

天敵微生物による被害防除法

I 試験担当者

浅川実験林天敵微生物研究室：片桐一正，岩田善三，串田保，福泉ヤス，石塚秀樹

保護部昆虫第1研究室：小林富士雄，山崎三郎

北海道支場昆虫研究室：山口博昭，小泉力，古田公人，高井正利，秋田米治，福山研二

木曽分場保護研究室：小沢孝弘

四国支場保護研究室：越智鬼志夫

II 試験目的

新しい森林被害防除の技術開発が強く要請されている現状を背景に，森林害虫，特にトドマツを含むモミ類，カラマツ類のハマキ類，およびマツカレハの被害防除に微生物を利用する方法を開発し，総合的な害虫防除法の技術確立に資することを目的とする。

III 試験の経過と得られた成果

1 利用微生物の選定（天敵微生物研）

対象害虫のうちトドマツの害虫コスジオビハマキの高密度個体群に流行したウイルス病2種が新しく検索された。その1つは核多角体病ウイルス（NPV）であったが他の1つは昆虫ポックスウイルス（EPV）であった。EPVに属するウイルスはわが国では初めて検索されたものである。両ウイルス病は同時に流行した。流行現場からの採集標本によるとEPVによる死亡がNPVをはるかに上まわっていたが，室内接種試験では，NPVの発病が多かった。これらのウイルスは，大発生を終息せしめる時点では極めて有力な天敵微生物として働いているものと思われる。

カラマツ林に大発生したオオチャバネフユエダシクからも核多角体ウイルス（NPV）が新しく検索された。このNPVはハラアカマイマイのNPVの場合と同様梢頭病症状を呈し，カラマツの先端部に本ウイルス病による病死体塊がみられた。このNPV病発生林も，その後急速に害虫密度が減少した。

その他検索された微生物としては糸状菌 *Beauveria bassiana*, (*Isaria* sp., *Verticillium* sp., *Entomaghtora* sp. 等があるが，特に *B. bassiana* の検出率は高かった。

以上のようにウイルスは有力な天敵微生物であることが観察されたが，人工培地での培養ができないため増殖に当ってそれぞれの幼虫を感染発病させることに依らなければならず，実用

化に当って前提となる大量増殖が容易でない。このため実用性から考えて細菌 *Bacillus*

thuringiensis (以下略して Bt とする) の適用を試みた。

Bt は一義的にはその生産する毒素の働きによって殺虫能力をもつものである。したがって微生物による発病作用とちがい速効的效果がある。

トドマツ、モミ類、カラマツ類、マツカレハ等について Bt 感受性を調べたところ、種によって、また令期によって多少の違いはあるが、Bt 芽胞数で 10^8 個/ml 以上の濃度の添食接種で大抵の昆虫が 50% 以上死亡することが判明した。

Bt の増殖は後述 (Ⅲ項) するようにタンク培養による大量増殖が容易なので散布による実用化が可能であるため、主として Bt の利用を中心とする防除法について野外の適用試験を進めた。

Ⅱ 防除法についての試験

1. トドマツ林のハマキガ類の Bt による防除 (北海道支昆虫研・天敵微生物研)

(1) 予備試験

Bt の利用に先だって予備的に室内試験および小規模の野外試験を実行した。試験の概要は表-1 の通りである。

表-1 試験の概要

	野 外 散 布		室 内 試 験				
対象昆虫	コスジオビ ハマキ 3 齢	タテスジ ハマキ 終 齢	コスジオビ ハマキ 3 齢	コスジオビ ハマキ 5 齢	タテスジ ハマキ 終 齢	マイマイガ 1 齢	マイマイガ 3 齢
処 理 日	5月26日	5月26日	5月25日	6月9日	5月25日	5月25日	6月9日
試 験 地	夕張営林署 伊藤の沢	夕張営林署 築別採種園					
系 統 数	3	3	6	3	6	1	3
処 理 数	1処理4本	1処理10本	1処理20本	1処理20頭	1処理20芽	100頭	1処理80頭
処理方法	単 木	散 布	浸 漬 法				
死亡調査	4日目袋 6日目袋	2日目袋 11日目	2日目 4日目	2日目 5日目	1日目 2日目	4日目	2日目 5日目
	13日目 20日目		6日目 7日目 14日目	7日目 12日目 20日目			7日目 9日目 12日目

供試した Bt は天敵微生物研究室保存番号 19, 65, 66, 67, 68, 69 の 6 系統である。

試験結果

① コスジオビハマキ 3 令幼虫を対象にした室内接種試験の結果は表-2 の通りである。殺虫率は極めて低い。

表-2 コスジオビハマキ室内試験 (3 令幼虫)

系 統	19	65	66	67	68	69	対 照
処 理 虫 数	23	29	34	31	42	27	37
死 亡 率	0	10.3	5.9	6.5	2.4	0	0

② コスジオビハマキ 5 令幼虫 (終令虫) を対象とした室内接種試験の結果は図-1 の通りである。かなり効果が認められるといえる。

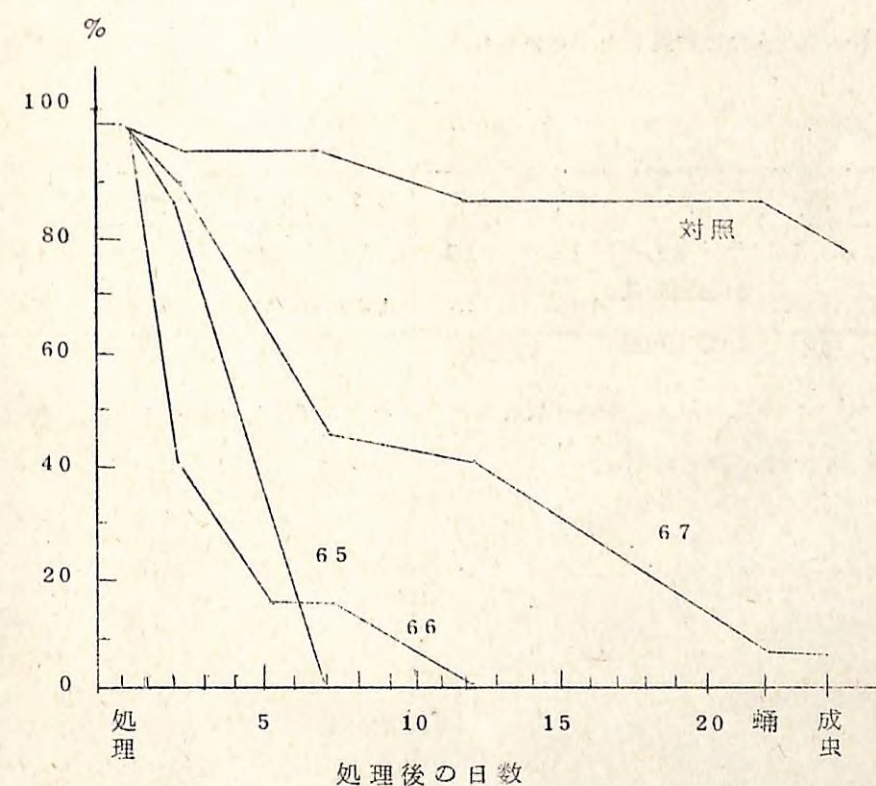


図-1 コスジオビハマキ (5 令) 室内試験

- ③ コスジオビハマキを対象とした野外試験の結果は表-3に示す通りである。効果は認められなかった。これは幼虫が3令時では新芽の内に入ってしまったため、表面に少量付着したBtの不活化前にこれを摂食する機会が少なかったか、この時季の新芽にBtが付着しにくかったかによるものであろう。

表-3 コスジオビハマキ野外散布

系 統	調査虫数	死 亡 率
65	29	0
66	35	8.6
69	78	3.8
対 照	42	0

- ④ タテスジハマキ終令幼虫を対象とした室内接種試験の結果は表-4の通りである。Bt系統によってほかない殺虫効果が認められた。

表-4 タテスジハマキ室内試験(終齢)

系 統	19	65	66	67	68	69	対 照
処 理 虫 数	25	16	17	18	27	13	19
死 亡 率	0	14.3	41.7	12.5	3.8	8.3	5.6

- ⑤ タテスジハマキを対象とした野外試験の結果は表-5に示した通りである。散布による防除効果が、かなり認められる。

表-5 タテスジハマキの野外散布

系 統	65	66	69	対 照
処理前 平均 個 体 数	2,600	3,300	1,200	1,600
2日目 平均 個 体 数	1,600	1,800	0,990	1,500
死亡 率 (補正)	34.4 %	41.8 %	20.0 %	
11日目 平均 個 体 数	0.500	0.300	0.400	1.900
処理前と11日目の平均値の差	t=2.601 (p>0.5)	t=3.605 (p>0.1)	t=1.611 (p>2.0)	
22日目と11日目の平均値の差	t=1.631 (p>2.0)	t=2.567 (p>0.5)	t=1.151 (p>3.0)	
11日目、処理、対象区の平均値の差	t=1.794 (p>1.0)	t=2.149 (p>0.5)	t=1.265 (p>3.0)	

<注> 処理前の個体数は、処理後すぐかけたケージのなかにみとめられた生存虫と死亡虫の合計である。

以上の結果から、Btの野外散布は対象ハマキガ類の幼虫の終令時に行なうのがよいことが判明した。

(2) 空中散布による防除試験

トドマツのハマキガ類の防除のために、前項予備試験の結果に基づいてBt有力2系統(B-65および天敵微生物研での接種試験で有効と認められたB-61)の空中散布を実行した。

試験地は北海道石狩郡のトドマツ林134aで、散布試験は表-6に示す方法で行なった。ハマキガ類のうちコスジオビハマキの密度が極めて高かった。

表-6 空中散布試験方法

試験区	供試Bt	散布量(1a当り)	散布面積
第1区	Bt 61	60ℓ(芽胞数 1.2×10^{18})	5.00
第2区	Bt-65	60ℓ(芽胞数 1.2×10^{18})	5.00
対照区	無散布	0	3.15

防除効果の調査は対象害虫の密度変動調査、死亡率、Btの土壤中残留等について行なった。密度変動調査はトドマツ枝、先端より50cm長ものをサンプルユニットとして、10日おきのサンプリングによって行なった。死亡率についてはカンレイシヤ袋を用いて枝を覆い、各種昆虫類の死亡を調べた。Btの土壤残留については、一定期間おきに散布地から土壌を採集して行なった。

試験結果

① Bt散布による直接殺虫効果

散布直後にカンレイシヤ袋で覆ったBt処理区各30本、対象区20本ずつの枝先50cm長のサンプルで、散布2日後と7日後に調査した結果は図-2の通りであった。対象区での死亡率が5%以下であったが、Bt処理区では30~35%の死亡率であった。このようにBtの直接の殺虫率が高くなかったのは、散布直後の降雨や気温が低かったことによると推定された。

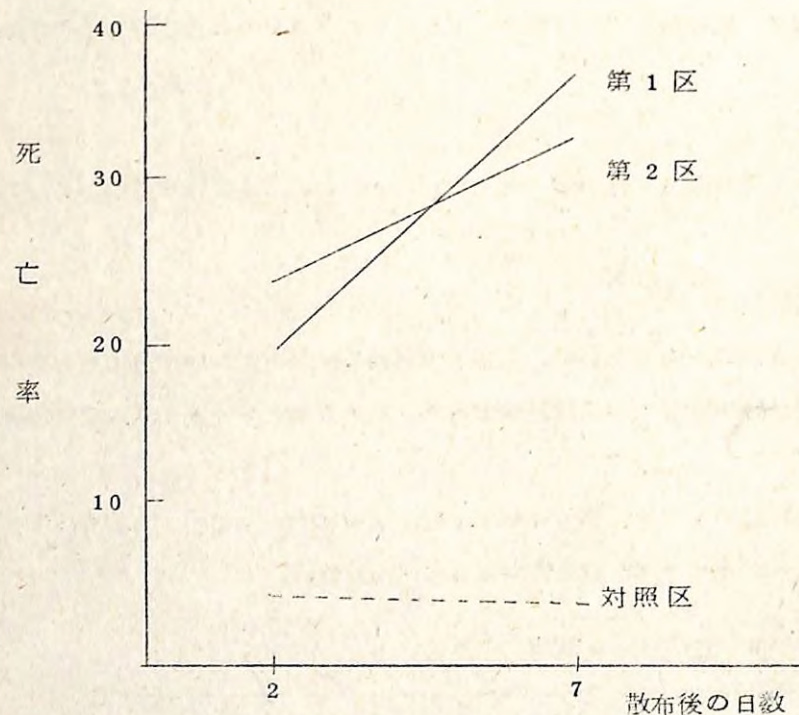


図-2 直接殺虫効果の時間的な変化

② Bt散布が密度変動機構に及ぼす影響

サンプリングによって得られたデータから各区における生存曲線と生命表の作成を行なう。Btの散布が他の死亡要因に及ぼす影響についてみた。

各区における生存曲線は図-3に示す通りであった。Bt散布区におけるコスジオビハマキの個体数は対照区に比較して急激に減少していることがわかる。このような減少は、もちろん他の死亡要因との作用の重なり合いのなかで生じたものであり、直接殺虫率よりも実際の効果は高いことが推察された。

また羽化率、性比について調査した結果は表-7の通りであった。Bt散布によって、羽化率や性化に影響があったとはいえない。

表-7 B T-散布の羽化率、性比におよぼす影響

	第1区	第2区	対照区
調査蛹数	70	70	77
羽化数	54	52	56
羽化率	72.9	74.3	72.7
調査成虫数	46	41	52
雌数	22	21	32
雌率	47.8	51.2	61.5

Btは一般に鱗翅目昆虫に殺虫性をもつ。Bt散布によってコスジオビハマキ以外のハマキガ類の死亡についてみると表-8の通りであった。

サンプルできた標本数が少ないので、各種のBt感受性について結論はできないが、トウヒオオハマキ、トドマツアミメハマキ、トドマツチビハマキ等はBt感受性であるといえる。

一方ハマキガ類その他の昆虫の捕食性天敵の1部分についてBtの殺虫効果をみると表-9の通りであった。

ヒラタアブ類、クモ類にはBtによる死亡はなかったと判断できる。

トドマツ林に生息するハマキガ類以外の昆虫について死亡を調べた結果は表-10に示した。シャクガ類に対して多少殺虫性がある場合があるが、その他に対しては影響がないようである。

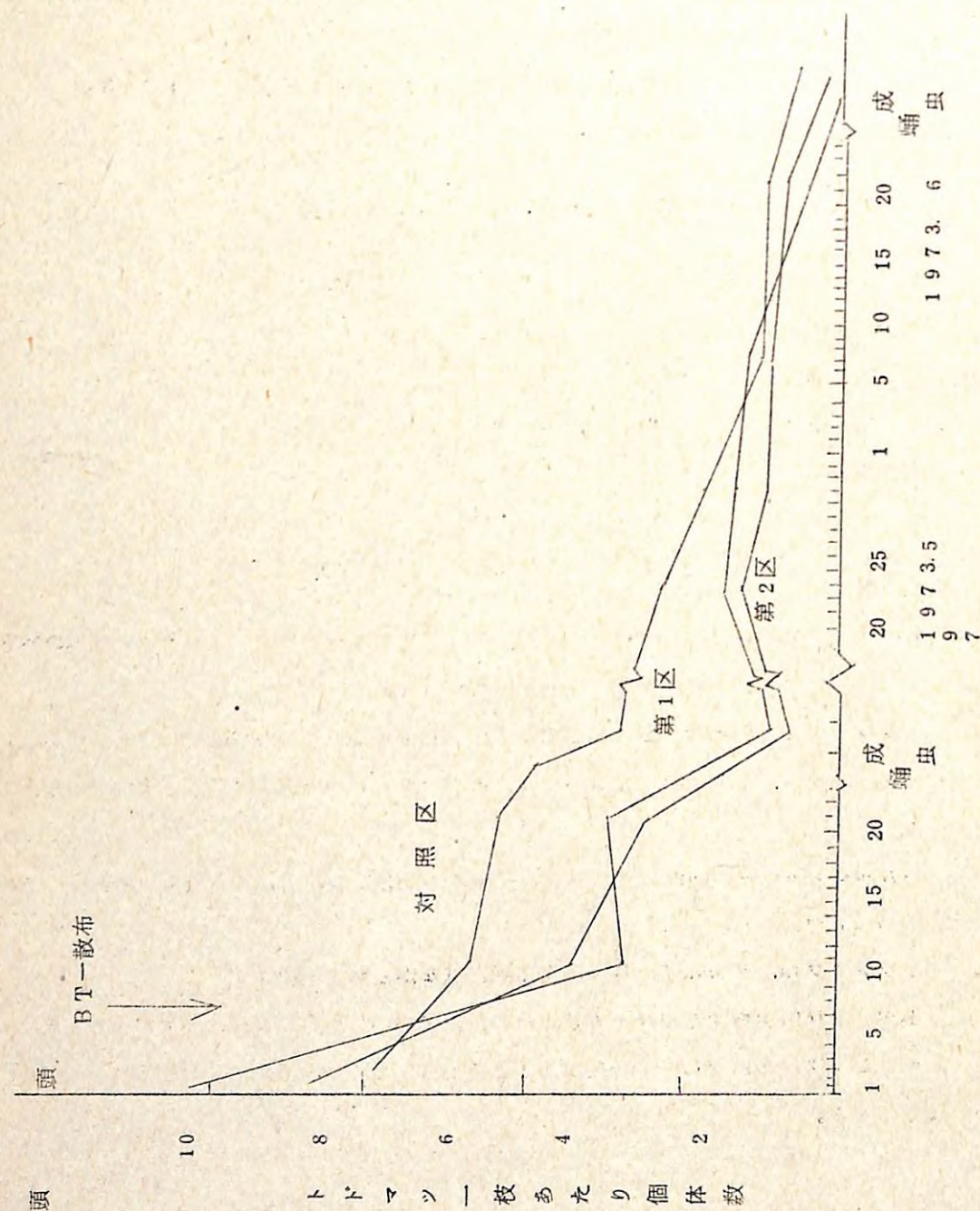


図-3 BT-散布区および対照区におけるトドマツの枝先50cmあたりハマキ個体数の時間的变化

表-8 コスジオビハマキ以外のトドマツのハマキガ類の死亡率

種 名	処理区	処理 2 日後		処理 7 日後	
		調査数	死亡率%	調査数	死亡率%
トドマツアミメハマキ	第1区	10	0	15	13.3
	第2区	11	0	26	0
	対照区	3	0	8	0
トドマツチビハマキ	第1区	7	0	5	0
	第2区	18	11.1	13	15.4
	対照区	0	—	4	0
トウヒオオハマキ	第1区	1	100.0	2	100.0
	第2区	2	50.0	1	0
	対照区	0	—	1	0
タテスジハマキ等	第1区	2	0	3	0
	第2区	1	0	2	0
	対照区	1	0	0	—
モミアトキハマキ	第1区	0	—	2	0
	第2区	3	0	0	—
	対照区	0	—	0	—

表-9 ハマキガ類の捕食性天敵の死亡率

天 敵 名	処理区	処理 2 日後		処理 7 日後	
		調査数	死亡率%	調査数	死亡率%
ヒラタアブ類	第1区	14	0	37	0
	第2区	11	9.1	21	0
	対照区	12	0	16	0
ゴミムシ類	第1区	0	—	2	0
	第2区	1	0	2	0
	対照区	0	—	0	—
テントウムシ類	第1区	2	0	9	0
	第2区	4	0	2	0
	対照区	0	—	0	—
クモ類	第1区	21	0	12	0
	第2区	22	0	23	0
	対照区	3	0	15	0
ムカデ類	第1区	0	—	2	0
	第2区	1	0	3	0
	対照区	0	—	2	0

表-10 その他の昆虫類の死亡率

昆虫名	処理区	処理2日後		処理7日後	
		調査数	死亡率%	調査数	死亡率%
シヤクガ類 スガ	第1区	4	50.0	13	23.1
	第2区	9	11.1	15	13.3
	対照区	1	0	6	0
スガ類	第1区	2	0	16	0
	第2区	3	0	7	0
	対照区	2	0	4	0
キバガ類	第1区	0	—	3	0
	第2区	0	—	3	0
	対照区	0	—	0	—
アワフキ類	第1区	7	0	31	0
	第2区	5	0	42	0
	対照区	2	0	15	20.0
ジョウカイボン類	第1区	4	0	5	0
	第2区	2	0	8	12.5
	対照区	4	0	2	0

③ 散布Btの土壌中での残留

表-11 散布後の土壌中でのBtの消長

土壌1g当り芽胞数

散布後の日数	第1区	第2区
直前	0	0
直後	1×10^5	1×10^5
7日	0	1×10^3
30日	0	2×10^4
3ヶ月	1×10^3	0
11か月	0	0
12か月	1×10^4	0
16か月	0	0

調査結果を表-11に示す。物分的に約1か年後にごく少量の残存が認められたが、これが散布Btであるか土着のものであるか確認しなかった。

考察

室内における予備試験の結果ではBt特にB-65はコスジオビハマキ老令幼虫に対してほぼ100%の殺虫力がみとめられたが、空中散布では直接殺虫率は30%程度であった。種々な理由によって殺虫率の低下がもたらされているであろうが、なかでも幼虫の発育段階や気象条件などは大きな理由であったと推察された。

Btによる直接の殺虫力は、必ずしも量的に大きいものではなかったが、次世代の発生を決定する重要な要因である成虫羽化数に影響を及ぼし、散布区の羽化数は対照区の4分の1以下であった。散布翌年の発生をみても、コスジオビハマキの発生密度は低く、被害の発生はなかった。防除効果は次世代以後での個体群密度の制御の状況にも求められるもので、この点Btの散布効果は永続的な密度制御の可能性を示しているが、散布対象区においても翌年の密度が大きく減少したため、実質的な対照区とはならず、厳正な比較検討は困難であった。

2. カラマツ林のハマキガ類等のBtによる防除(木曾分保護研, 天敵微生物研)

(1) 予備試験(室内接種)

カラマツイトヒキハマキ老熟幼虫を対象にBtの数種の亜種を接種試験した結果は表-12の通りであった。

表-12 カラマツイトヒキハマキ(老令幼虫)に対するBtの病原力(

(死亡率±S.D.)

Bt 亜種	Bt.Var. galleriae	Var.aizawai	Var.alesti	Var. thuringiensis
稀釈率原液の倍率	%	%	%	%
$2^8 \times 100$	60 ± 43	55 ± 19	25 ± 19	35 ± 10
$2^5 \times 100$	40 ± 18	35 ± 10	60 ± 37	65 ± 19
$2^4 \times 100$	55 ± 10	45 ± 34	85 ± 19	40 ± 37
$2^3 \times 100$	35 ± 25	60 ± 16	60 ± 23	55 ± 30
$2^2 \times 100$	75 ± 25	65 ± 25	65 ± 19	70 ± 26

この結果カラマツイトヒキハマキはBtに感受性であることがわかった。いずれのBtも400倍すなわち芽胞数で $10^8 \sim 10^9/ml$ 液で65~75%の死亡率であった。若令に対

してはもっと効力があると推察された。

(2) 野外散布試験

(a) 岩村田営林署長倉山国有林109班のカラマツ林に発生したカラマツイトヒキハマキを対象に散布試験を行なった。

供試BtはBt.Var galleriae, Var aizawai, およびVar, alestiの3種で, 1区面積10×10m, 調査対象木を各区20本選んだ。

Btはいずれも1,000倍液を用い, 400ℓ/haの割合で動噴により散布した。対照としてMEP1,000倍液を用いた。

調査に当っては枝にカンレイシヤ袋をかける方法で死亡率を調べた。また枝のサンプリングによって密度調査も行なった。

試験結果

調査の結果を表-13~15に示す。

表-13 散布1週間後採取した枝の調査結果(1週間後)

区 分	枝 数	幼虫数	健全虫	死 虫	死 虫 率
Bt.var.galleriae	38	238	209	29	12.2%
var.aizawai	42	279	247	32	11.4
var.alesti	44	444	372	72	16.2
M E P	40	375	122	253	67.5
対 照	38	321	307	14	4.3
M E P (24時間後)	40	199	17	182	91.5

◎ 薬剤散布 4.8.6.6 ◎ 調査月日 1週間後 6.1.2
1週間後 6.1.9

表-14 散布2週間後採取した枝の調査結果(2週間後)

var~galleriae	38	303	170	133	43.9
var.aizawai	42	345	215	130	37.7
var.alesti	44	243	127	116	47.7
M E P	40	220	86	134	60.9
対 象	38	293	265	28	9.5

表-15 (a) 寒冷沙袋による調査結果(1週間後) (b) 同 左(2週間後)

区分	%	一週間後の状況と死虫率					健全幼虫の更に一週間後			%	調 査 幼虫数	健全虫	死虫	蛹化	死虫率
		調 査 幼虫数	健全 幼虫	死虫	蛹化	死虫率	死虫	蛹化	死虫率						
var galieriae	21	73	65	8		% 10.9	18		% 27.7	17	90	53	28	9	31.1
	22	44	39	5		11.3	23		58.9	18	67	38	25	4	37.3
	23	51	46	5		9.8	17		36.9	19	35	20	15		42.8
	24	99	85	14		14.1	48	12	56.4	20	47	23	19	5	40.4
var aizawai	29	35	31	4		11.4	11		35.4	33	18	10	5	3	27.8
	30	23	21	2		8.7	15	1	71.4	34	34	20	11	3	32.4
	31	87	78	9		10.3	36	1	46.1	35	28	13	12	3	42.9
	32	19	18	1		5.3	62		66.7	36	22	12	9	1	40.9
var alesti	41	35	29	6		17.1	13		44.8	44	17	8	8	1	47.1
	42	32	29	3		9.3	9		31.0	45	32	20	9	3	28.1
	43	12	12	1		7.7	5		41.7	46	28	15	13		46.4
	47	18	15	3		16.6	3		20.0	48	34	19	12	3	35.3
MEP53	73	18	55		75.3	12	5	66.7	57	20		20			100.0
54	20	3	17		85.0	0		0	58	12		11	1		91.7
55	77	15	62		80.5	6		40.0	59	17	1	16			94.1
56	46	2	44		95.6	2		100.0	60	19		18	1		94.7
対照	5	68	65	1		1.4	7	20	10.7	6	94	67	17	10	18.1
	8	71	68	3		4.2	5	31	7.3	7	42	30	11	1	26.1
	11	27	24	1		3.7	2	13	8.3	9	46	38	4	4	8.6
	12	35	32	1		2.8	2	16	6.2	10	33	24	6	3	18.1

◎ 薬剤散布月日 4.8.6.6
◎ 調査月日 1週間後 4.8.6.1.2
2週間後 4.8.6.1.9

枝のサンプリングにより調査した結果は1週間後で10~15%の死亡率であり、var. 間に大差はみとめられなかった。これに対しMEP(殺虫剤)は1日後で約90%死亡した。2週間後では各var.とも40~50%の殺虫効果を示した。

カンレイシヤによる調査結果でも1週間後では10%前後、2週間後で約40%の死亡率しかなかった。以上の結果からBtは合成農薬MEPのような速効的で高率の死亡をもたらす働きはないことがわかった。

(b) カラムツの害虫イトヒキハマキ、およびツツミノガの防除にBt利用の可否をみるため、岩村田営林署長倉山国有林74林班カラムツ林で散布試験を行なった。

カラムツ林0.1haにBt.var.thuringiensis 1,000倍液(芽胞数 10^8 /ml液)を200g/haの割合で散布し、散布区および無散布区における生存幼虫数の変化を散布直前、1, 2, 3週間後の4回調査した。

調査は各区30本のカラムツを任意にとり、1本から枝先より30cm長のサンプルを、樹冠中央部の東西南北の各部分より1サンプルずつ計4サンプルをとって、そこに見いだされる全昆虫について数と生死をみた。

試験結果

調査の結果は、表-16の通りであった。

表-16 カラムツ1本分(4サンプル)当りの生存幼虫数±S.E.

処 理	対 象 種	直 前	1 週 後	2 週 後	3 週 後
Bt.var. thuringiensis	イトヒキハマキ	1.27±0.24 (100)	0.47±0.14 (37)	0.57±0.15 (39)	0.07±0.05 (6)
	ツツミノガ	1.53±0.32 (100)	0.93±0.23 (61)	3.23±0.51 (211)	1.37±0.27 (90)
Cont	イトヒキハマキ	1.33±0.31 (100)	0.73±0.15 (55)	0.73±0.15 (55)	0.43±0.63 (32)
	ツツミノガ	7.00±1.18 (100)	5.73±1.14 (82)	14.57±1.73 (208)	9.00±1.23 (129)

イトヒキハマキはBt散布によって生存密度が下り防除効果がみとめられたが、カラムツツツミノガではBt散布後も生存虫の密度低下はみられず、この昆虫に対して殺虫効果がないようである。

(3) 考 察

カラムツの食葉性害虫のうちマイマイガについてはウイルス(CPV, NPV)による防除が研究されてきているが、そのほかの害虫についての微生物防除の試みは、わが国ではなされていなかった。しかしカラムツ林におけるマイマイガ以外の昆虫による被害も大きく、特にイトヒキハマキ、ツツミノガ、オオチャバネフユエダシヤク等による被害は、場所により大きい。このためこれら害虫の微生物による防除を試みたが、室内および野外試験の結果から、イトヒキハマキに対してはBtによる防除が可能であることがわかった。防除効果は単にその殺虫によるばかりでなく、Btのもつ食害阻止作用による被害防止効果が大きかった。

オオチャバネフユエダシヤクは流行性のウイルスNPVが検索されたが利用に当たっての量が困難なため実用できなかった。しかしBtに感受性であることが判明した($LC_{50} \geq 10^8$ spore/ml)ので、Btによる防除も可能である。マイマイガもBtに対して感受性であるので、カラムツ害虫の大部分はBtを主体とする防除が可能であることがわかった。ただしカラムツツツミノガはその習性のためか、あるいは感受性がないためか不明であるが散布による防除効果は全くなかった。

3. マツカレハのCPV(細胞質多角体病ウイルス)およびBtの混用による防除 (天敵微生物研・四国支保護研・保護部昆虫1研)

(1) 基礎的実験

マツカレハの防除にCPVを利用することは速効性を要求されない条件の下では極めて有効であり、密度の変動にも影響を及ぼすものであるが、発生が目立ってきている場合には速効性が要求されるので必ずしも利用に適しているとはいえない。またBtはCPVに比較してかなり速効的であり、被害発生時の防除手段としては有効であるが、永続的な密度抑制という点では不満足である。したがってこの両者の特性を組み合わせることを目的として、CPVとBtの種々な濃度の組み合わせによる接種試験を行なって、殺虫率を調べた。

CPVとしてマツカレハCPVを、Btには血清型VとⅦに属する2系統を用いた。Btはそれぞれ原液の 4×100 倍、CPVは 10^4 , 10^5 , 10^6 /mlになるような濃度の組み合わせの液を接種原とした。

試験結果

試験の結果は表-17の通りである。

表-17 接種後毎日調査最終18日後

10日, 14日, 18日の調査によるBT剤のLC50値は表のとおり
 $\log LC = 2 + x \log 4$ LC50に相当する $x = m$ とする。
 表には m の値を示す。範囲は95%信頼限界。

CPV	Bt	var. galleriae	var. aizawai	cont 0
10^4	(10)	$Y_0 = -0.41x + 5.70$ $m = 1.69 \pm 0.53$	$x=4$ 3 2 1 % % % % (10) 30 22 86 82	(10^4) % 16
	(14)	$Y_0 = -0.49x + 6.04$ $m = 2.14 \pm 0.40$	(14) 40 30 88 100 (18) 50 36 90 100	36 44
	(18)	$Y_0 = -0.48x + 6.09$ $m = 2.26 \pm 0.39$		(10^5)
10^5	(10)	$Y_0 = -0.30x + 5.32$ $m = 1.10 \pm 0.96$	(10) 22 22 90 58 (14) 22 30 92 84 (18) 30 40 92 84	8 26 58
	(14)	$Y_0 = -0.45x + 5.93$ $m = 2.09 \pm 0.48$	以上LC計算不能	
	(18)	$Y_0 = -0.31x + 6.00$ $m = 3.24 \pm 0.94$		(10^6)
10^6	(10)	$Y_0 = -0.40x + 6.01$ $m = 2.51 \pm 0.45$	$Y_0 = -0.54x + 6.79$ $m = 3.32 \pm 0.41$	6
	(14)	$Y_0 = -0.43x + 6.41$ $m = 3.32 \pm 0.55$	$Y_0 = -0.53x + 7.25$ $m = 4.22 \pm 0.64$	22
	(18)	$Y_0 = -0.19x + 6.15$ $m = 6.04 \pm 3.27$	$Y_0 = -0.41x + 7.28$ $m = 5.51 \pm 1.53$	68
計	(10)	$Y_0 = -0.38x + 5.67$ $m = 1.78 \pm 0.56$	$Y_0 = -0.50x + 6.43$ $m = 2.83 \pm 0.39$	(10^7) 16
	(14)	$Y_0 = -0.49x + 6.10$ $m = 2.25 \pm 0.38$	$Y_0 = -0.58x + 6.93$ $m = 3.33 \pm 0.39$	62
	(18)	$Y_0 = -0.39x + 6.20$ $m = 3.08 \pm 0.51$	$Y_0 = -0.60x + 7.23$ $m = 3.69 \pm 0.43$	90

この試験結果からは、マイマイガの場合とちがってCPVとBtの混用が、それぞれの効果を高めているように思えない。しかしマイマイガの場合とちがって相乗的作用はみられないが、総合の殺虫率は単独の場合よりよい。経過日数が増加するほどCPVの効果が現われてくるので、併用は実用性があることが推察された。

(2) 地上散布による野外試験

高知営林局松山営林署大谷山国有林においてCPVとBtの混合液の散布によるマツカレハ防除効果をみるため、秋の老令期に地上散布を行ない、死亡率、生存率を調べるとともに調査木における生存数の変化を調べ、また被害量の推定のために排糞量を調査した。

供試CPVはマツカレハCPV 10^{11} 個/ha, 200 l/ha 散布BtはB-61, 培養原液の200倍 ($10^8 \sim 9$ spores/ml), 200 l/ha 散布, 散布面積各区2ha, 調査は各区10本の調査木による個体数の推移およびカンレイシヤ袋による死亡率、摂食量の調査を行った。

試験結果

個体数の推移、死亡率、摂食量の変化等の調査結果を表-18に示した。

マツカレハ若令期にCPV, Btを単独で、または混合して散布するといずれの場合も生存率や摂食量の減少をもたらすが、特に両者の混合液は効果が大きかった。混合するとCPVの効果もよくなる傾向であった。CPV単独区の密度の減少が遅く起こるのに反しBt区、BtとCPV混用の密度減少は早くから始まり、いわば速効的であった。また混用区の死亡の発生は、時間が経過するとCPV区と同様になった。すなわちBtとCPVの効果を兼用した様相であった。

またこの地域ではヤドリアメバチが秋に寄生するのが、かなり高率でみられた。ハエの寄生も比較的多かった。これらの天敵昆虫の働きは、微生物の散布によってさまたげられることはなかった。

(3) 空中散布による野外試験

CPV, Btおよびその混合のマツカレハ防除効果を検討するため、それぞれの水浮遊液を60 l/haの割合で空中散布した。CPVは43.6ha多角体濃度 10^{11} /ha, CPV, Bt混用区は51.7ha多角体濃度 10^{10} /ha, Bt300倍, Bt区は55.6ha, Bt濃度300倍, 周辺林分を無散布対照区とした。

調査は生存、死亡率(要因別、推移)、密度推移、排糞量推移、Bt落下量、状況等について行った。

(a) ○調査木1本当り個体数の推移(1974.10.17散布) ($\bar{x} \pm S.E.$)

区	Cont	Bt	Bt+CPV	CPV
10月17日	24.6 \pm 4.3(1.00)	8.5 \pm 1.0(1.00)	16.5 \pm 2.5(1.00)	10.8 \pm 2.9(1.00)
10月29日	16.4 \pm 5.0(0.67)	6.2 \pm 2.0(0.73)	9.5 \pm 2.6(0.58)	15.0 \pm 4.1(1.39)
11月20日	21.2 \pm 5.0(0.86)	4.2 \pm 1.3(0.49)	6.1 \pm 0.9(0.37)	10.0 \pm 3.1(0.93)
1975年4.14	18.0 \pm 1.5(0.73)	8.2 \pm 4.8(0.96)	6.7 \pm 1.5(0.41)	12.1 \pm 2.9(1.12)

(b) ○袋かけ法による死亡率調査

区	期 間	袋 数	総供試数	生存率	CPV	死 亡 因 別 死 亡 率			Misc	死亡率計
						Bb	Dip	Hym		
Cont	10.17-10.29	5	146	100%			31			0%
	10.29-11.22	5		100						0
	11.22- 4.21	5	159	53.46	0	0	31.4	21.83	22.01	46.54
	(10.17- 4.21)	3	150	63.33	0	0	20.0	14.00	20.67	36.67
Bt	10.17-10.29	5	475	94.11	0	126	0	0	4.63	5.89
	10.29-11.22	5	295	96.95	0	0	0	0	3.05	3.05
	(果積)			(91.24)	(0)	(126)	(0)	0	(7.50)	(8.76)
	11.22- 4.21	5	340	55.00	0.59	0	20.6	19.71	22.65	45.00
	(果積)			(50.18)	(0.53)	(126)	(7.88)	(17.98)	28.17	49.82
Bt+CPV	10.17-10.29	5	502	86.85	1.99	100	0	0	10.16	13.15
	10.29-11.22	5	350	81.43	14.29	0	0	0	4.28	18.57
	(果積)			(70.72)	(14.40)	(100)	0	0	(13.89)	(29.28)

注: Hymはヤドリアメバチが主であった。

(c) ○排糞量(乾燥重量%) \pm S.E.

区	期 間	1 0.1 7	1 0.2 9	1 1.2 2	4.2 1	合 計
Cont	1頭当り			0.21 \pm 0.04	0.69 \pm 0.14	1.110.0%
	頭初100頭	0.21 \pm 0.03 210		210	690	
Bt	1頭当り			0.12 \pm 0.01	0.52 \pm 0.04	704.7
	頭初1,000頭	0.10 \pm 0.01 100		115.1	489.6	
Bt+CPV	1頭当り			0.13 \pm 0.02	0.30 \pm 0.05	391.6
	頭初1,000頭	0.06 \pm 0.01 60.0		114.1	217.5	
CPV	1頭当り			0.14 \pm 0.01	0.33 \pm 0.03	516.4
	頭初1,000頭	0.10 \pm 0.01 100.0		138.0	278.4	

(a) 生存率・要因別死亡率の推移(1975.4.24~25散布)

区と事項	4.25-5.8		5.23		6.6		6.20		7.3		羽化率
	A=B	%	A	B	A	B	A	B	A	B	
Cont											
生存率	8692										
死亡率	1308		1220		3267		3119		5810		75 (47)
CPV	0		0		0		0		0		
B.b.	0.47		0	0.47	495		624		857		
Dip.	7.48		0	7.48	0		275		952		
Hym.	0.47		146	1.74	792		0		0.95		
Misc.	467		1073	1400	1980		2202		3905		
Bt											
生存率	7113										
死亡率	2887		1398		1765		192		1146		93 (41)
CPV.	0		0		0		0		0		
B.b.	0		0		0		0		0		
Dip.	979		0	979	0		0		0		
Hym.	0		0		353		0		0		
Misc(+Bt)	1907		1398	2901	1412		192		146		
Bt+DCV											
生存率	4508										
死亡率	539		2123		1806		1215		2788		47 (16)
CPV.	0.4		330	201	139		187		192		
B.b.	0		0		0		0		0		
Dip	490		0	490	0		0.93		6.73		

Hym.	196	0.94	239	278	340	0.93	367	0	367		
Misc(+Bt)	4657	1698	5439	1389	5943	841	6193	1923	6695		
DCV.											
生存率	8169		6915		5022		3840		1752		65 (52)
死亡率	1831	1535	3085	2737	4978	2353	6160	5437	8248		
CPV.	0.47	0.99	128	0	128	294	276	291	388		
B.b.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Dip.	892	0.50	934	0	934	294	1082	971	1455		
Hym.	0.94	347	377	737	887	0	887	0	887		
Misc.	798	1040	1648	2000	3031	1765	3917	4175	5520		

注: A: 期間初数に対する率 B: 散布時(頭初)数に対する率の累積
羽化率は頭初数に対する比, ()内は♀の羽化率

(b)

排糞量, A期初1頭当重量g, B頭初1.000頭幼虫の蛹化までの各期毎の重量, C.Bの累積

区 項	Cont			Bt			Bt+DCV			DCV		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
4.24-5.8	0.88	880.0	880.0	0.37	370.0	370.0	0.18	180.0	180.0	0.84	840.0	840.0
-5.23	0.97	843.1	1723.1	0.69	490.8	860.8	0.51	235.0	415.0	0.96	784.2	1624.2
6.6	1.17	892.9	2616.0	1.77	1083.1	1943.9	1.18	428.3	843.3	1.37	947.4	2571.6
-6.20	1.96	1007.2	3623.2	4.79	2413.7	4357.1	2.74	814.9	1658.2	3.03	1521.7	4093.3
-7.3	1.15	406.6	4029.8	3.32	1640.7	5997.8	2.29	598.4	2256.6	1.47	564.5	4657.8

表-20 落下糞量による幼虫数の推定とその推移

	受け枠	推定幼虫数 / m ²					卵塊
	%	Apr.18	May 7	May 8	June17	June18	Sept.19
CPV区(1)	64	20.12	12.40	14.87	6.43	9.76	0/13本
	94	9.88	2.12	1.58	0.21	0.55	
	95	29.10	10.51	9.18	1.91	2.15	
	121	14.49	5.46	8.73	4.89	0.47	
	122		11.19	12.33	9.77	4.13	
	$\bar{x} \pm S$	18.40 \pm 8.27	8.34 \pm 4.37	0.34 \pm 5.00	4.64 \pm 3.76	3.41 \pm 3.85	
CPV区(2)	104	8.21	2.35	2.32	1.58	0.45	
	105	0.54	2.23	1.71	3.62	1.78	
	106	3.89	1.52	3.98	4.81	0.86	
	142	11.38	10.86	10.08	5.38	6.64	
	143	2.46	2.18	2.56	1.97	0.40	
	$\bar{x} \pm S$	5.30 \pm 4.42	3.83 \pm 3.94	4.13 \pm 3.43	3.47 \pm 1.68	2.03 \pm 2.64	
(Bt+CPV) 区(1)	123	10.61	1.01	4.69	2.87	0.96	1卵塊 (78粒)
	124	14.33	3.46	4.65	3.04	2.31	
	125	17.26	5.53	7.07	0.71	1.06	
	126	20.41	8.99	13.78	2.95	3.72	
	127	11.23	7.19	7.54	3.85	7.35	
	138	10.27	6.73	8.41	4.60	5.62	
	$\bar{x} \pm S$	14.02 \pm 4.12	5.49 \pm 2.86	7.69 \pm 3.35	3.00 \pm 1.31	3.50 \pm 2.58	
(Bt+CPV) 区(2)	62	30.00	7.73	9.20	1.81	1.21	
	65	30.57	8.78	10.37	3.67	1.55	
	66	18.84	5.25	4.03	1.85	1.60	
	69	14.45	4.13	4.37	2.59	1.30	
	70	27.86	11.45	11.22	3.36	1.75	
	$\bar{x} \pm S$	24.33 \pm 7.26	7.47 \pm 2.90	7.84 \pm 3.40	2.66 \pm 0.85	1.48 \pm 0.22	

表-20につづく

	受け枠	推定幼虫数 / m ²					卵塊
	%	Apr.18	May 7	May 8	June17	June18	Sept.19
Bt区 (1)	73	30.55	3.65	3.27	24.38	14.35	3卵塊 (644粒)/ 25本
	74	0.78	5.05	3.73	11.71	8.15	
	75	140.35	19.97	12.94	63.73	40.30	
	82	16.32	14.30	15.34	6.84	8.99	
	119	76.27	14.15	13.42	8.01	5.32	
	120	14.38	0.89	0.59	11.95	9.93	
	$\bar{x} \pm S$	46.61 \pm 53.24	9.67 \pm 7.51	8.22 \pm 6.37	21.10 \pm 21.79	14.51 \pm 12.97	
Bt区 (2)	83	11.82	2.09	2.99	0.68	0.56	3卵塊 (599粒)/ 7本
	111	14.14	6.58	6.32	2.74	0.29	
	112	3.92	1.89	0.99	0.24	0.18	
	113	4.72	4.28	4.41	1.60	0.55	
	114	4.29	2.94	1.49	1.23	0.33	
	$\bar{x} \pm S$	7.78 \pm 4.83	3.56 \pm 1.94	3.24 \pm 2.18	1.30 \pm 0.96	0.38 \pm 0.17	
対照区 (1)	72	9.63	8.77	15.67	10.62	7.98	2卵塊 (710粒)/ 44本
	79	29.38	30.11	38.75	6.34	5.91	
	80	79.49	58.45	101.87	43.03	24.63	
	81	70.44	68.62	108.87	4.28	5.05	
	137	61.85	51.17	76.40	18.12	17.24	
	$\bar{x} \pm S$	50.16 \pm 29.51	43.43 \pm 23.98	68.31 \pm 40.25	16.48 \pm 15.76	12.16 \pm 8.49	
対照区 (2)	129	31.44	13.07	18.26	6.92	6.86	
	130	10.83	8.22	9.67	1.73	0.78	
	131	1.65	0.97	1.78	1.49	1.08	
	135	3.00	3.49	3.98	1.37	0.64	
	136	4.50	0.94	1.49	0.28	0.39	
	$\bar{x} \pm S$	10.28 \pm 12.34	5.34 \pm 5.24	7.04 \pm 7.08	2.36 \pm 2.61	1.95 \pm 2.76	

表-21

(a) Bt落下状況

平板上のコロニー数(10cm ² 当り)			
Bt区		Bt+CPV区	
区内10平板平均±SD			
352.1±146.3(内約10%がBt)		848.7±259.6(内約18%がBt)	
区外上	0 m	411	875(内10%Bt)
	50 m	52	0
	100 m	15	4
	200 m	2	—
下	0 m	23	0
	50 m	0	1
	100 m	0	0
	200 m	16	0
	300 m	—	0

林木葉上のBt検出

CPV

松葉	Bt区25サンプル中25		Bt+CPV区25サンプル中24	
広葉樹	" 25	" 25	" 25	" 25
いずれも多数のBtを検出した。 これらのBtコロニーを水で洗いカイコに添食すると2時間~20時間で全部死亡した。				

(b) 土壌1g中のBt spore数の消長

採集日	Bt区		Bt+CPV区	
	採取か所別max	区max	採取か所別max	区max
4.23 散布前	0 0 0	0	0 0 0	0
4.24 // 後	1.55×10 ⁶ 2.5×10 ⁵ 0.2×10 ⁴	1.55×10 ⁶	5.0×10 ⁵ 5.0×10 ⁵ 1.60×10 ⁵	1.60×10 ⁵
5.22	0 10 ⁵ , 5.3×10 ⁵	5.3×10 ⁵	3×10 ⁵ , 10 ⁵ , 0.5×10 ⁵	3.0×10 ⁵
6.17	0 0 0	0	3.5×10 ⁴ , 10 ⁴ 0	3.5×10 ⁴
10.16	0 1.03×10 ³ , 0	1.0×10 ⁴	1.0×10 ⁵ , 0 0	1.0×10 ⁵

試験結果

調査の結果を表-19~21に示した。

生存率, 死亡率, 排糞量についての調査結果は次のとおりである。

- ① Bt単独散布により2週間以内の死亡率を高めることができるが, その後は死亡率の増大を認めることができなかった。Cont区に比較して生存率がよいのは, 極めて低密度地帯であったためと思われる。
- ② CPV単独散布により4週間後まではCont区に比較して高い死亡率を示していたが, それ以降はCont区の死亡状況と全く同じであった。Cont区が超高密度で, 個体群がハエや軟化病で急激に消滅していくのと同様な生存曲線を描いたことは, それ程高密度でない部分としては1つの散布の効果と考えられるであろう。Cont区に黄蘗病の流行があったのに(10%以上死亡)対しCPV区にはこれがなく, この糸状菌病の働きと同じ効果をCPV(率としては低い, ハエ, Misc.などの率への影響も含めて)が果たしたと考えてよい。
- ③ 両者の混用は極めて有効であった。2週間以内の死亡率も大きく, 速効的であり, その後の死亡も各期とも平均20%以上であり, Cont区よりはるかに低密度であるにもかかわらず, 大きな死亡率を得た。BtとCPVの混用はマツカレハ防除に有効であることが確認された。しかもCPV量は単用の10分の1で十分である。
- ④ 死亡率でみられた傾向は排糞量からみても同様であった。
- ⑤ 微生物の散布は他の天敵の働きにすくなくともマイナス効果は及ぼしてはいないといえる。

排糞数から個体数を推定する方法で個体数の推移をみた場合も, 袋調査による死亡率から推定される生存率の推移と同様の傾向を示した。

また落下ドリフトについてみると, 両区とも比較的一様に散布されたと考えられる。ドリフトは少なかった。無視できる。特にBt+CPV区ではドリフトはなかった。落下Btの活性については, 葉上および平板上に落下したBtは活性があり, 特に葉上付着Bt量は多い。土壌残留についてみると, 散布後1か月間はあまり量的にも減少せずに残留していた。しかし2か月後は激減していた。6か月後にもごく僅であるが検出されたが, 土壌中で増殖更新したものであるかどうかは不明である。

(4) ま と め

マツカレハの防除には, CPV, Btともそれぞれの特徴のもとに有効であるが, 両者

を混用すると、それぞれの特性が組み合されて、防除効果が高まる。すなわち速効性も B t と同様あるいはやや高くなり、生存率の減少も幼虫期を通じて連続的で、比較的激しく C P V の特性を示す。

またこのような効果を示すための C P V 濃度が C P V 単用の場合の 10 分の 1 でよく、大量増殖の困難なウイルスの節約にもなる。

III B t の大量培養について(天敵微生物研)

害虫防除のために散布する細菌 B t はウイルスとちがって人工培地で培養できる 10 ℓ ジャーを用いての大量培養を試行し、実用化するための見通しを得た。

(1) 培地組成

C . S . L	4.0 %
腐糖ミツ	2.0
K H ₂ P O ₄	0.1
M g S O ₄ 7 H ₂ O	0.05
シリコン	0.1
水道水	

(2) 基本的操作

培地調製後 1 時間蒸煮し沈降器でろ過し上澄液を使用する。pH 8.5 に調整 (2.0 % NaOH) タンクのカラ滅菌 (120℃ 30 分間) を行ない上澄液を入れて本滅菌をする。
pH 7.0 となる。

種菌は菌体を揃えるため Slant 培養 (普通寒天) 12 時間のものを 100 ml の液体培地に入れ 10 時間培養したものをタンク液量の 0.01 % 量を接種する。

培養温度 30℃ 液内攪拌 260 PPM 通気量 5 ℓ/分以下 内気圧 0.5 以下

(3) 培養時間と毒素形成

形態 経過時間	菌体	芽胞のう	芽胞	毒素	P H
21	+++	—	—	—	8.20
22	+++	—	—	—	8.30
23	+++	—	—	—	8.40
40	±	++	+++	++	8.85
41	+	+++	+++	++	8.90
42	+	++	+++	+++	8.98
45	+	++	++	+++	8.77
46	±	+	+++	+++	8.70
47	±	+	+++	+++	8.70

培養終了時 6 ℓ

(4) まとめ

40 時間で芽胞、毒素とも形成された。毒素は 42 時間でピークに達しその後はほとんど変化がなかった。

47 時間で培養を停止し総収量を求めた結果、 5.3×10^{12} コの毒素を得た。

培地調製に当っては調製後 pH の補正と 3.000 R.P.M 以上で沈降物を取りのぞくことが必要で、また通気量を多くすると芽胞の形成が悪く、しかも培地を泡立たせる原因となる。

IV モミ類、カラマツのハマキガ類

(a) ハマキガ類による被害がもっとも顕著にあらわれる 6 月上旬のハマキガ類の種構成を、任意に選定した 80 本のトドマツから 1~3 枝、計 120 枝の枝先より 50 cm 長の部分を切り取って調査した結果を表 22 に示した。この年にはコスジョビハマキが加害の主体であった (北海道支昆虫研)

表-22 トドマツ樹上のハマキガ類の種構成(北海道支昆虫研)

(1972年6月9日 北海道石狩郡)

種 名	個 体 数	百 分 率 (%)
コスジオビハマキ <i>Choristoneura diversana</i> Htner	1,162	92.7
トウヒオオハマキ <i>Lozotaenia coniferana</i> Issiki	4	0.3
トドマツアミメハマキ <i>Zeiraphera truncata</i> Oku	49	3.9
トドマツチビハマキ <i>Lobesia</i> sp.	28	2.3
タテスジハマキ等 <i>Archippus</i> sp.	7	0.5
モミアトキハマキ <i>Archippus issikii</i> Kodama	3	0.2
そ の 他	1	0.1

(b) モミ類カラマツにおける被害について(保護部昆虫1研)

従来明らかでない点が多かったモミ類、カラマツ類のハマキ類の加害実態について調べた。48~50年の3年間、中部地方のカラマツ、ハリモミを加害する小蛾類の分類、検索のため、各地で採集を行なった。その結果、カラマツヒメハマキ、カラマツイトヒキハマキが最も広範囲に採集され、標高1,500m付近でも普通にみられた。カラマツマダラメイガも分布範囲はそれ程広くないが、かなり高い密度で認められ、また、従来群馬県で僅かに採集されていたハイイロアミメハマキが、山梨県、静岡県下でも採集され、かなり広い分布範囲をもつらしいことがわかった。ハリモミ小蛾類としてはPetrova sp. ツヅリモンハマキ、ツガコハマキが発生し、このうち新梢内部を加害するPetrova sp.の被害が最も著しいことがわかった。

V 摘 要

- ① トドマツのハマキ類の天敵微生物として有力なウイルスが2種類、カラマツ類で1種類、

新しく検索された。またトドマツ、カラマツのハマキ類に対して病原細菌Bacillus Thuringiensis(以下Btと略す)が強い殺虫効果をもつことが判明した。Btはマツカレハ、マイマイガ等にも殺虫作用があるが、これらの害虫の病原ウイルスCPVと混用することによって、ウイルス量を大巾に節約できしかも高い効果があることが判った。その他糸状菌Beauveria sp. Entomophthora sppが検索された。これらの微生物の中からBtが取り上げられこれを中心に試験をすすめることが決定された。

- ② カラマツのハマキ類の防除にBtが有効である。トドマツのハマキ類、特にコスジオビハマキの被害防除にBt利用が可能である、マツカレハの防除にBtとウイルスとの混用が有効である。ツガカレハの防除にもBtとウイルスの混用が検討されてよいなどの結果が地上散布による野外適用試験の結果として得られた。室内実験および地上散布試験の結果に基づきトドマツのハマキ類特にコスジオビハマキを対象にBtのヘリコプターによる空中散布試験を行なった結果害虫の個体群密度を無散布対照区の $\frac{1}{4}$ 以下に抑えることができ、これより被害発生を抑制することができたマツカレハに対して、BtとウイルスCPVの混用のヘリ散を行ない、Bt、CPVそれぞれの単用の効果よりも優れた防除効果を得た。しかもCPV量はその単用の場合 $\frac{1}{10}$ でよいことも判明した。いずれの場合もヘリ散では60.0/haの散布を行なった。以上のことからマツカレハ防除にBtとウイルスの混用が実用化できるといえる。またトドマツ、カラマツのハマキ類についてもBtによる防除が実用化できる。
- ③ ウイルスは従来どおり対象昆虫を用いて大量増殖を計るが、Btは、Bt用液体培地(CSL, 腐糖ミツなどを含む)によるタンク培養が可能である。その場合30°C培養温度で、40~48時間で培養が完了し培養物1ℓで1ha分以上のBtが得られた。
- ④ モミ類、カラマツ等のハマキガ類による被害実態が明らかにされた。