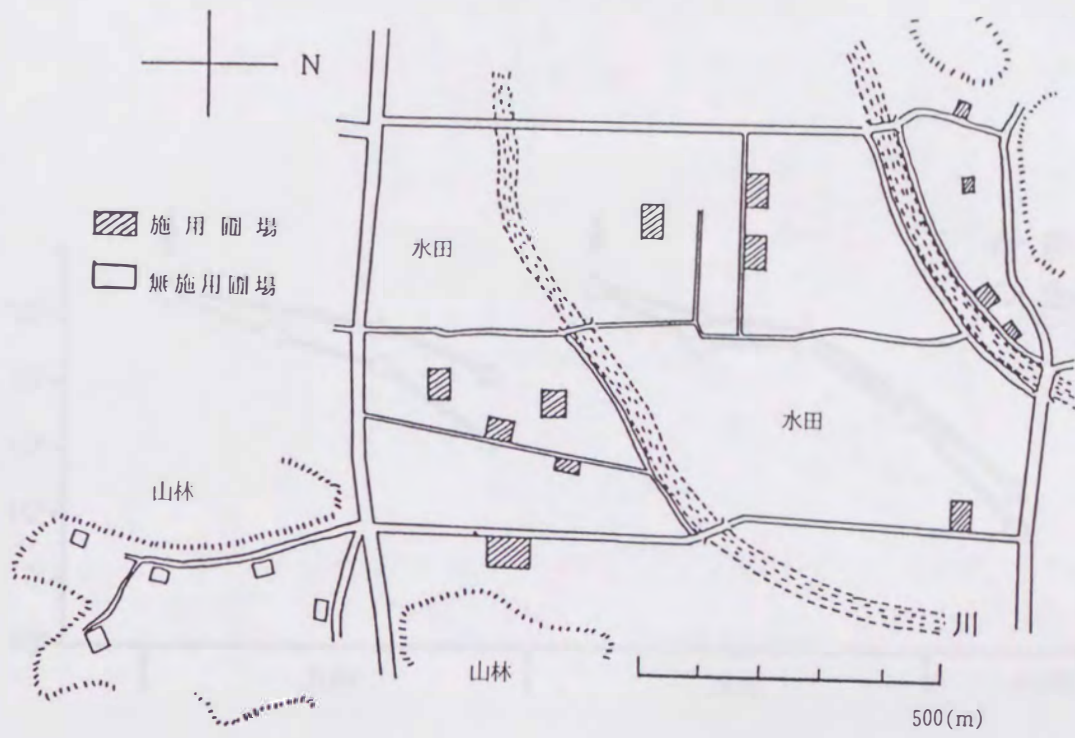


図 不織布シートの広域施用状況

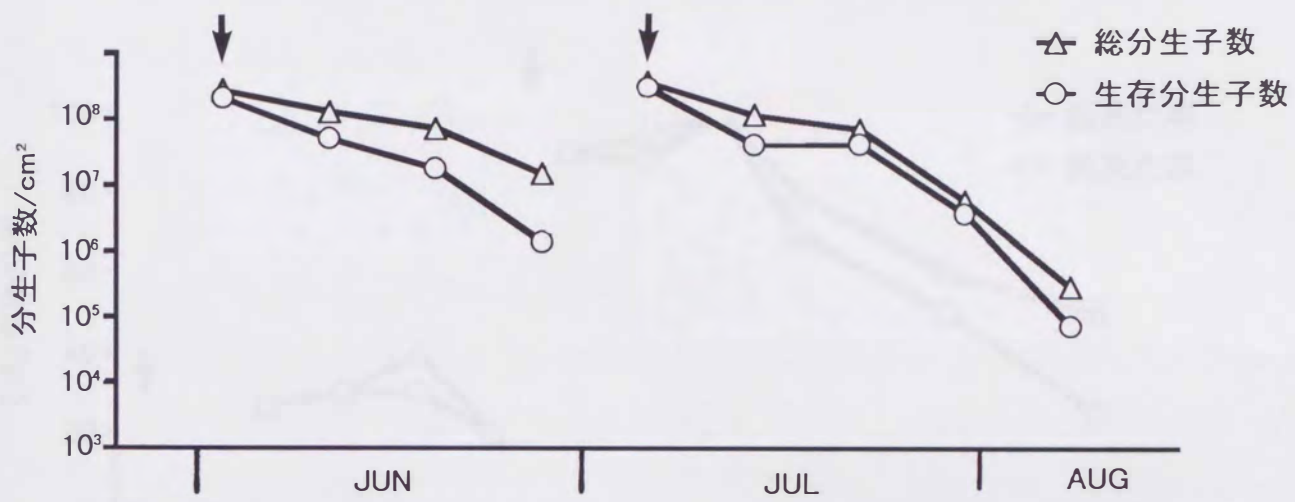


図 広域施用した不織布シート上の分生子数
↓ は不織布シートの施用を示す

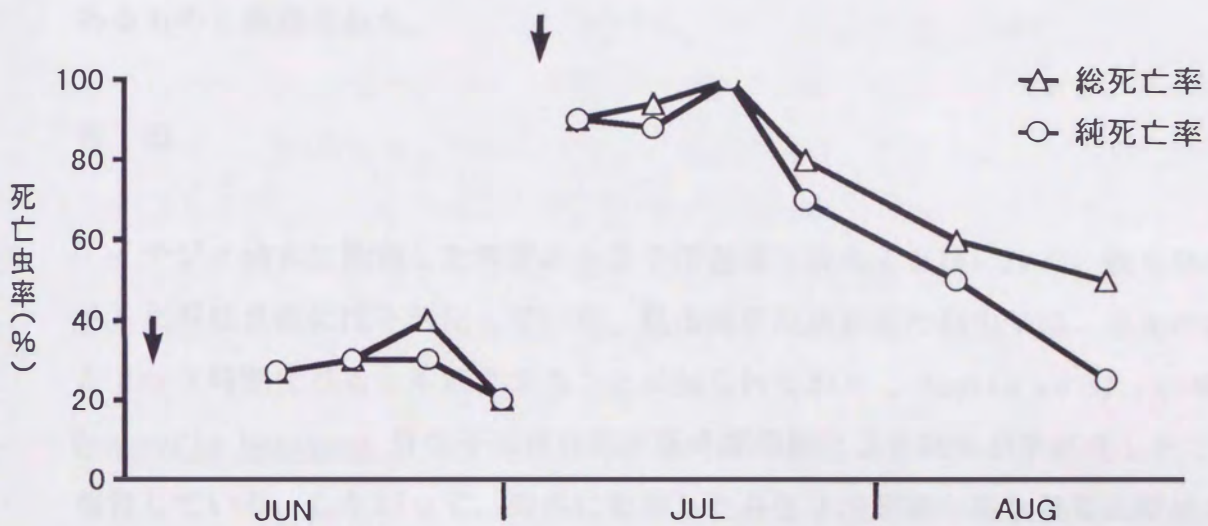


図 不織布シートを広域施用した地域で採集したキボシカミキリ成虫の死亡率
 ↓ は不織布シートの施用を示す

の食樹はイチジク以外にクワ類，コウゾ，イヌビワ，ミカン類，ヤツデ，カクレミノ，クサギなどが知られている（小島・中村，1986）が，試験地域内にはイチジク以外の食樹はほとんど見当たらなかったのも①の可能性は低い。したがって，②の可能性が高く，このことは以下の事象からも推察される。①菌施用地域から約500m離れた圃場において施用菌によると思われる病死虫が認められている（堤，未発表）。②キボシカミキリは苗による移動の可能性がないにも関わらず，周辺1 km以内にはイチジクがない犀川町の圃場で多発していた（第3節の供試圃場の一つ）。以上のことから，移入虫による効果の攪乱を避けるには周囲数km以内にイチジクがない圃場を選ぶか，周囲数km以内の全発生圃場に菌を施用する必要があるものと推測された。

考 察

イチジク幼木に散布した本菌の分生子浮遊液は散布1日後には高い殺虫効果を示したが15日後には不活化していた。昆虫病原性糸状菌の分生子は，日光の直射を2～3時間受けると不活化することが知られており，Ingris et al., (1995)は，*Beauveria bassiana* 分生子は15分間の紫外線照射により96%が不活化したことを報告している。したがって，野外に散布した分生子浮遊液の殺虫効果の持続は長くとも数日間であると考えられる。また，殺虫剤のDMTP乳剤は，ゴマダラカミキリに対し高い活性があるが，同剤の圃場での残効期間は短い。Komazaki and Sakagami (1989) および Adachi (1990)は，DMTP乳剤を散布したカンキツ園のゴマダラカミキリの個体群動態を調査し，DMTP乳剤の散布は個体群の生存率にほとんど影響を与えないことを報告している。ゴマダラカミキリ同様羽化期間が長いキボシカミキリでは，残効の短い分生子浮遊液の散布では圃場の成虫個体群の生存率に影響を与えない可能性が高い。圃場内の個体群の生存率に影響を与えるためには高い殺虫活性を長期間維持させる必要があるものと考えられた。

河上・島根（1986）は本菌によるクワのキボシカミキリ防除の研究において，フスマで培養した菌を培養物のまま圃場の地表に施用することにより約20日間殺

虫効果を維持させた。しかし、イチジクはクワに比べて樹体のはるかに大きく菌を地表に散布してもクワほど効果が得られないものと思われた。また、フスマ培養菌は雨による流亡やオカダンゴムシによるフスマの摂食により残効性が不安定であることが指摘されている（橋元ら，1989）。そこで，樹体に施用でき，野外において菌の効果を長期間安定的に維持するための培養素材としてウレタンフォームシートおよび不織布シートがみいだされた。菌を培養したこれらの資材は，圃場に暴露後回収したにも関わらず室内試験でキボシカミキリ成虫に高い殺虫活性を示し，圃場でも長期間の殺虫活性を維持する可能性が高いものと思われた。

柏尾・堤(1990)は，ポリウレタンフォームシート培養菌を用いたカンキツのゴマダラカミキリに対する網ケージ試験で，様々な施用方法を比較している。その中で本試験の施用方法に近い「樹幹バンド法」と「枝吊り下げD法」はいずれも効果が高く，両処理間で差がなかった。本試験において *B. brongniartii* GSES株を培養した不織布シートは，イチジク主枝へのバンド処理または新梢部への吊り下げ処理でキボシカミキリ成虫に対する高い殺虫効果を施用後30日以上持続した。試験圃場から採集した成虫の死虫率は，吊り下げ処理区で純死亡率がやや低い傾向にあったものの，総死虫率は差がなかった。

バンド処理した不織布シート上の生存分生子数は，施用約30日後まで $10^6/cm^2$ を維持した。吊り下げ処理では生存分生子の減少が少なく，55日後まで $10^7/cm^2$ を維持した。これらの生存分生子数は，調査時点でシートが高い殺虫効果を維持していることを示している（第1章）。柏尾・堤(1990)も，「枝吊り下げD法」の分生子数の減少が他の施用法に比べて少ないことを報告しており，本試験の結果と一致する。吊り下げ処理の試験事例は少なく，さらに例数を重ね安定性を検討しなければならないが，吊り下げ処理はバンド処理に比べ活性維持期間が長くなる可能性が示唆された。

イチジク樹上におけるキボシカミキリ成虫の生態（第2章）から導き出された菌の施用場所である枝幹部または新梢部に菌培養ウレタンフォームシートまたは不織布シートを処理して圃場試験を実施した。菌施用圃場から採集したキボシカミキリ成虫の総死亡率は施用約20日後まで約80%，30日後まで約60%と高かった。

これらの結果は、ウレタンフォームシートおよび不織布シート培養菌が *B. brongniartii* のフスマ培養物の地表散布（河上・島根，1986；石々川ら1988）より優れた残効性を持つことを示している。

菌培養ウレタンフォームシートおよび不織布シート上に $10^6/cm^2$ 以上の生存分生子があれば、シートと接触したキボシカミキリ成虫のほとんどが感染する。 $10^7/cm^2$ 以上であればほとんどの成虫が約10日間で死亡する。イチジク枝幹部にバンド処理した菌培養ウレタンフォームシートおよび不織布シートは、圃場施用後約20日を経ても $10^7/cm^2$ 以上の生存分生子数を維持し、施用前と変わらない高い殺虫活性があった。また、約30日後においても $10^6/cm^2$ 以上の生存分生子数があり、高い殺虫活性を維持していた。分生子の減少および不活化の原因として降雨による流亡、紫外線の影響（Ingris et al., 1995），あるいはオカダンゴムシおよびナメクジ類による摂食などが考えられている（橋元ら，1989）。これらの被害を軽減するため紙皿で被いをした不織布シートを新梢部へ吊り下げた。今回の施用方法では紫外線の影響は排除できなかつたものと思われるが、適度な乾湿の繰り返しにより不織布シートの特徴である分生子再生産機能が長期間維持されたことおよびナメクジ類などの生物の影響を排除した結果、不織布シートは、55日目においても $10^7/cm^2$ 以上の生存分生子数を維持し続けていた。今回行った吊り下げ方法は不織布シート以外に保護のための紙皿，吊すための針金を必要とし、さらに、試験終了後に回収する手間も必要であるためあまり実用的ではないが、シートの施用方法しだいでは約2ヶ月の残効性が維持できる可能性を示唆した。

約60haの範囲に点在する全イチジク圃場（約60a）に菌を施用した広域施用試験では期待された病死率の向上がみられなかつた。これは、菌施用圃場外からの移入虫が減少しなかつたことが原因と考えられた。また、キボシカミキリ成虫の移動範囲は数kmにおよぶものと考えられ、広域施用による効果の向上をねらうためにはさらに広い範囲での施用が必要なものと思われた。

総合考察

昆虫病原性糸状菌 *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch は, *Beauveria bassiana* のシノニムである *Beauveria tenella* とよばれていた時期がある (島津, 1993)。本菌の宿種範囲は広く, 鞘翅目, 鱗翅目, 双翅目, 半翅目, 膜翅目, 直翅目, 等翅目などに属する多くの昆虫から記録されている (Charis, 1941; Steinhaus and Marsh, 1962; De Hoog, 1972; Prest et al., 1974; 国見, 1993; 杉山ら, 1997)。本菌にはコガネムシ類に強い病原性を持つコガネムシ寄生系統とカミキリムシ類に強い病原性を持つカミキリムシ寄生系統がある (島津, 1993)。河上 (1978) は, 硬化病に感染死したキボシカミキリ成虫から分離した *B. brongniartii* (形態的特徴からカミキリムシ寄生系統と思われる) がキボシカミキリに強い病原性を持つことを報告している。同系統の菌は, クワカミキリ (河上, 1978), ゴマダラカミキリ (滝口, 1980), ハラアカコブカミキリ *Moechotypa diphysis* (Pascoe) (大長光, 1982), スギカミキリ *Semanotus japonicus* Lacordaire (Shibata and Higuchi, 1988), ブドウトラカミキリ *Xylotrechus pyrroderus* Bates (堤・山田, 1991) センノカミキリ *Acalolepta luxuriosa* (Bates) (片野田, 1994), マツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* Hope (Shimazu, 1994), トラフカミキリ *Xylotrechus chinensis* (Chevrolat) (堤, 未発表), イチョウヒゲビロードカミキリ *Acalolepta ginkgovora* Makihara (堤, 未発表) などの農林害虫に病原性があることが判明している。

B. brongniartii によるカミキリムシ類の微生物的防除に関する研究は, クワのキボシカミキリ (河上・島根, 1986; 石々川ら, 1988; 吉井, 1991; 米山・渡辺, 1992; 小林・酒寄, 1993), カンキツのゴマダラカミキリ (柏尾・氏家, 1988; 橋元ら, 1989, 1991, 1992; 柏尾ら, 1989; 柏尾・堤, 1990; 堤ら, 1990) ヒノキのスギカミキリ (Shibata and Higuchi, 1988, 1992; Shibata et al., 1991), イチジクのクワカミキリ (堤・山田, 1989, 1990) などで実施されている。また, イチジクのキボシカミキリに対しても数例の防除試験の報文がある (柴尾・田中, 1993; 松浦ら, 1997)。本研究は, これらの既往の報文を参考にしながら *B.*

brongniartii によるイチジクのキボシカミキリの微生物的防除法の開発を目指した。

本研究では、最初に供試菌株のキボシカミキリ成虫に対する病原性の程度およびその感染経路を明らかにすると同時に、有用昆虫や天敵類への安全性を評価した。次に、イチジクにおけるキボシカミキリ成虫の生態を明らかにした。さらに、菌を培養したウレタンフォームシートおよび不織布シートの殺虫効果を明らかにし、これらシート培養菌を用いた圃場での防除試験を実施した。

島根(1993)はキボシカミキリに対する強病原性菌株として6菌株を選抜し、それぞれ $1.4 \times 10^4 \sim 4.5 \times 10^5/\text{ml}$ の LC_{50} 値を算出している。また、石々川(1988)がクワのキボシカミキリ防除試験に用いて高い効果を認めた B. brongniartii SES769株の LC_{50} 値は、 $2.5 \times 10^5/\text{ml}$ であった。一方、本研究で主に供試した B. brongniartii GSES株のキボシカミキリ成虫に対する LC_{50} 値は、 $2.8 \times 10^5/\text{ml}$ でB. brongniartii SES769株と同等であり、島根(1993)の強病原性株の値の範囲内であった。これらのことから、B. brongniartii GSES株はキボシカミキリ成虫に対し強い病原性を持ち、防除試験に本菌株を用いることに問題はないものと思われた。なお、圃場に本菌を施用した場合、病害防除のために散布される殺菌剤の影響が懸念されるが、甲斐ら(1989)および楢原ら(1992)の結果から圃場レベルでの影響はないものと思われる。

本菌に感染した成虫との交尾により健全虫が病死すること。また、本菌を培養した不織布シートから飛散した分生子によって感染が起こることが明らかになった。また、米山・渡辺(1992)は病死虫上に生じた分生子により二次感染が起こることを報告している。これらの方法で感染した成虫は菌培養物と接触した成虫に比べて死亡までに長期間を要し、死亡率が低いなどの問題があり、菌培養物との接触にくらべると防除効果はやや劣った。しかし、菌培養物と接触しなくとも感染が起こることは、1カ所に菌を施用することによって周囲にも波及効果が期待できる可能性を示唆している。また、イチョウヒゲビロードカミキリのように、大きな被害を出す個体数が少ないため、菌培養物を施用しても接触の機会が少ないと思われる種の防除対策としては、交尾行動による分生子の伝播をねらった

菌接種成虫の放飼が効率的かもしれない。

Prest et al., (1974)は, B. brongniartii を西洋ミツバチの蛹から分離している。しかし, B. brongniartii GSES株は西洋ミツバチに対して病原性をしめさなかった。キボシカミキリと同じ鞘翅目に属するオオオサムシ, ヒメオサムシおよびオオヒラタシデムシにも感染が認められなかった。これまでに行われた接種試験の結果, カミキリムシ類以外でGSES株の感染が確認された種はミカンナガタムシ Agris auriventris E. Saunders (行徳, 未発表), イエシロアリ Coptotermes formosanus Shiraki (杉山ら, 1997) のみである。また, 島津(1995)は, カミキリムシ寄生型(系統)の B. brongniartii は, これまで自然状態ではカミキリムシ類の成虫以外に寄生しているものは発見されていないと述べている。さらに, カミキリムシ類においても感受性に種間差があり, マツノマダラカミキリ, ブドウトラカミキリ, センノカミキリ, ブドウトラカミキリでは感染が確認されているものの, 病原性は弱く, シロスジカミキリ Batocera lineolata Chevrolat は感染例がない(滝口, 1980)。以上のようにカミキリムシ寄生型(系統) B. brongniartii は木材加害性害虫以外には感染事例がなく, 寄主範囲が狭い菌の可能性がある。したがって, 前述の西洋ミツバチから分離された B. brongniartii は本系統とは異なる可能性が高いものと思われた。これらのことから, B. brongniartii GSES株の野外圃場への大量施用が標的とする害虫以外の昆虫に悪影響を及ぼす可能性は少ないものと思われた。

イチジク樹上でのキボシカミキリ成虫の生息場所は日周的に変化し, 昼間は葉上でみられることが多いが, 夕刻から夜間には主幹部に集まる。行動が活発になるのは夕刻から夜間で, この間に主幹部で交尾や産卵がみられる。それ以外の時間帯には葉裏や新梢上で静止する成虫が多い。また, 羽化直後の成虫は成熟のため葉を後食しなければならず(伊庭, 1982), 羽化初期の6月上旬の成虫はもっぱら葉上でみられる。さらに, 主幹部は成虫の羽化場所でもある。以上のことから菌の施用場所としては主幹部または葉上が適しているものと思われる。

キボシカミキリ成虫の羽化は5月下旬に始まり約2カ月におよんだ。本菌による防除は, 成虫を殺し産卵数を減少させることにより被害を軽減することを目的

としている。そのためには羽化した成虫を速やかに感染させて産卵前に死亡させる必要がある。キボシカミキリ雌成虫には約10日間の産卵前期間があり（伊庭，1982），また，感染虫は死亡2日前から産卵をしなくなる（津田・山中，1995）。一方， 10^7 /ml以上の濃度の分生子浮遊液を散布された成虫または 10^7 /cm²以上の生存分生子がある菌培養ウレタンフォームシートまたは不織布シートと接触した成虫は約10日で死亡した。野外に放置した昆虫病原性糸状菌の分生子は紫外線の影響などにより短時間で不活化する（Ingris, et. al., 1995）ため分生子浮遊液の残効は期待できないが，菌培養ウレタンフォームシートまたは不織布シートは，シート上で分生子の再生産ができるので長期間の残効が期待できる。これらのシートが約2カ月間 10^7 /cm²以上の生存分生子を維持できれば高い産卵防止効果が期待できる。生存分生子数が 10^6 /cm²に低下すると致死日数が20～25日と遅延するが，死亡率は低下しないため，キボシカミキリの産卵特性（伊庭，1982）から推測して，ある程度の産卵防止効果が期待できる。野外試験の結果，イチジク主幹部にバンド処理した菌培養ウレタンフォームシートおよび不織布シートは，30日程度高い殺虫活性を維持しており，6月上旬と7月上旬の2回施用すれば全羽化期間をカバーできるものと思われた。さらに，試験例は少ないが，吊り下げ施用した不織布シートは55日後においても 10^7 /cm²以上の生存分生子を維持していた。また，柏尾・堤(1990)も本試験に類似した方法で吊り下げ施用した不織布シートの分生子数の減少が少ないことを報告しており，施用法によっては，不織布シートの活性を約2ヶ月間維持させることができる可能性が示唆された。

Jolly-Seber法で推定したイチジク圃場におけるキボシカミキリ成虫個体群の動態から，圃場内での羽化成虫のほとんどが短期間で移出し，羽化盛期を過ぎると圃場内の個体群は主に移入虫によって構成されることが示唆された。試験圃場に施用した菌により感染した羽化成虫の多くは圃場外で死亡するものと思われる。また，圃場内で産卵する雌成虫の多くは外部からの飛来虫であるものと推測された。したがって，高い産卵防止効果をあげるためには広域的な菌の施用が必要となるものと思われる。本研究における広域施用試験では，約60haの地域内にあるイチジク圃場に菌を施用したものの，成虫の感染率は1圃場に菌を施用した試験

と変わらず期待された効果がなかった。このことから、キボシカミキリ成虫の移動範囲をカバーするにはさらに広域な施用が必要であるものと考えられた。一見これには膨大な量の培養菌を必要とし、コストが大きすぎるようにみえるが、イチジク圃場は広い地域に点在しており1圃場の面積は小さい。また、キボシカミキリが羽化する圃場は限られており、広域施用においても菌の施用は羽化がみられる圃場に限定して行えばよいため、非現実的なことではない。

これまで述べてきたことから *Beauveria brongniartii* によるキボシカミキリ成虫の微生物的防除法としては以下のことが必要であるものと考えられる。*B. brongniartii* GSES株のようなキボシカミキリ成虫に対する病原性が強く、かつ寄主選択性が高い菌株を用いること。不織布シートなどで培養し、長期間の殺虫活性が期待される状態の菌をイチジクの主幹部または新梢上に6月上旬および7月上旬の2回施用すること。また、菌の施用は成虫の羽化がみられる圃場に限ってもよいが、なるべく産地全体で広域に実施することが望ましい。

本研究により *Beauveria brongniartii* によるキボシカミキリ成虫の微生物的防除法の基礎は確立されたものとする。しかし、今後とも防除法を改良する努力は必要であり、その素材としては交尾行動中に雌が放出する性フェロモン (Fulaya and Honda, 1992) などもある。また、キボシカミキリ幼虫に対しては昆虫寄生性線虫 *Steinernema carpocapsae* の効果が高いことが報告されており (小林ら, 1987; 堤・山田, 1995), これと組み合わせた体系的な防除法の確立も今後の課題である。

摘 要

イチジク害虫であるキボシカミキリの *Beauveria brongniartii* による微生物的防除法を確立するため、(1)成虫に対する病原性、(2)鞘翅目に属する天敵類および有用昆虫であるミツバチなどに対する安全性、(3)イチジクにおけるキボシカミキリの発生活動および後食、交尾、産卵などの行動にともなう樹上での生息場所の変化、および(4)ウレタンフォームまたは不織布で培養した菌の効果を明らかにした。また、これらの培養菌を用いて野外イチジク圃場での防除試験を実施した。その結果は以下の通りであった。

1. 純死亡率から算出したカミキリムシ寄生系統 *B. brongniartii* GSES株のキボシカミキリ成虫における半数致死量濃度は 2.8×10^5 /mlと他の強病原性菌株に劣らぬ数値を示した。同菌株は有用昆虫の西洋ミツバチ、捕食性天敵のオオオサムシおよびヒメオサムシ、動物死骸の分解者のオオヒラタシテムシに対しては病原性がなかった。また、本菌のカミキリムシ寄生系統はカイコに対しても病原性が微弱であることが報告されている。以上の結果から、本菌株をイチジクのキボシカミキリ防除に使用することは標的害虫に対する病原性および非標的虫への安全性の面から問題ないものと思われた。

2. 本菌の分生子浮遊液をキボシカミキリ成虫の体の一部に塗布し、感染経路を調査した。触角、脚、腹部からは高率に感染が起こるが、口器からの感染率は低かった。

3. 本菌を接種した成虫と交尾した健全成虫は菌に感染した。菌を接種したキボシカミキリ成虫は、接種5日後においても交尾した健全虫の約50%に分生子を伝播した。しかし、感染虫の菌伝播能力には雌雄間差があり、雄成虫の伝播能力は早く低下した。

4. 菌培養物から飛散した分生子によって空中伝染が起こった。菌培養物の水平方向50cmに設置した虫カゴで7日間隔離飼育したキボシカミキリ成虫はすべて病死した。また、菌培養物周辺の葉と接触した成虫も低率ではあるが死亡した。

5. イチジク樹上におけるキボシカミキリ成虫の行動には日周性があり、それにともない樹上の生息場所も変化した。夜半から日中は全体に活動が不活発で葉裏や新梢上に静止した個体が多く、他の部位では成虫があまりみられなかった。しかし、産卵、交尾行動が活発になる午後から夜間には主幹部で多くの成虫みられるようになった。

6. 羽化直後のキボシカミキリ成虫は性成熟のため葉を後食する必要がある。そのため、成虫発生初期の6月上旬には通常であれば主幹部で成虫が多くみられる時間帯であっても葉上に多かった。

7. 羽化消長は年次変動が少なかった。網ケージにいた幼虫食入枝からの羽化は5月下旬から8月上旬までみられたが、6～7月に集中した。圃場での調査では少数であるが9月に羽化が認められ、網ケージでの結果と異なった。これまでの報文から、9月の羽化成虫は7月までに産下された卵に由来するものと推測された。網ケージでは調査の都度、羽化成虫を除去しているため産卵がなく、9月に羽化しなかったものと思われた。

8. 圃場内の成虫数は羽化消長とは全く異なる消長を示し、年次間差、圃場間差が大きかった。また、多数の成虫が羽化した圃場においても、羽化がピークを過ぎた6月下旬以降は圃場内個体群のほとんどが移入虫によって占められていた。

9. 菌を培養したウレタンフォームシートおよび不織布シートは、 $10^6/cm^2$ 以上の生存分生子があればキボシカミキリ成虫に強い殺虫活性があり、5秒間歩行した成虫は高率に死亡したが、死亡までに20日を要した。分生子数が $10^7/cm^2$ 以上であればさらに強い活性があり、約10日で死亡した。また、菌を培養した不織布シートを歩行した成虫に付着する分生子数は、シート上が $10^8/cm^2$ であれば約 $10^7/頭$ 、 $10^6/cm^2$ および $10^5/cm^2$ の場合はそれぞれ約 $10^5/頭$ 、 $10^4/頭$ とシート上の分生子数に比例して増減した。

10. ウレタンフォームシート培養菌を主幹部にバンド処理した圃場における採集虫の純死亡率は、施用30日後においても75%と高かった。さらに、回収したシート上の分生子数と接触試験の結果から、43日後においても高い殺虫活性を維持していた。

11. 不織布シート培養菌を主幹部にバンド処理した3圃場における採集虫の平均総死亡率は、施用20日後において83%と高かったが、31日後には62%に低下した。純死亡率も総死亡率と同様の傾向を示し、20日後までは63%であったが、31日後には42%に低下した。シート上の生存分生子数は、20日後までは $10^7/cm^2$ 以上であったが、31日後には分生子の生存率が低下し $10^6/cm^2$ に減少した。また、31日後になると総死亡率、純死亡率、生存分生子数のいずれについても圃場間差が大きくなった。これらの結果を総合すると、圃場条件によっては、施用後1カ月程度経過するとシートの効果が大きく低下する可能性があることが判明した。

12. 不織布シート培養菌を樹冠部に吊り下げ処理した圃場における31日後までの採集虫の総死亡率は、31日後まで57~91%、純死亡率29~36%と主幹部バンド処理に比べて総死亡率はかわらなかったものの、純死亡率が低かった。しかし、シート上の生存分生子数は55日後においても $10^7/cm^2$ 以上を維持し、長期の殺虫活性が見込まれた。

13. 約60haの地域に点在する13ヶ所のイチジク園（計60a）に不織布シート培養菌を施用し、成虫を採集して感染率を調査したが、広域施用による感染率の向上はみられず、キボシカミキリ成虫の行動範囲が菌施用面積を上回っていることが示唆された。

14. これらの結果から、本菌によるイチジクのキボシカミキリ防除を実施するためには、以下の条件を満たした菌の施用が必要であるものと思われた。(1)キボシカミキリ成虫に強い病原性をもち、有用昆虫や天敵に悪影響を与えない *Beauveria brongniartii* カミキリムシ寄生系統を用いること。(2)成虫が羽化し、産卵、交尾のため集まる主幹部または葉の後食のため集まる樹冠部に菌を施用すること。(3)羽化が始まる6月上旬に菌を培養したウレタンフォームシートまたは不織布シートを施用し、さらに1ヶ月後に再度施用すること。これにより、菌処理圃場で発生したキボシカミキリ成虫を高率に感染死させることが可能になる。

なお、本研究の一部は既に日本応用動物昆虫学会誌（堤・山中，1995，1996，1997），九州病害虫研究会報（堤，1984，1985；堤・山田，1991），九州農業研究（堤・山田，1989）に公表している。

引用文献

- Adachi, I and R, Korenaga (1989) Control methods for Anoplophora malasiaca Thomson (Coleoptera: Cerambycidae) in a citrus groves. I. Comparison of effects in several methods for preventing oviposition. Appl. Entomol. Zool. 24:315-318.
- Adachi, I. (1990) Population studies of Anoplophora malasiaca adults (Coleoptera: Cerambycidae) in a citrus groves. Res. Popul. Ecol. 32:15-32.
- 鮎沢啓夫(1973) 日本における微生物殺虫剤の開発. 防虫科学 38:114-124.
- 有賀久雄(1973) 昆虫病理汎論. 東京: 養賢堂, 466 p.
- Charles, V. K. (1941) A preliminary check list of the fungus of North America. U. S. D. A. Bur. Plant Ind. The Insect Pest Survey Bulletin 21:707-785.
- Debach, P. and D. Rosen(1991) Biological control by natural enemies. 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 440 p.
- De Hoog (1972) The genera Beauveria, Isaria, Tritirachium and Acrodontium gen. nov. Studies in mycology, No. 1, 41 pp., C. B. S. (Baarn).
- Fukaya, M. and H. Honda, (1992) Reproductive biology of the yellow spotted longicorn beetle, Psacotha hilaris Pascoe (Coleoptera : Cerambycidae). I. Male mating behaviors and female sex pheromones. Appl. Entomol. Zool. 27:89-97.
- 福原敏彦(1979) 昆虫病理学. 東京: 学会出版センター, 218 p.
- 福岡県(1997) 平成8年度福岡県農業の動向(附属統計図表等), p. 44.
- 橋元祥一・柏尾具俊・堤 隆文(1989) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii によるゴマダラカミキリの生物的防除に関する研究. 第2報. ウレタンフォーム培養菌の樹幹バンド処理の効果. 九病虫研会報 35:129-133.
- 橋元祥一・柏尾具俊・堤 隆文・行徳 裕・甲斐一平(1992) Beauveria brongniartiiによるゴマダラカミキリの防除の可能性. 植物防疫 46:66-70.
- 橋元祥一・坂口徳光・柏尾具俊・行徳 裕・甲斐一平・楢原 稔(1991) 昆虫病原糸

- 状菌 *Beauveria brongniartii* の培養担体の検討. 九病虫研会報 37:170-174.
- 樋口俊男・二宮保男・伊庭正樹 (1993) カミキリムシ類防除のための天敵糸状菌 *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch 培養製剤バイオリサ・カミキリの開発. 日東技報 31:103-110.
- 伊庭正樹 (1963) キボシヒゲナガカミキリ *Psacotha hilaris* Pascoe について.
(2) 産卵習性. 蚕糸研究 47:72-78.
- 伊庭正樹 (1982) キボシカミキリの後食活動と性成熟および産卵との関係. 日蚕雑 51:223-227.
- 伊庭正樹・井上昭司 (1970) キボシカミキリのクワ, イチジク両樹種による生育の比較. 関西病虫害研報 12:86-87 (講演要旨).
- 伊庭正樹・井上昭司・菊池 実 (1976) キボシカミキリの生態学的研究. I. 成虫の発生消長にみられる地方的差異. 日蚕雑 45:156-160.
- Inglis, G. D., M. S. Goettel and D. L. Johnson (1995) Influence of ultraviolet light protectants on persistence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Biol. Control 5:581-590.
- 石井五郎・江森 京・樋田幸夫 (1963) キボシヒゲナガカミキリ *Psacotha hilaris* Pascoe について(1). 蚕糸研究 46:39-47.
- 石井五郎・江森 京・樋田幸夫 (1964) キボシヒゲナガカミキリ *Psacotha hilaris* Pascoe について(3). 蚕糸研究 52:28-38.
- 石々川英樹・密田和彦・河上 清 (1988) 天敵糸状菌 *Beauveria tenella* によるキボシカミキリ防除試験. 応動昆 32:230-231.
- 伊藤正広 (1979) 桑園におけるキボシカミキリの発生調査. 神奈川県蚕セ概要 7:70-72.
- Jolly, G. M. (1965) Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. Biometrika 52:225-247.
- 甲斐一平・楢原 稔・柏尾具俊・橋元祥一 (1990) 昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* に及ぼす農薬の影響. 第1報. 数種殺菌剤の影響. 九病虫研会報 36:177-180.

- 柏尾具俊・橋元祥一・堤 隆文 (1989) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii によるゴマダラカミキリの生物的防除に関する研究. 第1報. ゴマダラカミキリ成虫に対する B. brongniartii の接種菌量及び接種方法と病死率. 九農研 51:115.
- 柏尾具俊・堤 隆文 (1990) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii によるゴマダラカミキリの生物的防除に関する研究. 第3報. 菌の施用方法と殺虫効果. 九病虫研会報 36:169-172.
- 柏尾具俊・氏家 武 (1988) キボシカミキリ由来の天敵糸状菌 Beauveria tenella のゴマダラカミキリに対する病原性と殺虫効果. 九病虫研会報 34:190-193
- 片野田逸朗 (1994) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii のセンノカミキリに対する病原性について. 日林九支研論集 47:83-84.
- 河上 清 (1978) キボシカミキリに寄生する Beauveria tenella (Delacroix) Siemaszko について. 蚕試報 27:445-467.
- 河上 清 (1985) 天敵微生物の探索と利用. 今月の農薬 29:50-59.
- 河上 清・島根孝典 (1985) キボシカミキリの大量飼育用人工飼料の改善. 日蚕雑 54:315-320.
- 河上 清・島根孝典 (1986) 昆虫病原糸状菌 Beauveria tenella を利用したキボシカミキリの微生物的防除. 日蚕雑 55:227-234.
- 小林益子・桐原重樹・尾崎幸三郎 (1987) 昆虫寄生性線虫のキボシカミキリ Psacotha hilaris に対する効力. 関東東山病虫研年報 34:181-183.
- 小林則夫・酒寄健治 (1993) Beauveria brongniartii 菌製剤による桑園内のキボシカミキリ防除. 茨城農総セ蚕研研報 1:62-64.
- 小島圭三・中村慎吾 (1986) 日本産カミキリムシ食樹総目録. 広島:比婆科学教育振興会, 336 p.
- Komazaki, S. and Y. Sakagami (1989) Capture-recapture study on the adult population of the white spotted longicorn beetle, Anoplophora malasiaca (Thomson) (Coleoptera: Cerambycidae), in a citrus orchard. Appl. Entmol. Zool. 24:78-84.

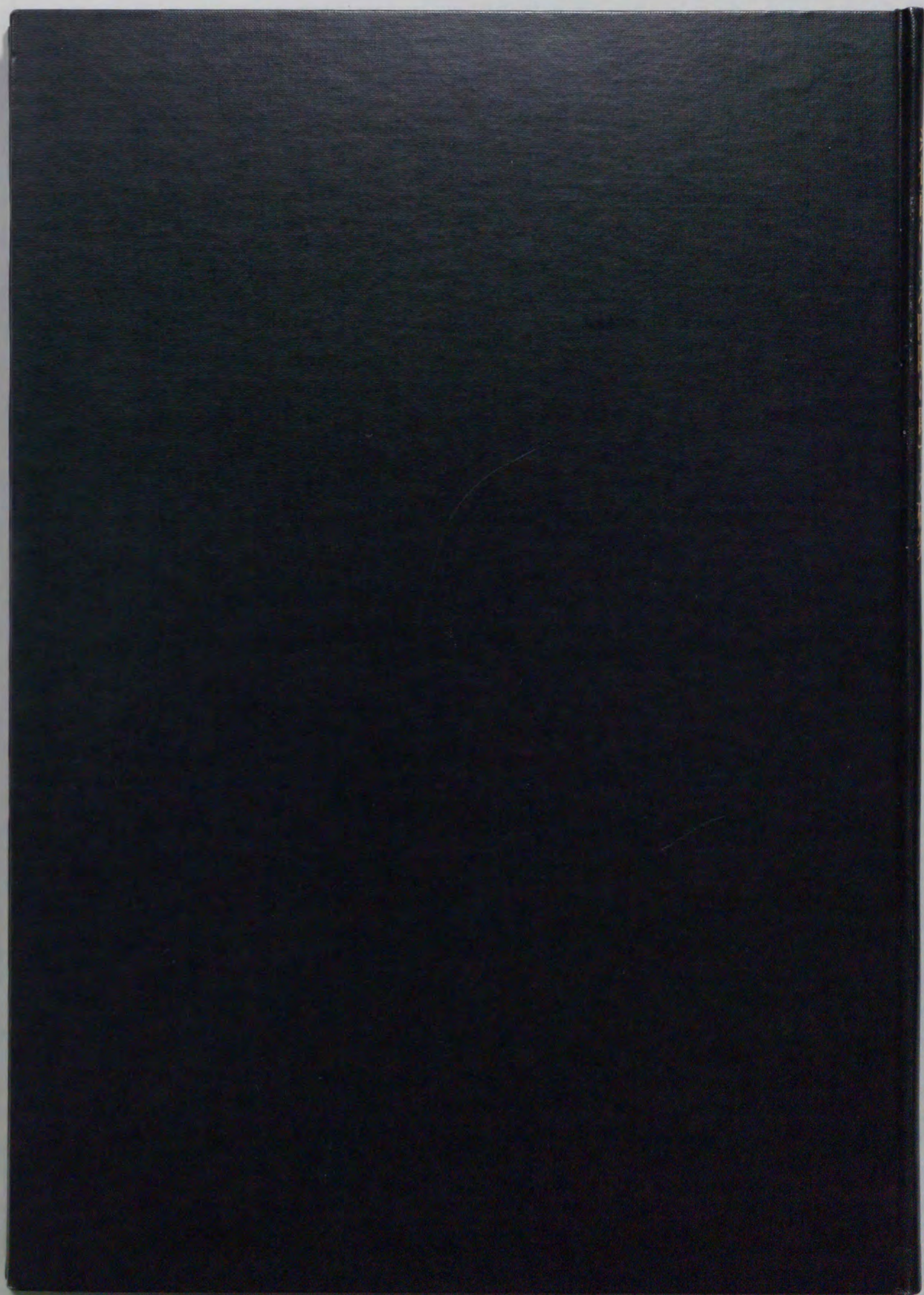
- 国見裕久(1993)日本産昆虫の天敵微生物目録. 天敵微生物の研究手法, 日本植物防疫協会:東京, pp.192-222.
- Linsley, E. G. (1959) Ecology of Cerambycidae. Annu. Rev. Entomol. 4:99-138.
- 松浦克彦・福井謙一郎・足立年一(1997)イチジクのキボシカミキリとクワカミキリに対する天敵糸状菌 *Beauveria brongniartii* のシート剤による防除効果. 兵庫農技研報(農業) 45:45-48.
- 森本徳右衛門・竹下正二・橋本博好(1961)紫赤きょう病菌による梨のコナカイガラムシおよび蜜柑のイセリアカイガラムシに対する駆除試験. 高知大研報 10:17-21.
- 森本徳右衛門・竹下正二・岩川 孝・橋本博好(1959a)黄きょう病菌「(イネヨトウよりの分離系) *Isaria farinosa*」によるミカンネコナカイガラムシ「蜜柑根粉介殻虫(*Rhizoecus kondonis*)」の駆除試験(1). 異なった培地上における硬化病菌の発育ならびに病原性およびその処理土壌の病原性. 高知大研報 8:1-6.
- 森本徳右衛門・竹下正二・岩川 孝・橋本博好(1959b)黄きょう病菌「(イネヨトウよりの分離系) *Isaria farinosa*」によるミカンネコナカイガラムシ「蜜柑根粉介殻虫(*Rhizoecus kondonis*)」の駆除試験(2). 黄きょう病菌培養家蚕蛹処理後における駆除効果の持続性並びに挿入の適期. 高知大研報 8:7-10.
- 森本徳右衛門・竹下正二・岩川 孝・橋本博好(1960a)黄きょう病菌「(イネヨトウよりの分離系) *Isaria farinosa*」によるミカンネコナカイガラムシ「蜜柑根粉介殻虫(*Rhizoecus kondonis*)」の駆除試験(3). 異なった培地上における黄きょう病菌の病原性並びにその挿入方法. 高知大研報 9:13-17.
- 森本徳右衛門・竹下正二・岩川 孝・橋本博好(1960b)黄きょう病菌「(イネヨトウよりの分離系) *Isaria farinosa*」によるミカンネコナカイガラムシ「蜜柑根粉介殻虫(*Rhizoecus kondonis*)」の駆除試験(4). 家蚕蛹上に培養した硬化病菌の生活力ならびに硬化病菌に対するネマトロン乳剤の影響. 高知大研報 9:19-23.
- 中根猛彦・大林一夫・野村 鎮・黒沢良彦(1960)原色昆虫大図鑑Ⅱ甲虫編.

- (改訂4版) 東京: 北隆館, 443 p.
- 梶原 稔・甲斐一平・河野 務 (1992) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii に及ぼす農薬の影響. 第2報. 圃場における数種殺菌剤の影響. 九病虫研会報 38:197-200.
- 於保信彦・佐藤靖男(1966) ミカンコナジラミの寄生菌 Aschersonia sp. について. 園試報 A:179-192.
- Oho, N. (1968) Possible utilization of Aschersonia aleyrodis for control of citrus whitefly, Dialeurodis citri Ashmed. In "Proc. U. S. -Japan Seminar on Microbial Control of Insect Pests." pp. 119-128, Fukuoka.
- 大長光 純(1982) Beauveria 菌によるカミキリムシの殺虫試験. 日林九支研論集 35:153-154.
- Prest, D. B., M. Gilliam, S. Taber, III and J. P. Mills (1974) Fungi associated with discolored honey bee, Apis mellifera, larvae and pupae. J. invertebr. pathol. 24:253-255.
- Sato, H., N. Kamata and M. Shimazu (1997) Aerial infection of Cordyceps militaris Link (Clavicipitales : Clavicipitaceae) against larvae of Quadricalcarifera punctatella (Motschulsky) (Lepidoptera: Notodontidae). Appl. Entmol. Zool. 32:249-252.
- Seber, G. A. F. (1965) A note on the multiple-recapture census. Biometrika 52: 249-259.
- 関口昭良(1955) Isaria fumosorosea Wize によるモモシクイガ防除に関する研究 I. 菌の同定および寄生性について. 東北農試研報 4: 152-153.
- 関口昭良(1959) Isaria fumosorosea Wize によるモモシクイガ防除に関する研究. 第2報. 接種試験・菌の生態及び大量培養法について. 東北農試研報 16: 89-93.
- 柴尾 学・田中 寛 (1993) 天敵糸状菌によるイチジクのキボシカミキリの防除. 応動昆中国 35:13-16.
- Shibata E. and T. Higuchi (1988) Application of an entomogenous fungus,

- Beauveria brongniartii (Sacc.) Petch, for control of the adult sugi borer, Semanotus japonicus Lacordaire (Coleoptera:Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool. 23:199-201.
- Shibata E. and T. Higuchi (1993) Fecundity of the adult sugi bark borer, Semanotus japonicus Lacordaire (Coleoptera:Cerambycidae), infected with entomogenous fungus, Beauveria brongniartii (Sacc.) Petch. Appl. Entomol. Zool. 28:249-250.
- Shibata E., Y. Yoneda, T. Higuchi and H. Ichinose (1991) Control method of the adult sugi borer, Semanotus japonicus Lacordaire (Coleoptera:Cerambycidae), using the nonwoven fabric sheet with an entomogenous fungus, Beauveria brongniartii (Sacc.) Petch, in Japanese Cedar, Cryptomeria japonica D. Don, Stand. Appl. Entomol. Zool. 26:587-590.
- 島根孝典 (1992) 鞘翅目昆虫病原性糸状菌を利用した桑害虫キボシカミキリの生物的防除に関する研究. 九州大学学位論文, 169 p.
- 島根孝典・河上 清 (1993) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii の蚕およびマウスに対する安全性について. 日蚕雑 62:30-37.
- 島津光明 (1993) 天敵微生物の同定法 (天敵糸状菌). 天敵微生物の研究手法, 東京: 日本植物防疫協会, pp62-81.
- Shimazu, M. (1994) Potential of the cerambycid-parasitic type of Beauveria brongniartii (Ddeuteromycotina:Hyphomycetes) for microbial control of Monochamus alternatus Hope (Coleoptera:Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool. 29:127-130.
- 島津光明 (1995) Beauveria 属糸状菌によるマツノマダラカミキリの防除に関する研究. 九州大学学位論文, 155p.
- Steinhaus, E. A. and G. A. Marsh (1962) Report of diagnoses of diseased insects 1951-1961. Hilgardia 33:349-487.
- 杉山隆史・林 雅恵・雑賀 健・樋口俊男 (1997) イエシロアリに対する昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii の病原性. 第41回応動昆講要, p. 132

- 滝口義夫 (1980) 4種のカミキリムシ成虫に対する Beauveria tenella (Delacroix) Siemaszko の病原性について. 応動昆 25:194-195.
- 津田勝男・山中正博 (1995) Beauveria brongniartii に感染したキボシカミキリ雌成虫の産卵能力. 九病虫研会報 41:114-116.
- 津田勝男・吉岡哲也・堤 隆文・山中正博・河原畑 勇 (1996) 数種昆虫病原糸状菌のチャバネアオカメムシに対する病原性. 応動昆 40:318-321.
- 堤 隆文・柏尾具俊・橋元祥一・行徳 裕・甲斐一平・楯原 稔 (1990) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii によるゴマダラカミキリの生物的防除に関する研究. 第4報. 圃場におけるウレタンフォーム培養菌の枝かけ処理の効果. 九病虫研会報 36:173-176.
- 堤 隆文・山田健一 (1990) Beauveria brongniartii によるイチジクのクワカミキリ防除: 菌培養ポリウレタンフォームによる防除効果. 九農研 52:118.
- 堤 隆文・山田健一 (1992) 昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii のブドウトラカミキリに対する病原性. 九農研 54:115.
- 堤 隆文・山田健一 (1995) イチジクのキボシカミキリ幼虫に対する生物的防除資材としての昆虫寄生性線虫 Steinernema carpocapsae ALL 系統の評価. 福岡農総試研報 14:174-176.
- 梅本清作・村田明夫・長井雄治 (1989) ニホンナシ黒星病菌分生子懸濁液の効率的濃縮法. 日植病報 55:309-314.
- 山下優勝 (1980) イチジクのカミキリムシ類の発生と防除対策. 今月の農薬 24:70-73.
- 米山光郎・市川和規 (1981) キボシカミキリの発生実態と防除に関する試験. 第3報. 混在型の発生様相. 山梨蚕試要報 20:23-27.
- 米山光郎・小沢和茂 (1980) キボシカミキリの発生実態と防除に関する試験. 第2報. 産卵時期別による次世代成虫の羽化時期. 山梨蚕試要報 19:94-98.
- 米山光郎・渡辺常富 (1992) 天敵糸状菌 Beauveria brongniartii (= B. tenella) シート剤のキボシカミキリへの防除効果. 山梨蚕試要報 31:30-40.
- 横山桐郎 (1929) 最新日本蚕業害虫全書. 東京: 明文堂, 469p.

吉井幸子(1991)昆虫病原糸状菌 Beauveria brongniartii によるキボシカミキリ
の防除. 千葉県蚕業センター研究要報 10:46-51.



Inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19

