

林業薬剤の環境に及ぼす影響と 合理的使用法

(1) マツクイムシ防除

マツクイムシ防除等林業薬剤の影響と使用法

—フェニトロチオン(スミチオン, MEP)によるヒノキの異常落葉枯死について—

I 試験担当者

保護部林業薬剤科林業薬剤第2研究室 大久保 良治
保護部林業薬剤科林業薬剤第2研究室 田畠 勝洋
関西支場保護部昆虫研究室 細田 隆治
森現財団法人林業科学技術振興所、前林業薬剤科長

II 試験目的

マツノザイセンチュウを伝播するマツノマダラカミキリの防除にフェニトロチオン(以下 MEPと記す)が試験的に空中散布されたのは1972年頃からであるが、1974年以降は全国的に実施されるようになった。1974年、一部のMEP空中散布地やその隣接地帯でヒノキの異常枯死木が発見された。それ故に本報ではこのヒノキの異常枯死が何に起因するかを究明すると同時に異常枯死のメカニズムについて検討し、あわせて、その防止対策について2,3の思案をこころみた。

III 試験の経過と得られた成果

1) 薬害発見の経緯と再現

1974年、奈良営林署管内の地獄谷、野山、畠傍山の各国有林および福山営林署管内、さらには大阪府下能勢郡能勢町および河内長野市、山口県熊毛郡のMEP空中散布地およびその周辺で異常な落葉とともに枯死するヒノキが発見された。この他高知県香北町でも同様な事例が報告された。このようなヒノキの異常落葉枯死現象は今までに前例がなく全く予想しなかったため、その対策は急を要し、原因究明のため関係機関の専門家による現地調査が大阪府能勢町倉垣地区および柏原地区や高知県香北町吉野地区で同年8月27日～30日の4日間にわたり詳細に調査された。その主な調査項目は空中散布地の林相、地形および土壤条件の検討や病虫害、気象害および生理障害の可能性についてであったが調査の結果はこれらのいずれでもないと結論された。また、散布薬剤による薬害の可能性についても、実

用散布濃度では薬害は生じないこと、被害木と健全木のM E P付着量に差がないこと、新葉や新芽にはまったく薬害が観察されないことなどの点から薬害と断定するまでにもいかなかった。しかし、被害の発生はM E P空中散布地域やその隣接地に限定されていることはいなめない事実でもあり、林野庁および国立林業試験場では1975年にヒノキの異常落葉枯死現象が薬害か否かを明らかにするため、名古屋管林署管内の豊橋国有林の約50年生のヒノキ造林地帯にM E P単剤およびM E PとE D Bの混合乳剤を事業散布濃度で空中散布した。その結果、上述したM E P事業散布地でみられたと同様な障害が現われた。すなわち、1976年6月にはM E P単剤区で342本中51本(14.9%)、M E P+E D B混合区で288本中41本(14.2%)の枯死木が生じたと報告している。国立林業試験場でも後述する生物検定法によって同様な結果を得ておらず、溶剤のキシレンも事業散布濃度ではヒノキの異常はみとめられないことを明らかにした。したがって、このヒノキの異常落葉枯死原因はM E P自体によって誘起されることが判明した。

2) 薬害の発現症状と被害形態

1974年大阪府能勢町倉垣地区、柏原地区および高知県香北町吉野地区の被害木発生量はそれぞれ40本($11.4 m^3$)、62本($3.5 m^3$)および1833本($138.7 m^3$)であった。材積からみても被害は樹齢と関係がないことが判る。すなわち、5年生以下の幼齢木から約80年生の高齢木まで広範囲にわたり発生している。被害は散布地やその周辺のヒノキ全体に観察されず小区域にまとまって点在する。被害形態ははじめ個々の枝条では葉色の異常としてあらわれ、約1ヶ月の期間を経て落葉枯死する。しかし、新葉(芽)は脱落しない。以上が現地でみとめられた薬害の発現症状と被害形態である。M E Pによる異常落葉個体はヒノキ切枝にM E Pを葉面散布することによって容易に検出することが可能であるがこの生物検定法によって現地調査では不明であった薬害の発現症状や被害形態がさらに明白となつた。M E Pによるヒノキの異常落葉現象はM E P処理後4~5日目に現われ、新葉(芽)を残して外觀上まったく健全な鱗片葉が個々あるいは集団状に脱落する。ヒノキ個体の中にはM E Pに対して感受性の異なる個体があり、処理数日後に顕著な落葉がみられる個体(以下感受性個体という)、処理約10日後に落葉する個体および全く異常がみとめられない個体(以下非感受性個体という)の3つのタイプに大別出来る。また、本現象はすべてのヒノキ個体にみとめられるものではなく、約10%の割合で生ずる。さらに5年生以下のヒノキ苗木では全く観察されない。

3) 樹冠の部位による感受性の差

1個体の樹冠の部位によるM E P感受性の差を検討するため、樹冠を上層、中層および下層とに分け、それぞれの部位より小枝をとり、M E P 0.25%乳剤を葉面処理し、落葉量(自

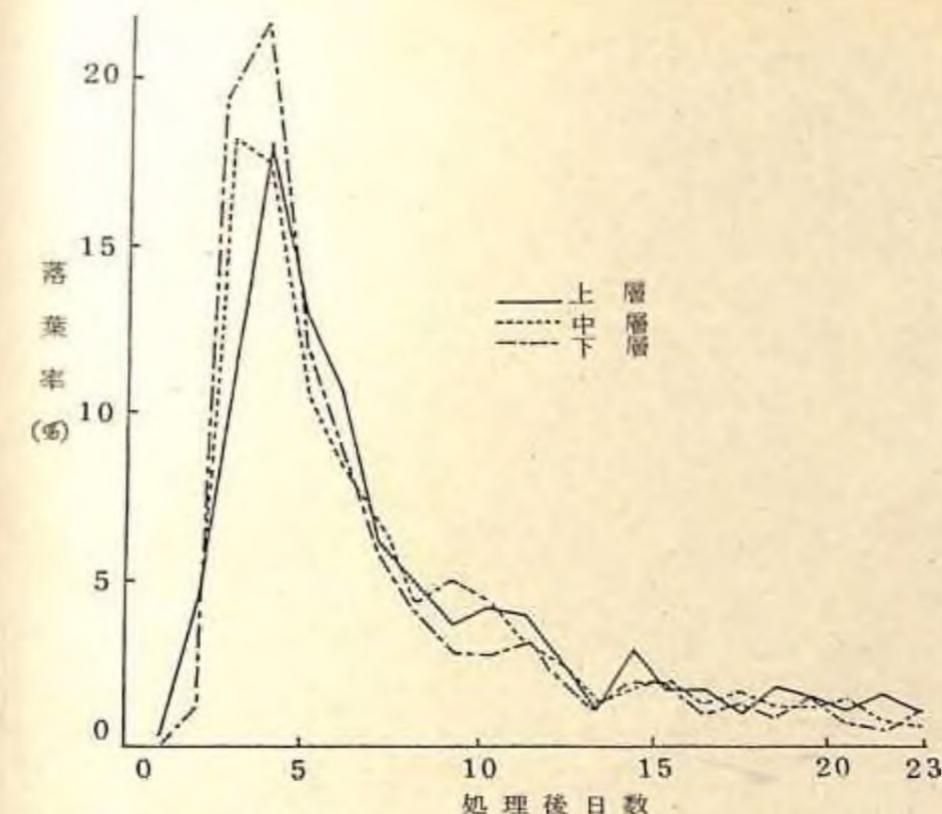
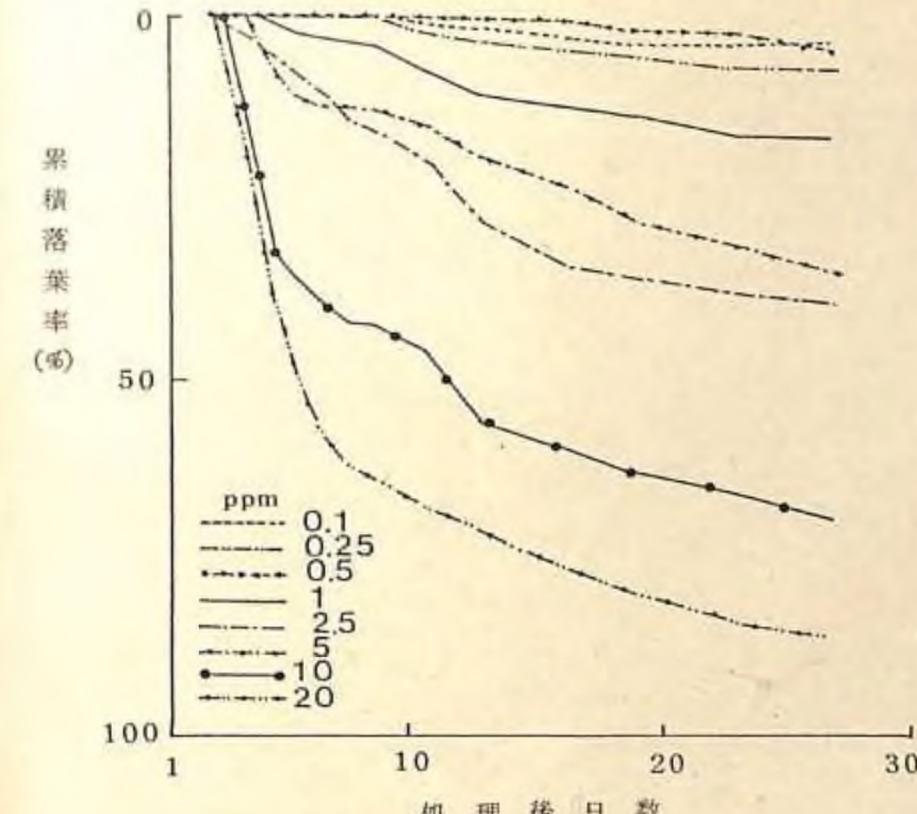
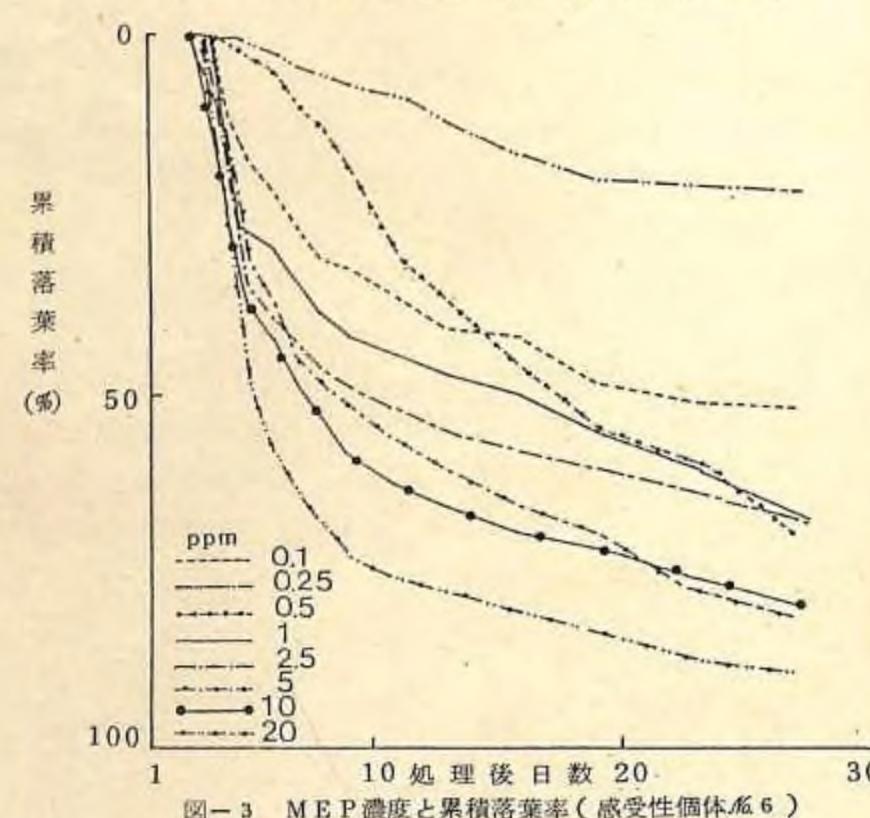
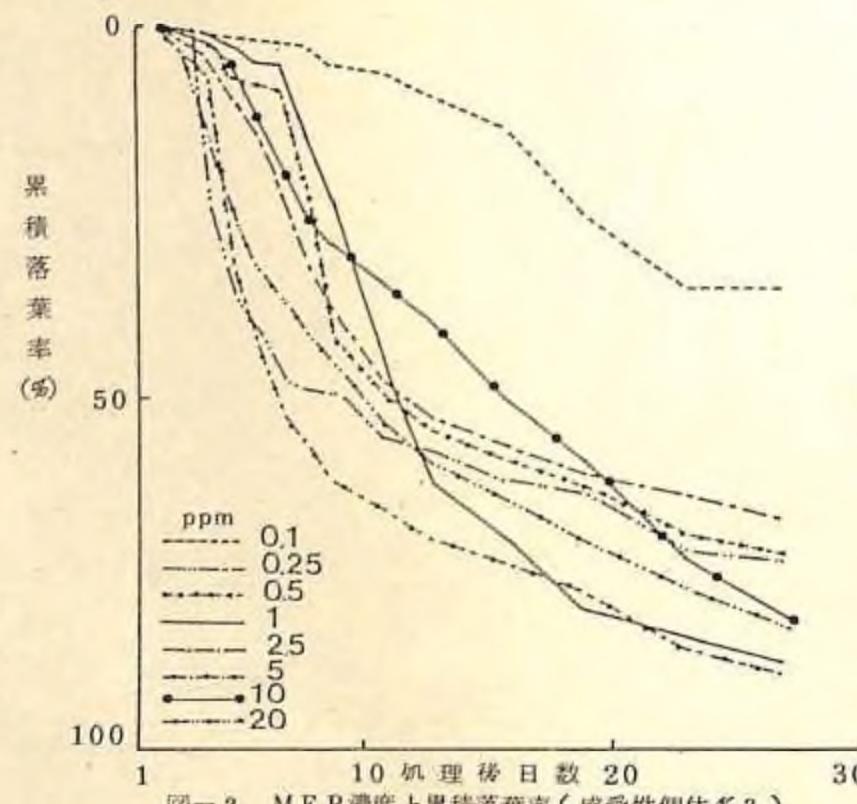


図-1 樹冠各層における感受性個体(No. 1, 4, 5, 7)のM E Pによる平均落葉率の経日変化

然落葉量+高さ1mから2回落下したさいの落葉量)を経時的に調査した。その結果は図-1に示した通りである。上層、中層および下層ともM E P処理2日後より落葉が観察され、処理5日前後で最も顕著な落葉が生じ、処理23日後ではすべての葉は脱落した。したがって、樹冠のどの部位でもM E Pに対する感受性には差がないことが判った。しかしながら、当年葉は旧葉よりもM E Pに対する反応日数(落葉が始まるまでの日数)が長い傾向がある。

4) M E Pの濃度と落葉量

感受性個体の小枝($2.5 \sim 3.0 cm$)に $2.0, 1.0, 0.5, 0.25$ および $0.1 ppm$ のM E Pを葉面処理し、水挿して $25^\circ C$ 下において。処理後毎日、一定時刻の落葉量を調査した。その結果を総じてみた場合、供試した3本の感受性個体間にもM E Pに対する薬剤感受性の差がみられるが、一般的にはM E P濃度が高いほど早期に顕著な落葉がみられ、濃度に応じた落葉現象がみとめられる。



5) 落葉と季節的な違い

感受性および非感受性個体について1977年5月～1978年4月の約1年間にわたり、最大落葉量に達する日数を調査し、季節的な差があるか否かを検討した。その結果を表-1に示した。各月別の平均日数をみてみると、5および6月では4.1および4.0日であったが、最も気温の高い7月、8月では3.1日と日数が短縮される。しかし9月～12月、1月～2月と気温が低くなるにしたがい、落葉発現に要する日数が増え、とくに1月や2月では落葉はみたものの軽度であった。3月、4月になると気温の上昇にともない日数も徐々に短くなる。一方、非感受性個体ではどの時期でも全く落葉は観察されなかった。この結果は反応日数が温度によって左右されることを示唆しており、この点についてさらに詳しく検討した結果、表-2に示したように、温度の低下にしたがい反応日数が遅延され、5℃下では全く落葉を示さなくなつた。

表-1 感受性および非感受性個体のM E P処理による落葉に要した日数

個体番号	1977												1978*	
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月*	2月*	3月	4月		
感受性個体	1	4	4	3	3	4	4	6	9	13	23	9	5	
	2	4	4	3	3	4	4	6	9	—	22	9	6	
	3	4	4	3	3	3	4	6	11	—	23	9	6	
	4	4	4	3	4	3	4	6	12	—	23	9	6	
	5	4	5	3	3	3	4	6	9	12	23	9	5	
	6	4	5	4	3	3	3	6	9	13	22	9	6	
	8	4	4	3	3	3	4	5	9	—	22	7	5	
	9	5	3	3	3	4	4	7	11	—	23	7	6	
	10	4	3	3	3	4	3	7	9	13	22	9	6	
	平均	4.1	4.0	3.1	3.1	3.4	3.8	6.5	9.9	12.8	22.5	8.5	5.7	
非感受性個体	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

— 落葉せず

* 落葉は軽度

表-2 溫度と落葉に要する日数との関係

個体番号	30°C						25°C						20°C						15°C						10°C						5°C					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
感受性個体	1	3	4	6	9	15*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	2	3	4	5	9	16*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	3	4	4	4	9	16*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	4	4	4	5	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	5	4	4	5	9	15*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	6	4	4	5	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	8	3	4	4	9	13*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	10	3	4	4	9	13*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	平均	3.5	4.0	5.0	9.0	14.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
非感受性個体	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

— 落葉せず

* 軽度の落葉

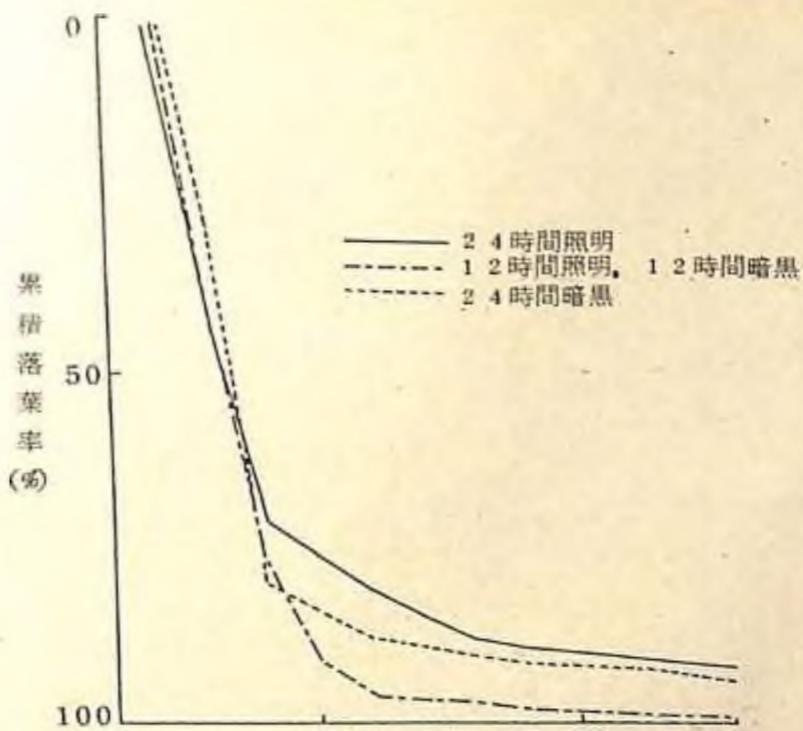


図-5 明暗条件下におけるM E P処理感受性個体(No.3)の累積落葉率

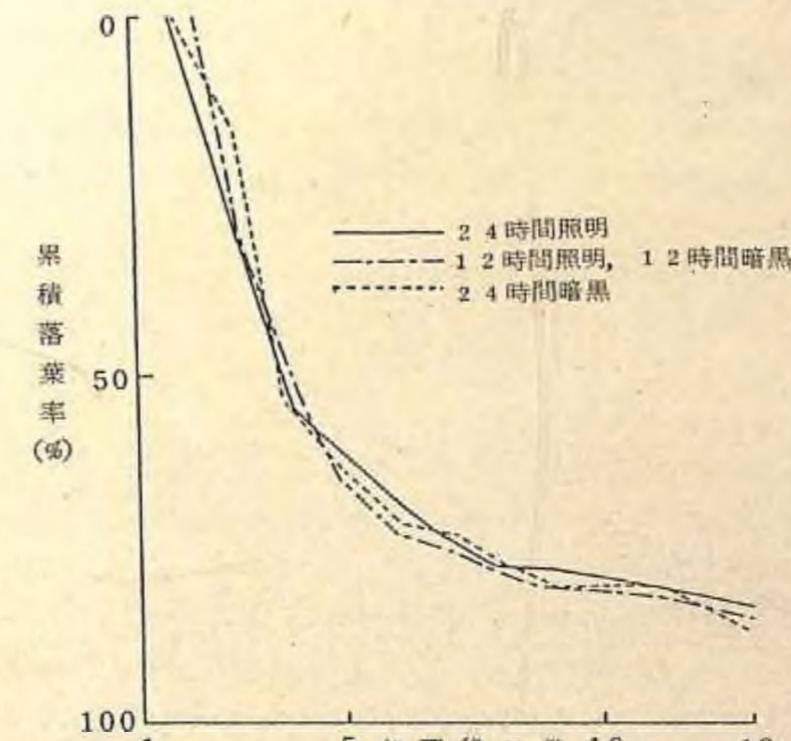


図-6 明暗条件下におけるM E P処理感受性個体(No.4)の累積落葉率

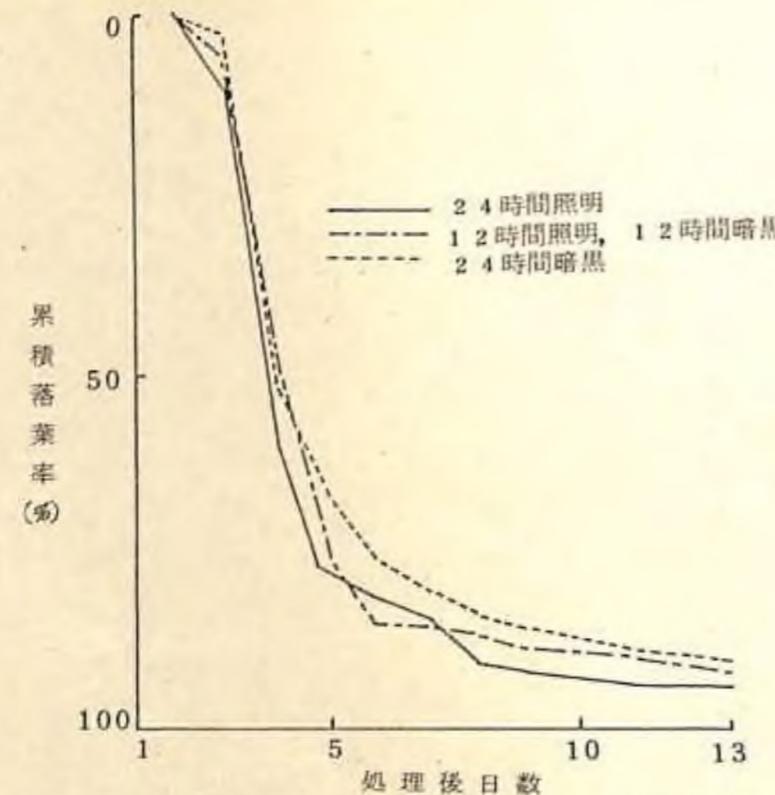


図-7 明暗条件下におけるM E P処理感受性個体(No.5)の累積落葉率

6) 明暗条件と落葉現象

人工気象装置を用いて、24時間連続照明、12時間照明12時間暗黒、24時間暗黒条件下で落葉現象の発現を調査した。実験はすべて照度は20,000 Lux、温度25°C下で行った。その結果は図-5～7に示した通りである。3本の感受性個体について明暗条件と落葉現象をみてみると、供試木中1本は明暗条件を変えても落葉現象にはほとんど差はない、他の2本では落葉までの経過に若干の差がみられたが、落葉現象と明暗条件は一定の傾向を示していない。

7) ヒノキ以外の樹種と落葉現象

M E Pによる異常落葉現象がヒノキだけに発現するものかどうかを表-3に示した13種の樹種について検討した。その結果は表-3の通りである。すなわち、ヒノキのような明白な異常落葉がM E P処理によって生ずる樹種はまったく観察されなかったが、軽度の落葉現象がみとめられた樹種はタイワンヒノキ、チャボヒバ、オオゴンヒバ、ニオイヒバ、フィリヒバ、タチビヤクシンの6樹種であった。したがって、これらの樹種ではM E Pの影響をうけたとしても、樹冠全体が落葉するような個体の出現の可能性はきわめて低いと考えられる。

表-3 ヒノキ科数種のM E Pによる落葉

樹種(又は品種)名	調査本数	落葉本数*		
		5日目	10日目	15日目
タイワンヒノキ	60	21	48	57
スイリュウヒバ	20	3	8	10
ヒムロ	14	0	0	0
チャボヒバ	16	6	16	16
オオゴンヒバ	20	2	20	20
コノテガシワ	20	0	1	10
ニオイヒバ	10	0	7	10
ギガントネリコ	10	0	1	1
イトスギ	14	0	0	7
アスナロ	40	0	0	0
フィリヒバ	10	2	7	10
カイズカイブキ	20	0	0	10
タチビヤクシン	8	0	6	8

* 軽度の落葉でM E Pの落葉とは様子がことなる。

8) 感受性個体のさし木およびつぎ木による増殖

感受性個体より81本(1977年)、425本(1978年)、255本(1979年)のさし穂を4～5月にさし木し、各年ともさし付け後半年を経過した時期に掘り取り、発根率を調べた。同様に非感受性個体についても20本(1977年)、85本(1978年)、155本(1979年)について検討した。その結果は表-4に示した通りである。感受性個体の平均発根率は1977年、1978年および1979年でそれぞれ、9.9%、5.4%および7.5%であったのに比べて非感受性個体では8.0%(1977年)、9.65%(1978年)76.2%(1979年)であり、感受性個体のさし木による発根率は非感受性個体のそれよりもきわめて低いことが判った。次に感受性および非感受性個体からつぎ穂を採取し5°C下に保存した後、4月初旬に常法にしたがってつぎ木した。台木は1977年に植栽した7年生のヒノキを供試した。その結果は同じく表-4に示した。1980年における試験結果では感受性個体の平均活着率は73.0%で非感受性個体のそれは84.3%と両者間に大差なかった。また、1981年の試験結果でも感受性および非感受性個体の平均活着率はそれぞれ65.6%および71.7%と前年と同様な結果であった。したがって、感受性個体の増殖はつぎ木によって容易に出来ることが判った。また、つぎ木によって増殖した個体のM E P

感受性を検討した結果、処理後数日目で顕著な落葉が観察され、この形質は遺伝的に次世代に継承されることが判明した。

表-4 感受性および非感受性個体のさし木、つぎ木による増殖

実施年度	感 受 性	さ し 木	つ ぎ 木
		平均発根率(%)	平均活着率(%)
1977	感受性個体	9.9	
	非感受性個体	80.0	
1978	感受性個体	5.4	
	非感受性個体	96.5	
1979	感受性個体	7.5	
	非感受性個体	76.2	
1980	感受性個体		73.0 +
	非感受性個体		84.3 -
1981	感受性個体		65.6 +
	非感受性個体		71.7 -

+ 落葉、- 落葉せず。

9) 異常落葉現象のメカニズム

(1) 取り込みと分解代謝能力

MEPによるヒノキの異常落葉現象のメカニズムを究明するには感受性および非感受性個体間のMEPの取り込み量や分解代謝能力について検討する必要がある。¹⁴C-MEPを両個体に葉面処理し、葉内への¹⁴C-化合物の取り込み量と葉内における分解代謝能力について経時的に調査した。その結果、表-5および図-8~11に示したように、両者間のMEP取り込み量には約2倍(感受性個体では非感受性個体の約2倍ほど取り込み量が多い)の差がみとめられたが、分解代謝能力には差がみられなかった。このことから、約2倍の取り込み量の違いが異常落葉現象の1因であると云えなくもないが、本現象のメカニズムを説明するには不十分である。また、葉内における分解代謝物も両個体間に質量的な差がない。図-12はヒノキ葉におけるMEPの推定分解代謝経路を示したが、葉面の主な分解代謝物はp-nitrocresolおよびMEPの酸化体(fenitrooxon)であり、葉内ではp-nitrocresolおよびそのグルコース抱合体や脱メチル体(desmethyl-fenitrothion)であった。

表-5 感受性および非感受性個体の¹⁴C-フェニトロチオンの取り込み

Time (hr)	Suscep- tibility	Fenitrothion equivalent		
		on surface (mg)	internal (μg)	unextraction (μg)
0	S	0.278	0.000	0.00
		R	0.278	0.000
		S	0.222	2.242
		R	0.207	27.54
		S	0.196	35.64
		R	0.126	30.46
		S	0.130	41.11
		R	0.134	49.27
		S	0.087	90.86
		R	0.055	59.77
		S	0.059	75.19
		R	0.032	63.49
24	S	0.045	59.88	2.35
		R	0.025	53.03
96*	S	0.031	48.61	2.57
		R	0.042	52.63
120*	R	0.075	81.01	2.83
		S	0.017	47.49
144	R	0.024	66.31	3.23
		S	0.006	40.75
192	R	0.002	71.57	7.47
		S	0.006	24.43
240	R	0.002	71.57	7.47
		S	0.006	24.43

* abscission period

S…感受性個体

R…非感受性個体

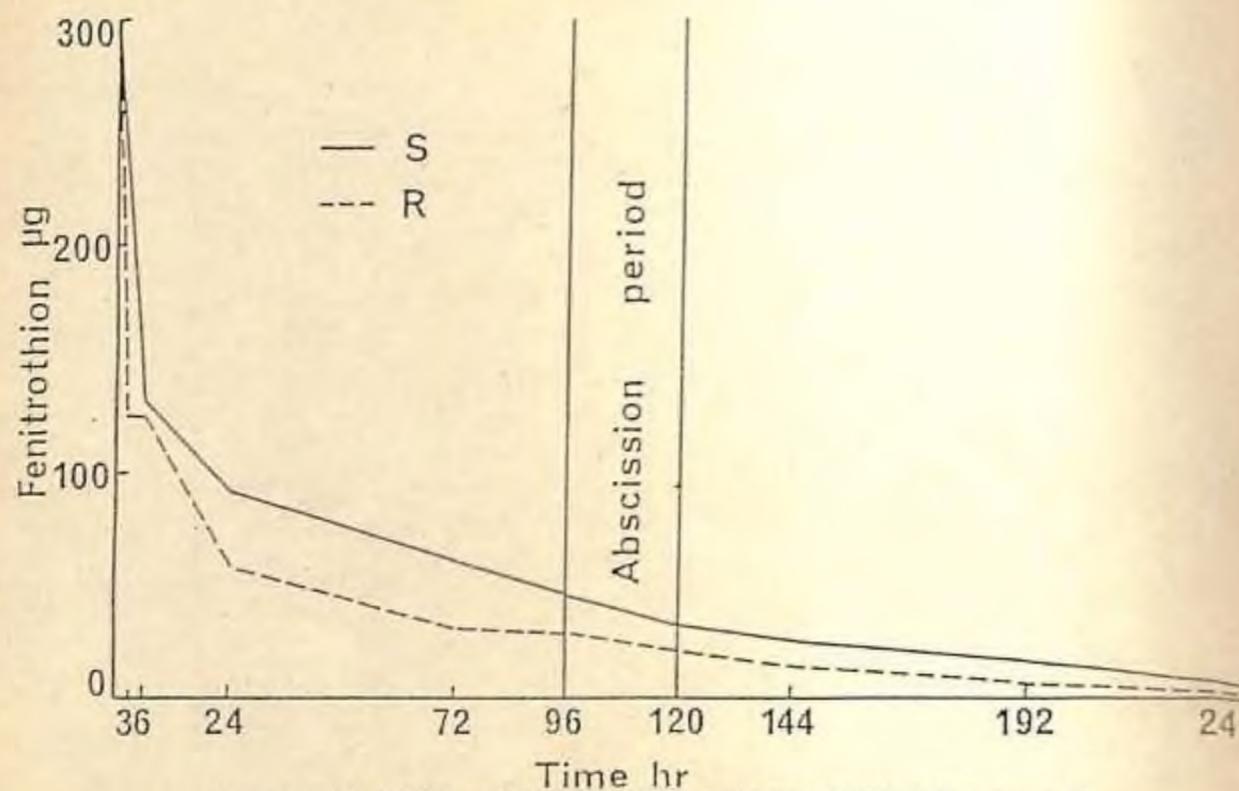


図-8 感受性(S)および非感受性(R)個体の葉面におけるM E Pの経時変化

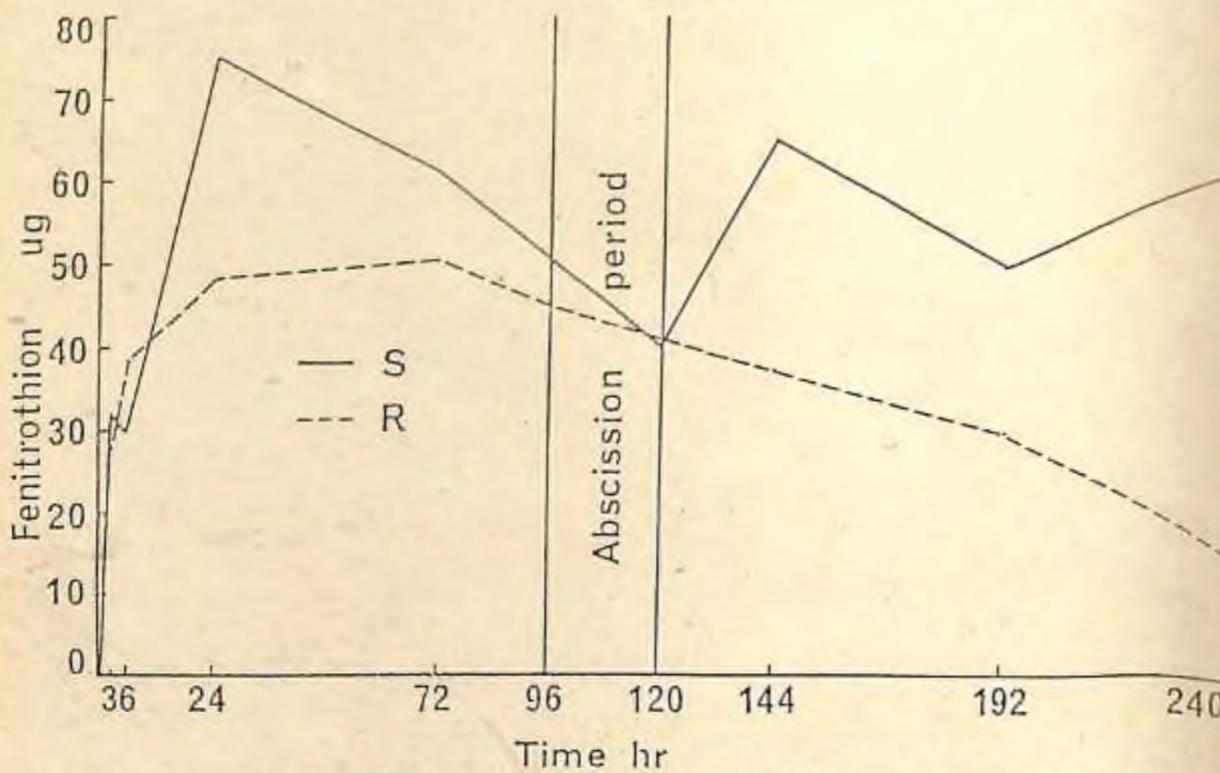


図-9 感受性(S)および非感受性(R)個体の葉内に取り込まれたM E Pの経時変化

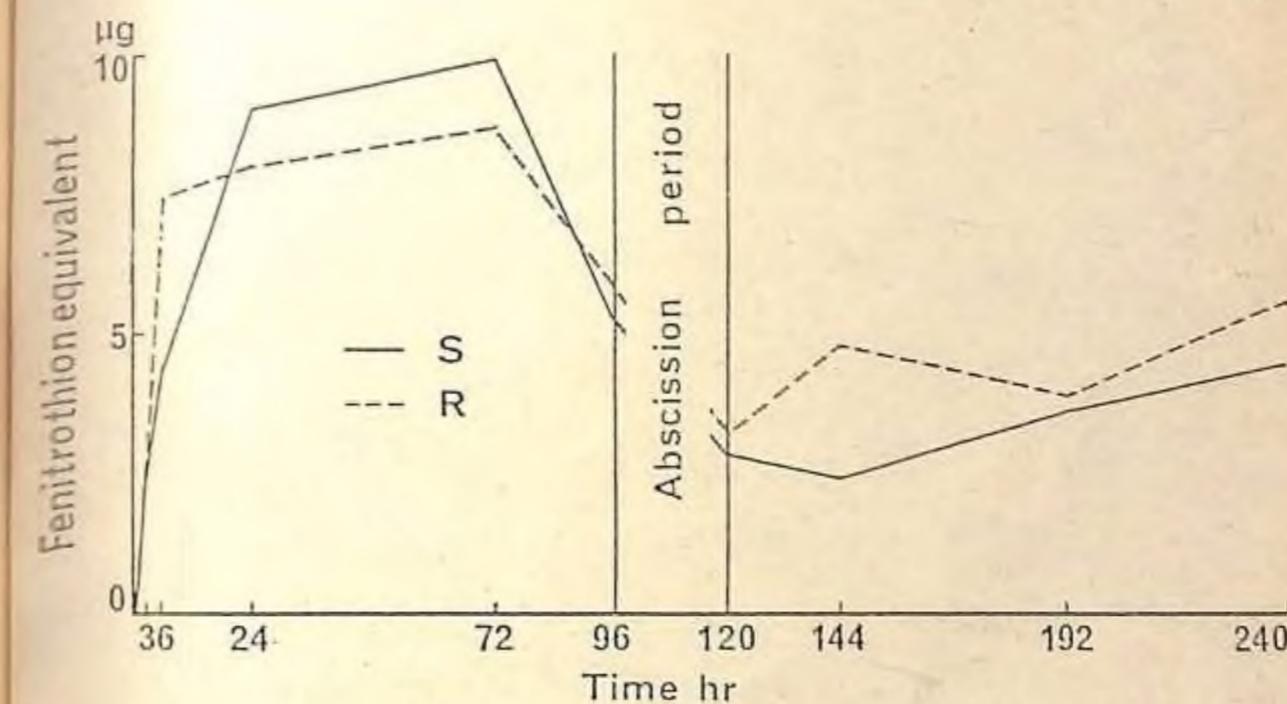


図-10 感受性(S)および非感受性(R)個体の葉内におけるp-nitrocresolの経時変化

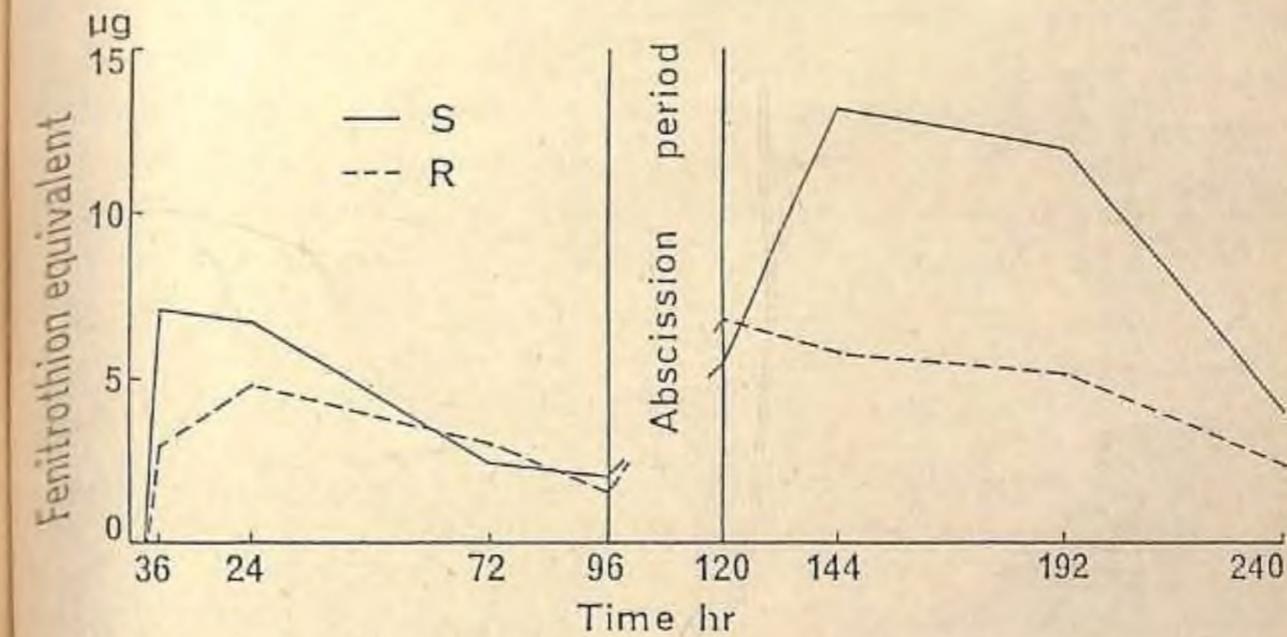


図-11 感受性(S)および非感受性(R)個体の葉内における水溶性代謝物の経時変化

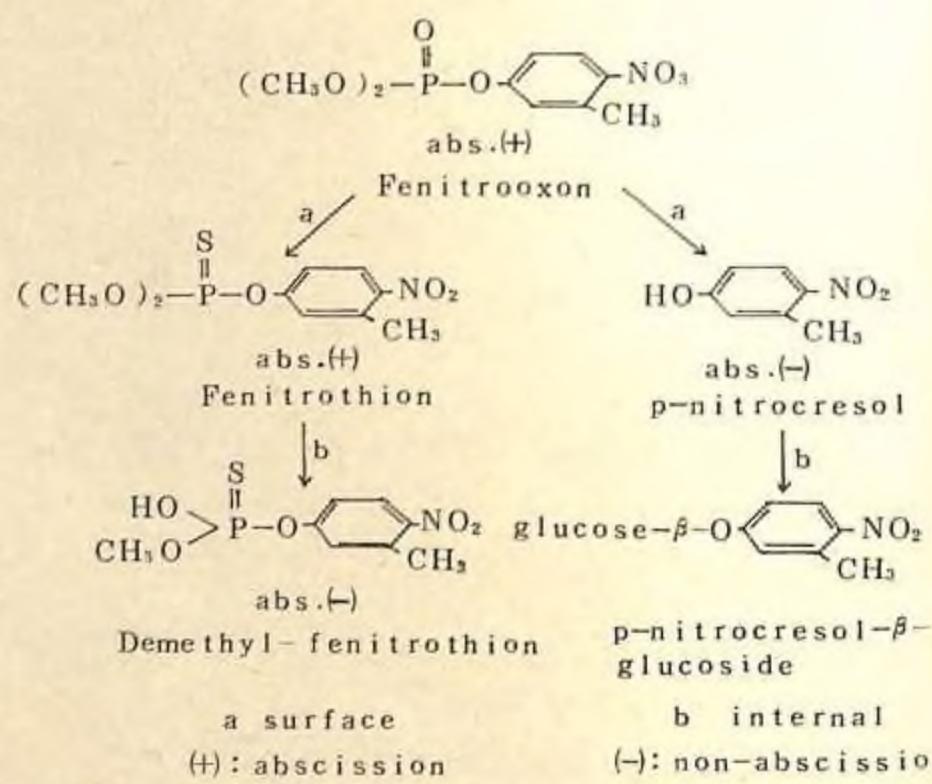


図-12 ヒノキ葉におけるフェニトロチオンの分解代謝物および代謝経路

(2) 異常落葉現象と内生エチレン

2)で述べたように、このM E Pによるヒノキの異常落葉現象は健全と思える鱗片葉が個々あるいは集団状に脱落するのが特徴であったが、この現象はまた、植物ホルモンの1種のエチレンの落葉作用にきわめて類似している。そこで、感受性および非感受性個体の切枝にM E Pを葉面処理し、500 mlのガラス容器内に密閉し、発生したエチレン量を処理5日後にガスクロマトグラフィによって分析定量した。図-13は発生した内生エチレンのガスクロマトグラムである。表-6はM E P処理によって感受性および非感受性個体から発生する内生エチレン量を示したものである。感受性個体からM E P処理によって発生する内生エチレンは非感受性個体に比較して著しく多いことが明らかである。このM E P

表-6 M E Pによる落葉と内生エチレン量

	落葉(5日目)	内生エチレン量($\mu\text{l/g}/5\text{日}$)
感受性個体	+	0.47
非感受性個体	-	0.12

Gas chromatograph
Shimazu GC-5A
Active alumina 80/100
Glass 3mm ϕ X 1m, 80°C
FID
 H_2 55 ml/min. N_2 65 ml/min
Air 0.6 l/min.
Ethylene 9.78 ppm

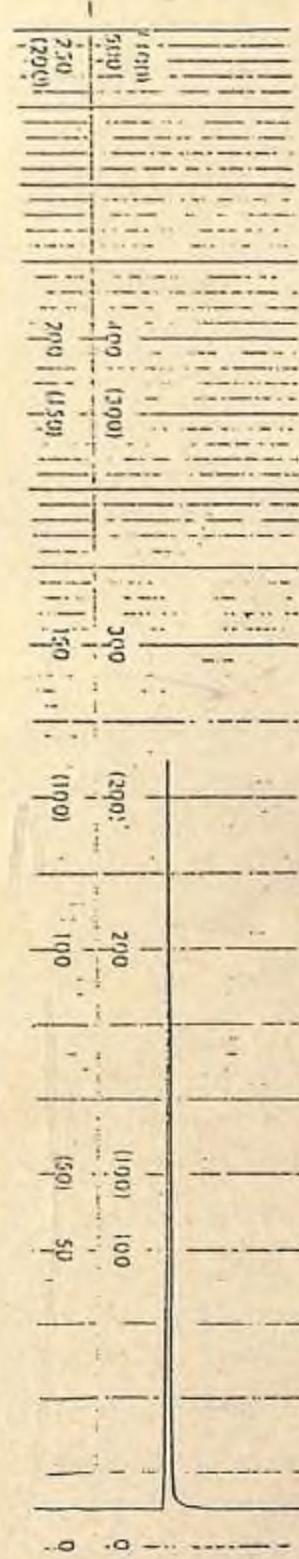


図-13 内生エチレンのガスクロマトグラム

表-7 各化合物による落葉と内生エチレン量

化 合 物	落 葉	内生エチレン量 ($\mu\ell/g/5日$)
BrK	-	0.00
N ₂	-	0.71
K ₂ MnO ₄	-	0.10
CO ₂	-	0.16
O ₂	+	1.66
Soda lime	+	1.35
MEPのみ	+	0.44
None	-	0.07

+ 落葉, - 落葉せず

によって誘起される内生エチレンがどのような性質のものかを知るため表-7に示した条件下で検討した。その結果、O₂やCO₂吸収剤であるSoda lime下では内生エチレンの発生が助長される。また、N₂下でも同じ傾向がみられる。しかし、BrやCO₂下では内生エチレンの発生が抑制されたことが判った。また、K₂MnO₄によって吸収されるため、内生エチレン量は少ない。一般に植物体から発生する内生エチレンはO₂や明条件によって促進され、暗条件やCO₂下では抑制される。したがって、MEPで誘起される内生エチレンは前述したように明暗には左右されず、N₂下でも発生する点が明らかに異なる。さて、エチレンの生成過程は多くの植物ホルモン、とくに組織内のオーキシンなどによって精密に調節されている。落葉の要因の1つにエチレンがあり、落葉過程には離層組織におけるRNAや蛋白質合成が含まれる。植物体を切断したり、放射線照射したりするような1時的傷害の場合ではエチレンの生成も1時的な増加を示し、24時間以内に消失する。しかし病原菌による感染や薬物による傷害はこれらの刺激が連続的であるためエチレン生成の増加も連続的である。エチレン生成とその作用についてはS.F. Yang(1974)やM. Lieberman(1979)によって総説されており、高等植物におけるエチレン生成の前駆物質にはlinolenic acid, methionine, α -keto- γ -methylthiobutyrate(KMB)およびpropanolなどがあり、これらがいろいろな補酵素や金属イオンによってエチレンに変換されるのであろう。ここではこれらのエチレン生成経路のうち、methionineを前駆物質とした経路について考察した。先ず、DL-methionine(0.5%)水溶液を感受性および非感受性個体に葉面処理および吸上げによって取り込ま

せ、発生する内生エチレンを測定した結果では、表-8に示したように、非感受性個体はいずれの場合も発生する内生エチレンは少ないが、感受性個体ではDL-methionineを吸上げることによって取り込まれた場合に著しい内生エチレンの放出がみとめられ、顕著な落葉が誘起された。このことから、methionineが内生エチレン生成の前駆物質であることが明らかとなつたが、両個体間の内生エチレン発生量の違いがどのような原因によるものかは不明である。methionineのエチレン生成経路にもいくつかあると考えられるかここでは次の2つの生成経路について検討してみた。

表-8 MEP代謝物およびmethionineによる落葉と内生エチレン量

化 合 物	落葉(5日目)		内生エチレン量($\mu\ell/g/5日$)	
	感受性個体	非感受性個体	感受性個体	非感受性個体
P-nitrocresol	-	-		
dimethylphosphate	+	-	0.27	0.11
dimethylchlorothiophosphate	+	-	0.29	0.02
DL-methionine	- (+)	-	0.11 (1.67)	0.14 (0.21)
None	-	-	0.06	0.09

() 吸い上げた場合

* methionine-S-adenosylmethionine-I-Aminocyclopropane-1-Carboxylic acid(ACC)-Ethylene(Adam and Yong, 1977)

エチレン生合成における中間代謝物であるACCの増加にともなってエチレンも増加するが、このACC合成の阻害剤である α -aminoxyacetic acid(AOA), Silver-thiosulfate complex(STS)およびpropyl gallate(PG)の水溶液を感受性および非感受性個体に吸い上げによって取り込まれた後、MEP(50ppm)を葉面処理し、処理5日後、発生した内生エチレン量と落葉の有無を調査した。その結果は表-9に示した通りである。すなわち、AOAやPG処理ではMEPによる内生エチレンの誘起と落葉を抑制することはない。このことはヒノキにはACC生成経路が存在しないか、存在するとしたらAOAやPGのACC合成阻害作用がMEPによってブロックされることを暗示している。同様なことはSTSについても考えられるが、興味深いことは、STSがACCの増加を阻止する作用を有するにもかかわらずSTS処理はMEPによる内生エチレンの促進作用を阻害しないが、落葉を阻止することがある。さらに、STS処理のみでも両個体からかなりの内生エチレンの放出がみとめられたことである。このことはヒノ

表-9 AOA, STS, PGおよびACCと落葉および内生エチレン量

処理	落葉(5日目)		内生エチレン量 (μl/g/5日)	
	感受性個体	非感受性個体	感受性個体	非感受性個体
2 mM AOA + MEP	+	-	3.04	0.10
2 mM AOA + MEP	+	-	2.15	0.11
2 mM AOA + MEP	+	-	8.08	0.10
2 mM AOA	-	-	0.26	0.05
2 mM AOA	-	-	0.42	0.41
4 mM STS + MEP	-	-	14.76	1.71
4 mM STS + MEP	-	-	4.21	0.77
4 mM STS + MEP	-	-	4.51	0.25
4 mM STS	-	-	10.37	1.43
4 mM STS	-	-	1.93	1.37
2 mM PG + MEP	+	-	3.42	0.08
2 mM PG + MEP	+	-	2.15	0.22
2 mM PG + MEP	+	-	7.51	0.11
2 mM PG	-	-	1.69	0.02
2 mM PG	-	-	0.23	0.02
1 mM ACC + MEP	+	-	6.80	0.09
1 mM ACC + MEP	+	-	3.11	0.18
1 mM ACC + MEP	+	-	1.65	0.11
1 mM ACC	-	-	0.70	0.17
1 mM ACC	-	-	0.35	0.12

MEP : 50 ppm

キにおいて、従来のSTS作用の再検討の必要性を示唆するものである。したがって、明確には断定出来ないが、このエチレン生成経路はMEPのエチレン生成促進作用に重要な役割を演じてはいないのではないかと考えられる。

* methionine-methional or α -ket- γ -methylthiobutyrate(KMB)
-ethylene (Mapson and Wardale, 1968)

このエチレン生成過程にはmethionalやKMBがモノフェノールやMn²⁺の存在下にペーオキシダーゼによって酸化的開裂をうけてエチレンが生成される過程が含まれている。

それ故にMEPによってこのペーオキシダーゼがどのような作用をうけるかをそれぞれ感受性および非感受性個体について検討した。感受性および非感受性個体にMEPを葉面処理し、処理後1, 2, 3および5日に各々の個体から生葉30gの鱗片葉をとりペーオキシダーゼを抽出し、等電点電気泳動法により比較検討した。図-14から明らかなように感受性および非感受性個体のペーオキシダーゼのザイモグラムから感受性個体では18本、非感受性個体では17本の酵素バンドが検出された。これらの酵素バンドのうち、両個体間に共通する酵素バンドはE₄とE'₃(Rf 0.15), E₇とE'₅(Rf 0.24), E₁₂とE'₉(Rf 0.49), E₁₇とE'₁₁(Rf 0.71), E₁₈とE'₁₂(Rf 0.76)およびE₁₉とE'₁₃(Rf 0.81)であった。図-14に示したin vivoの実験においてMEP処理5日後に感受性個体ではE₁₂～E₁₄の酵素バンドが著しく活性化され、さらにE₆およびE₁₀の酵素バンドが出現した。しかし、非感受性個体にはE₆とE₁₀と同じRf値をもつE'₄(Rf 0.21)とE'₇(Rf 0.37)とがすでに存在し、きわめて興味深い。一方、同時期における非感受性個体ではほとんどの酵素バンドがMEPの影響をうけておらず、E'₉とE'₁₀の酵素バンドがわずかに阻害されることが判った。両個体間で上述した共通の酵素バンドについてみてみると、感受性個体でMEPによって活性化された酵素バンドのうち、E₁₂と同じRf値をもつ非感受性個体のE'₉は明らかにMEPによって阻害されているがその他の共通の酵素バンドはなんら影響をうけていない。次にin vitroにおけるMEPのペーオキシダーゼ阻害を両個体の生葉10gから抽出した酵素液にMEP濃度が 1.1×10^{-1} ～ 3.6×10^{-1} Mになれるように加え、37°Cで30分間インキュベートした後、さきと同様、等電点電気泳動法によってペーオキシダーゼのザイモグラムを比較した。ペーオキシダーゼは両個体とも37°C、30分間のインキュベートによってなんら影響されない。その結果は図-15に示した通りである。MEP 1.1×10^{-1} ～ 3.6×10^{-1} Mの範囲内では感受性個体のペーオキシダーゼはまったく阻害されないが、非感受性個体のペーオキシダーゼでは酵素バンドE'₁₁～E'₁₆が 3.6×10^{-1} M以上のMEPによって阻害が生ずることが判った。したがって、in vivoおよびin vitroの実験結果を総じて考えあわせると次のようない結論となる。MEPによるヒメキの異常落葉現象は感受性個体ではエチレン生合成過程に関与する酸化酵素のペーオキシダーゼがMEPによって活性化され、多量の内生エチレンが放出され、結果として、顕著な落葉が誘起されると考えられる。

		感受性個体					非感受性個体				
		Treatment		Control			Treatment		Control		
		1 day	2 days	3 days	5 days	1 day	2 days	3 days	5 days	1 day	2 days
5 days											
3 days											
2 days											
1 day											

図-14 MEPで処理した感受性および非感受性個体の *in vivo*における
ペークシダーゼのサイモグラム

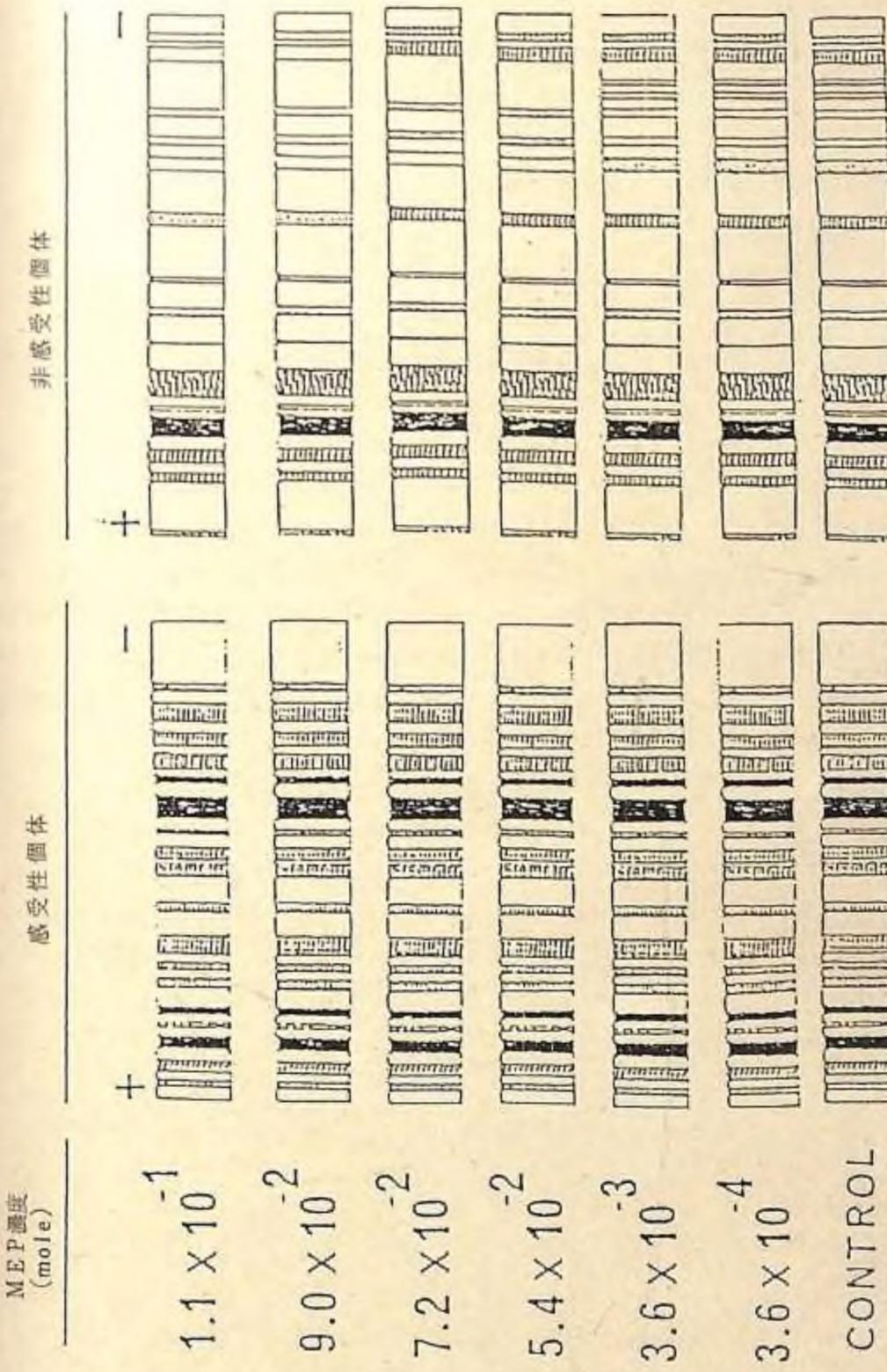


図-15 MEPによる感受性および非感受性個体の *in vitro*における
ペークシダーゼの阻害

10) MEP 以外の有機磷化合物による内生エチレンの発生と落葉現象

MEP によって約 10 % のヒノキ個体が多量の内生エチレンの放出をともなった落葉が生ずることはこれまで述べて来た通りであるが、MEP はその化学構造中 $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PS}$ をもつ有機磷剤であり、これと同じような骨格をもつ有機磷化合物が多い。この他には $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PO}$ 型や脱メチルおよび脱エチル型の有機磷化合物も数多く存在する。そこでこれらの有機磷化合物について内生エチレンの発生と落葉の有無を検討する前に、先ず、市販の dimethylchlorothiophosphate (MEP の合成時に用いられる) や dimethylphosphate さらに前述した MEP のヒノキ葉中の主な代謝産物である P-nitrocresol について内生エチレンの発生と落葉について検討した。その結果はさきに示した表-8 の通りである。感受性個体では dimethylchlorothiophosphate および dimethylphosphate によって MEP と全く同様な現象がみられ、多量の内生エチレンの発生と顕著な落葉が観察された。しかしながら、これまで MEP の十字科植物やリンゴに対する薬害の主原因とされている P-nitrocresol では全く落葉はみとめられなかつた。このことはむしろ生物体にはほとんど無害とされている dimethylchlorothiophosphate や dimethylphosphate の作用性についてさらに検討を加える必要性のみならず MEP 以外の有機磷化合物によっても異常落葉現象が生ずる可能性を示唆するものである。表-10 はいろいろなタイプの有機磷化合物による内生エチレンの発生量と落葉の有無を調べたものである。

表-10 からすでに明らかなように $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PS}$ や $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PO}$ 型の有機磷化合物では MEP と全く同じような異常落葉現象がみられ、これら以外の有機磷化合物では現象は認められないことが判った。しかしながら内生エチレンの発生量では $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PS}$ や $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PO}$ 型の化合物では全体的に多いが、これら以外の化合物でもかなり多いものもあり、必ずしも内生エチレンの発生量と落葉現象が比例的関係にあるとは一概には言えない。しかしこれらの結果から少なくともヒノキの異常落葉現象は MEP 特有のものではないことは明白である。

表-10 有機磷化合物による落葉と内生エチレン量

有機磷化合物	落葉(5日目)		内生エチレン量($\mu\text{l/g}/5\text{日}$)	
	感受性個体	非感受性個体	感受性個体	非感受性個体
$(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PS}, (\text{CH}_3\text{O})_2\text{PO}$ 型				
MEP	+	-	0.47	0.12
malathion	+	-	0.27	0.06
dimethoate	+	-	0.30	0.03
trichlorfon	+	-	0.44	0.24
fenthion	-	-	0.23	0.11
hailed	+	-	0.83	0.12
phenthroate	+	-	0.29	0.21
cyanofos	+	-	0.51	0.12
thinmeton	+	-	0.26	0.12
methidathion	+	-	0.30	0.11
ESP	+	-	0.17	0.12
dichlorvos	+	-	0.24	0.44
methylparathion	+	-	0.33	
vamidofhion	+	-	0.42	
pirimifos methyl	+	-	0.33	
oxidemeton methyl	+	-	0.47	
Monomethyl型				
Salithion	-	-	0.18	0.09
Leptophos	-	-	0.11	0.08
Mono, diethyl型				
isoxathion	-	-	0.17	0.15
diazinon	-	-	0.26	0.06
piridafenthion	-	-	0.12	0.06
chlorpiriphos	-	-	0.15	0.09
EPN	-	-	0.20	0.14
disulfoton	-	-	0.26	0.12
parathion	-	-	0.18	
cyanofenfos	-	-	0.29	
chlorfenvinfos	-	-	0.14	
None	-	-	0.06	0.09

+ 落葉, - 落葉せず。

II) 異常落葉の回避

(1) コロジオンの葉面処理

感受性個体の葉に5%コロジオン溶液を前処理した後、0.5%MEP乳剤を葉面散布し、落葉の有無を検討した結果を表-1-1に示した。

表-1-1 コロジオン処理による落葉抑制効果

コロジオン5%処理部位	落葉	
	4日	7日
葉表面	+	+
葉裏面	-	+
葉全体	-	-

+ 落葉, - 落葉せず。

葉の表面にコロジオン処理をした場合には落葉するが、裏面に処理した場合では落葉時期がわずかに遅延される。さらに全葉にコロジオンを処理した場合にはMEP処理7日後でも落葉現象は発現しなかった。これは葉の全面にコロジオン被膜が形成され、MEPの葉内への取り込みがすみやかに進行しないためであろうと考えられるが明らかではない。

(2) *Actinomycin D* 処理

エチレンはインゲンマメ (*P. vulgaris L.*)において、落葉前にRNAや蛋白質合成を刺激するが、この作用が*Actinomycin D*によって阻止されることが知られている (Abeles and Holm, 1966)。

そこで感受性個体を1, 2 ppmの*Actinomycin D*水溶液に葉全体を数秒間浸漬した後、半日後および3日後に1%のMEP乳剤を葉面処理し15日間落葉量を調査した。その結果は表-1-2に示した。全調査期間を通じて落葉率をみた場合、MEP処理区では

表-1-2 *Actinomycin D* による落葉抑制効果

濃度	MEP処理	平均落葉率(%)		
		5日	10日	15日
1 ppm	0.5日後	15.5	36.8	12.0
	3日後	28.4	15.1	20.7
2 ppm	0.5日後	15.1	32.8	14.8
	3日後	27.2	19.4	22.0
0 ppm	0.5日後	52.1	20.5	16.8

約90%の落葉率を示すが*Actinomycin D*処理区では濃度のいかんにかゝわらず約70%以下に落葉率をおさえている。したがって*Actinomycin D*はある程度、MEPの落葉現象を抑制することが判った。

(3) シクロヘキシミド処理

エチレン生合成を阻害するシクロヘキシミド処理による落葉抑制効果は表-1-3に示した通りである。MEPによる落葉作用は10 ppm以上のシクロヘキシミドによって抑制されるが、著しい薬害を併発する。

表-1-3 シクロヘキシミドによる落葉抑制効果

感受性	MEP 処理濃度 (ppm)	シクロヘキシミド(ppm)				
		1000	100	10	1	0
感受性個体	50	-*	-*	-*	+*	+
	5	-*	-*	-*	+*	+
	0	-*	-*	-*	-*	-
非感受性個体	50	-*	-*	-*	-*	-
	0	-*	-*	-*	-*	-

+ 落葉, - 落葉せず, * 薬害。

(4) サリチオン処理

サリゲニン環状磷酸エステル類の殺虫剤であるサリチオンをMEPと混合することによってMEPによる異常落葉を抑制することが図-1-6の結果より明らかとなった。このサリチオンの落葉抑制作用はMEPとサリチオンの混合比が1:2.4, 1:3, 1:5.6および1:5.9の場合に観察されるか、完全に落葉を阻止するまでにはいかない。また、サリチオンでは異常落葉は誘起されない。

以上、これらの結果から、*Actinomycin D*やサリチオンはMEPの落葉作用をある程度抑制し落葉時期を遅延させはするが完全な落葉阻止効果はなく、実用的には未だ多くの問題があろう。しかしながら、異常落葉現象の作用機構がある程度解明された現段階ではこの解明が実用的な落葉防止技術の開発に有益なヒントとなると考える。

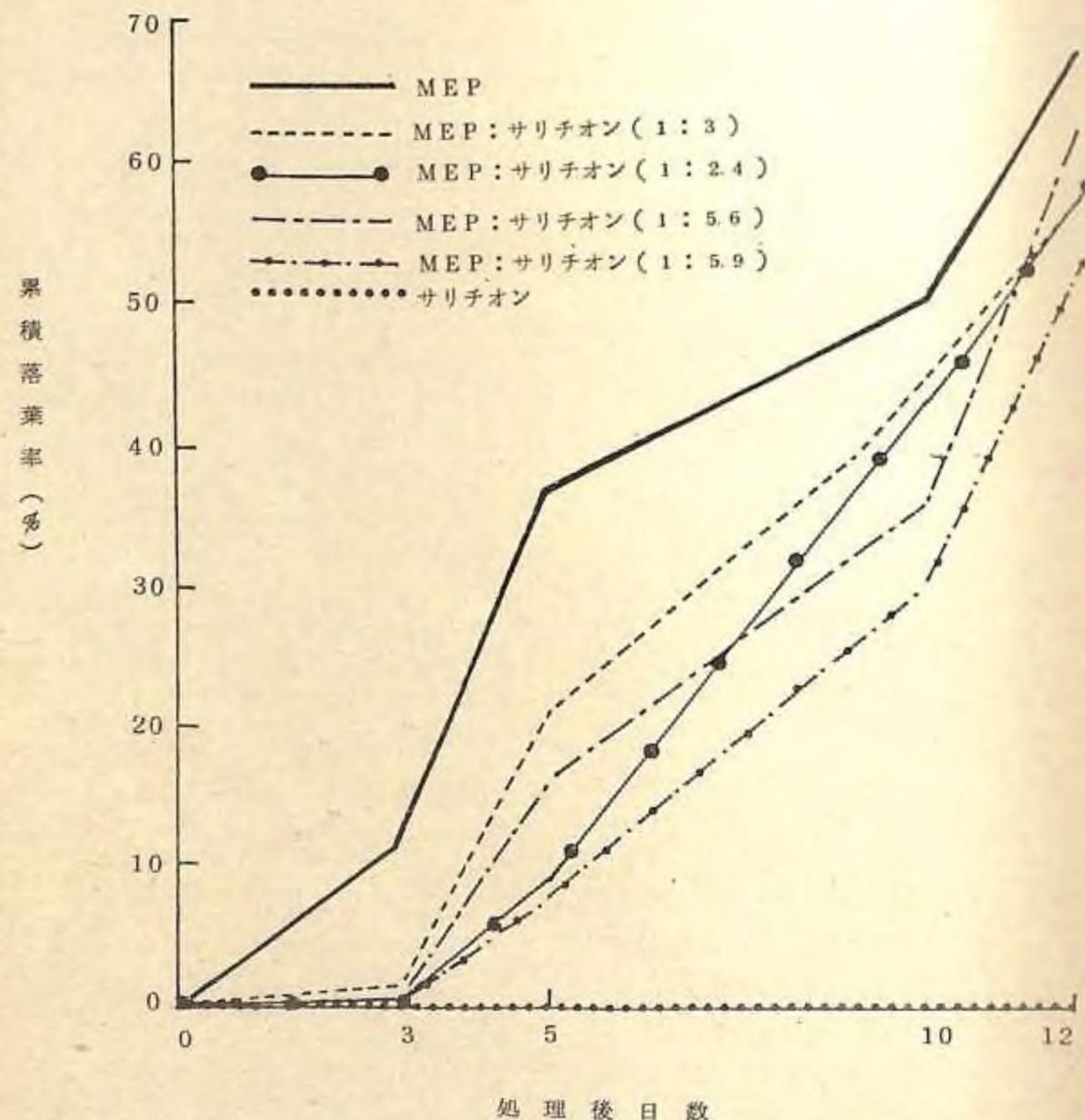


図-16 サリチオン処理による落葉抑制効果

参考文献

- 1) 細田隆治：ヒノキ科を主とした針葉樹のMEP剤による異常落葉現象に関する検討、日林関西支講、28, 247~250, (1977)
- 2) 細田隆治：スミチオンによるヒノキの異常落葉現象に関する研究、林試研報、印刷中
- 3) 大久保良治・細田隆治：MEPによるヒノキの落葉枯死、日林論、88, 303~304, (1977)
- 4) 大久保良治・田畠勝洋：MEP剤によるヒノキの落葉現象、日林論要旨、90, 114, 1979
- 5) 大久保良治：スミチオンによるヒノキの薬害、林業と薬剤、71, 9~12, (1980)
- 6) 田畠勝洋：フェニトロチオン(スミチオン)のヒノキに対する薬害、研究ジャーナル、4(9), 41~45, (1981)
- 7) Tabata, K.: Aerial Application of Fenitrothion(Sumithion^R) on Pine groves, proceedings of XVII IUFRO World Congress, 591~592, (1981)
- 8) 田畠勝洋・大久保良治：ヒノキのFenitrothion(Sumithion^R)による異常落葉現象のメカニズム(Ⅰ)各種有機燐剤で処理したヒノキの落葉と内生エチレンの発生、日林誌、62, 249~253, (1980)
- 9) 田畠勝洋・大久保良治：ヒノキのFenitrothion(Sumithion^R)による異常落葉現象のメカニズム(Ⅱ)¹⁴C-Fenitrothion[O,O-dimethyl-o-(3-methyl-4-nitrophenyl)phosphorothioate]のヒノキ葉における代謝、日林誌、62, 350~353, (1980)
- 10) Tabata, K. and Okubo, R.: The abnormal leaf abscission and its mechanism of Hinoki, Chamaecyparis obtusa S.et Z, caused by fenitrothion proceedinys of XVII IUFRO World Congress, 603, (1981)