

マツ類葉さび病およびこぶ病に対する各種薬剤の防除効果について

楠 幹生^{a)}・山岡 裕一^{b)}・岡根 泉^{b)}・三浦 靖^{a)}・藤田 究^{a)}

キーワード：マツ類, 葉さび病, こぶ病, 防除, マンゼブ水和剤

Efficacy of Several Fungicides against Needle rust and Asian pine gall rust of Pine

Mikio KUSUNOKI^{a)}, Yuichi YAMAOKA^{b)}, Izumi OKANE^{b)}, Yasushi MIURA^{a)}, Kiwamu FUJITA^{a)}

Key words: pine, needle rust, Asian pine gall rust, control, Manzeb WP

Abstract

Upon testing the efficacy of various fungicides in inhibiting the germination of pine needle rust and Asian pine gall rust basidiospores on agar plates, we found Manzeb WP and organic copper WP to be highly effective against both species. Thiophanate-methyl WP was also found to be effective at dilutions of 1 to 10 times actual spray concentration. Hexaconazole WP only slightly inhibited basidiospore germination, but abnormalities were observed in germ tubes after germination at dilutions of 1 to 10 times actual spray concentration.

We also tested the efficacy of these fungicides in the following locations where pine needle rust occurs naturally: Manno Town in Nakatado County, Kagawa Prefecture (Kagawa Prefectural Forest Center); Higashiueta Town in Takamatsu City, Kagawa Prefecture (Kinbuchi Forest Park); Minamimaki Village in Minamisaku County, Nagano Prefecture (University of Tsukuba Mountain Science Center Yatsugatake Forest Station). Results indicated that Manzeb WP was the most effective overall in inhibiting pine needle rust in Japanese black pines and Japanese red pines in the three locations, followed by Hexaconazole WP. Results for thiophanate-methyl WP and organic copper WP were uneven, both proving to be effective to a certain extent in some cases and not in the least effective in others.

摘 要

マツ類葉さび病およびこぶ病菌について、寒天平面培地上で薬剤による担子胞子の発芽阻害試験を行うと、両菌ともにマンゼブ水和剤と有機銅水和剤の効果が非常に高く、チオファネートメチル水和剤でも実際の散布濃度の1～10倍希釈区では効果が認められた。ヘキサコナゾール水和剤は担子胞子の発芽阻害は僅かであったが、実際の散布濃度の1～10倍希釈区では発芽後の発芽管に

異常が認められた。

マツ類葉さび病が自然発生する香川県仲多度郡まんのう町(香川県森林センター)、香川県高松市東植田町(公測森林公園)および長野県南佐久郡南牧村(筑波大学山岳科学センター八ヶ岳演習林)において薬剤の効果試験を行った。その結果、香川県の2か所および長野県の試験におけるクロマツおよびアカマツでのマツ類葉さび病に対する薬剤処理効果を総合的に判断すると、マンゼブ水和剤が最も安定した高い効果を示し、次いでヘキサコナゾール水和剤も高い効果を示した。チオファネートメ

^{a)} 病害虫防除所, ^{b)} 筑波大学生命環境系

チル水和剤および有機銅水和剤はある程度の効果が認められた場合と全く認められない場合があり、効果に振れがあった。

緒 言

日本における主要なマツ類であるクロマツとアカマツは本州、四国、および九州に分布している。これらの種は日本が誇る伝統的な芸術である盆栽に欠かせないものとなっている。松盆栽は、全国の8割を占めている香川県などの産地で約200年前から栽培されており、近年欧州を中心とした海外でもBONSAIとして認知され、世界各国でBONSAI文化が根付き始めており、日本から海外への盆栽の輸出額が増加している。EUへは1979年から輸出検疫措置を行ってゴヨウマツや真柏を輸出しており、さらに、日本文化の象徴であるクロマツ盆栽も海外のバイヤーからは強く輸出を要望されている。しかし、欧州はゴヨウマツを宿主とせずクロマツを宿主とする葉さび病菌 (*Coleosporium phellodendri* Komarov) およびこぶ病菌 (*Cronartium orientale* S. Kaneko) について侵入を警戒している。クロマツ盆栽を欧州に輸出するためには、これらの病害に感染しないようにする必要があり、定期的な殺菌剤の散布が必要になってくる。近藤¹⁾はマツこぶ病に対して、作山⁴⁾はアカマツ葉さび病に対してマンゼブ水和剤が高い効果を示すことを報告している。しかし、本薬剤はマツでの登録は失効しており、その後両病害に対する他の薬剤の防除効果については検討されていなかった。その後、Yamaoka et al⁶⁾によって「マツ」あるいは「樹木類」に登録のある4種類の殺菌剤を用い、葉さび病に対してマンゼブ水和剤をはじめとする数種薬剤の防除効果が報告された。本研究では、マツ類葉さび病菌およびこぶ病菌の培地上での菌糸伸長および発芽の阻害を指標とした薬剤の効果について調査するとともに、葉さび病については、香川県および長野県での発生地において、2018年夏にアカマツおよびクロマツに薬剤散布し、翌年春に防除効果を調査した結果を報告する。

材料および方法

1. マツ類葉さび病およびこぶ病に対する各種薬剤の効果 (培地試験)

供試薬剤は「マツ」または「樹木類」の他の病害で農薬登録のある有機銅水和剤 (商品名: キノンドー水和剤40), マンゼブ水和剤 (商品名: ペンコゼブ水和剤),

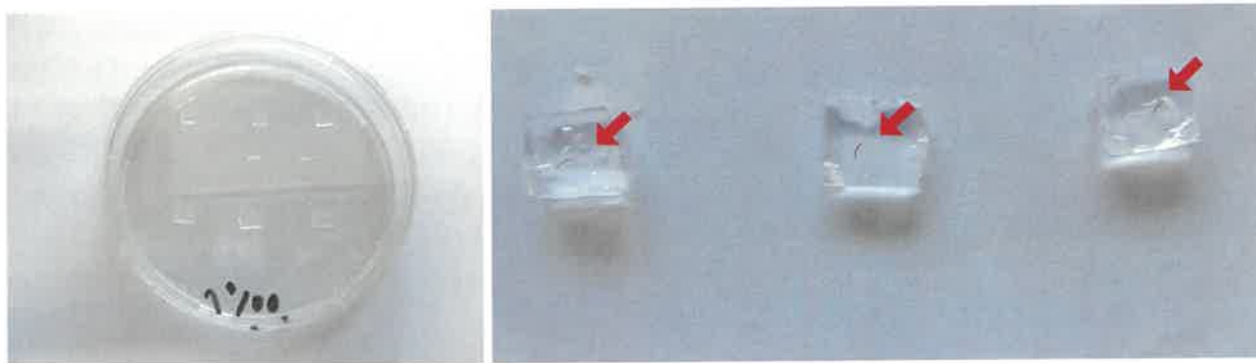
チオファネートメチル水和剤 (商品名: トップジンM水和剤) およびヘキサコナゾール水和剤 (商品名: アンビルフロアブル) の4薬剤を選定して培地上での担子胞子の発芽試験を行った。各薬剤を実際の散布濃度になるように有機銅水和剤は500倍, マンゼブ水和剤は600倍, チオファネートメチル水和剤は1,000倍, ヘキサコナゾール水和剤は1,000倍に希釈して作製した薬液を1倍希釈区とし、それらを希釈して10倍, 100倍および1,000倍希釈区を設けた。薬剤加用平板培地 (9 cmプラスチックシャーレ) は、これらの薬液の10倍濃度液を作製し、1.5%素寒天平板培地9に対して1の割合で分注直前に加えて混和して作製した。なお、薬剤を添加していない素寒天平板培地を無処理区とした。

マツ類葉さび病菌 (*Co. phellodendri*) の冬胞子堆は筑波大学山岳科学センターハケ岳演習林 (長野県南佐久郡南牧村) のキハダ葉上で、マツ類こぶ病菌 (*Cr. orientale*) の冬胞子堆は、筑波大学山岳科学センター菅平高原実験所 (長野県上田市) のミズナラ葉上で採取し、実験に供試するまで冷蔵庫で保存した。シャーレのふたの内側に素寒天片を貼り付け、その上に *Co. phellodendri* の冬胞子堆が形成されたキハダ葉小片、またミズナラ葉から切取った *Cr. orientale* の冬胞子堆 (図-1) を接着させ、薬剤入り平板培地にふたをして17℃温室で培養した。冬胞子堆から形成され培地上に落下した担子胞子の発芽率を *Co. phellodendri* では培養24時間後、*Cr. orientale* では培養48時間後に発芽の有無を調査して発芽率を算出した。

2. マツ類葉さび病に対する各種薬剤の効果 (圃場試験)

1) 香川県 (香川県仲多度郡まんのう町) での試験

キハダを中間宿主とするマツ類葉さび病が発生している香川県仲多度郡まんのう町 (香川県森林センター) で、自生しているキハダから約10mの地点に試験圃場 (クロマツおよび一部アカマツ: 6 m×10.5m, アカマツ: 6 m×9 m) を設け (図-2), 2017年8月22日に香川県三豊市高瀬町の圃場で育成され無防除の2年生のクロマツ苗500本およびアカマツ苗90本を、2018年8月8日に2年生のアカマツ苗500本を30cm間隔で定植した。試験区は1区20本 (1.2m×1.5m), 5連制でランダムに配置し、自然感染条件下での薬剤効果試験を行った。供試薬剤は有機銅水和剤500倍, マンゼブ水和剤600倍, チオファネートメチル水和剤1,000倍, ヘキサコナゾール水和剤1,000倍の4薬剤の散布区を設置し、対照として無処理区を設けた。薬剤散布は2018年8月10日, 9月5日および10月4日の3回行い、1区当たり1.5ℓ (散布水量: 200ℓ/10a) を散布した。発病調査は2019年3月6



図－１ 寒天培地を用いた殺菌剤の担子孢子発芽阻害試験
矢印は貼り付けられた*Cr. orientale*の冬孢子堆



図－２ 薬剤効果試験圃場の様子
A：香川県森林センター（香川県仲多度郡まんのう町）
B：筑波大学山岳科学センター八ヶ岳演習林（長野県南佐久郡南牧村）

日、4月11日および5月10日に全株対象に精子器およびさび孢子堆を形成している葉数を計数し、1樹当たりの葉さび病の感染葉数を求めた。また、5月10日の調査では1樹当たりの葉さび病の発病葉数から各薬剤の防除価を算出し、1変量の分散分析およびDunnettの方法によって無処理区との有意差を検定した。

2) 香川県（香川県高松市東植田町）での試験

キハダを中間宿主とする葉さび病が発生している香川県高松市東植田町（公測森林公園）で、自生しているキハダから約5mの地点に試験圃場（9.3m×2.1m）を設け、上記の香川県三豊市高瀬町の圃場で育成され2016年に定植した4年生のクロマツ苗50本、2017年に定植した3年生のクロマツ苗100本を30cm間隔で定植し、1区10本（2.7m×0.3m）、3連制でランダムに配置し、自然感染条件下での薬剤効果試験を行った。供試薬剤は上記の香川県森林センター内での試験と同じ4薬剤を用い、対照として無処理区を設けた。薬剤散布は2018年8月10日、9月5日および10月2日の3回行い、1区当たり0.5ℓ（散布水量：200ℓ/10a）を散布した。発病調査は2019年3月6日、4月11日および5月10日に全樹対象に精子器およびさび孢子堆を形成している葉数を計数し、1樹当たりの葉さび病の発病葉数を求めた。また、5月10日

の調査では1樹当たりの葉さび病の発病葉数から各薬剤の防除価を算出し、1変量の分散分析およびDunnettの方法によって無処理区との有意差を検定した。

3) 長野県（長野県南佐久郡南牧村）での試験

2017～2018年に実施した試験同様（Yamaoka et al. 2019）、キハダを中間宿主とする葉さび病およびミズナラを中間宿主とするこぶ病が発生している筑波大学山岳科学センター八ヶ岳演習林内で、自生しているキハダから2～16m、ミズナラから3～18mの地点に試験圃場（12m×8.4m）を設け（図－2）、2018年8月8日に定植した2年生のクロマツおよびアカマツ苗それぞれ495本を用い、試験区は1区33本（0.8m×1.2m）、3連制でランダムに配置し、自然感染条件下での薬剤効果試験を行った。供試薬剤は上記の香川県森林センターおよび公測森林公園内での試験と同じ4薬剤を用い、対照として無処理区を設けた。薬剤散布は2018年8月8日、8月30日および9月20日の3回行い、1区当たり2.5～3ℓ（散布水量：200ℓ/10a）を散布した。11月初旬に全ての供試苗を筑波大学キャンパス（茨城県つくば市）に移動して越冬管理し、2019年6月25日～7月2日に、全樹対象に精子器およびさび孢子堆を形成している葉数を計数し、1樹当たりの葉さび病の発病葉数を求め、各薬剤の

防除価を算出し、1変量の分散分析およびDunnettの方法によって無処理区との有意差を検定した。

結 果

1. マツ類葉さび病およびこぶ病に対する各種薬剤の効果（培地試験）

*Co. phellodendri*および*Cr. orientale*の担子胞子の発

芽阻害効果は、マンゼブ水和剤の効果が最も高く、野外での標準的散布濃度の1～100倍希釈培地上でも担子胞子の発芽が完全に阻害された（表-1、表-2、図-3B、図-4C）。*Cr. orientale*では薬剤入り培地に直接接触していない冬胞子の発芽も阻害された。また、有機銅水和剤でも1～1,000倍希釈培地上で*Co. phellodendri*および*Cr. orientale*の担子胞子ともに発芽が著しく阻害された（表-1、表-2、図-3C、図-4D）。ヘキサコ

表-1 *Coleosporium phellodendri*担子胞子の発芽に対する各種薬剤の阻害効果

薬 剤	希釈倍数	反復1		反復2		反復3		反復4	
		観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)	観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)	観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)	観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)
マンゼブ水和剤 (600倍液)	1倍	2*	0	41*	0	8*	0	92*	0
	10倍	62*	0	0*	0	30*	0	100*	0
	100倍	300<	0	0*	0	22*	0	69*	0
	1,000倍	300<	10.9	68*	0	300<	0	300<	0
ヘキサコナゾール 水和剤 (1,000倍液)	1倍	300<	63.7	300<	53.0	300<	28.1	300<	35.9
	10倍	300<	82.9	300<	87.1	300<	96.0	300<	94.9
	100倍	300<	87.2	300<	92.6	300<	90.9	300<	93.1
	1,000倍	300<	94.9	300<	95.5	259	99.6	290	90.3
チオファネート メチル水和剤 (1,000倍液)	1倍	300<	14.1	61*	0	300<	0	300<	7.4
	10倍	300<	91.9	300<	91.5	300<	82.7	300<	79.0
	100倍	300<	82.7	300<	96.0	104*	96.2	300<	93.9
	1,000倍	300<	88.9	300<	95.4	300<	93.1	300<	94.8
有機銅水和剤 (500倍液)	1倍	300<	0	12*	0	300<	0	300<	0
	10倍	300<	0	300<	0	300<	0	277	0
	100倍	300<	0	300<	0	300<	0	300<	0
	1,000倍	300<	0	300<	0	300<	0	300<	0
無処理		300<	92.2	300<	95.8	300<	97.4	300<	91.6

*担子胞子形成不良。ほとんどの場合300個<の担子胞子を観察できたが、観察できた胞子が150個以下であった場合を示す。

表-2 *Cronartium orientale*担子胞子の発芽に対する各種薬剤の阻害効果

薬 剤	希釈倍数	反復1		反復2		反復3	
		観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)	観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)	観察した担子胞子数	担子胞子発芽率 (%)
マンゼブ水和剤 (600倍液)	1倍	0*	0	0	0	0*	0
	10倍	0*	0	0	0	0*	0
	100倍	0*	0	0	0	0*	0
	1,000倍	300<	21.0	300<	26.0	300<	0
ヘキサコナゾール 水和剤 (1,000倍液)	1倍	300<	88.3	300<	94.4	300<	77.4
	10倍	300<	77.3	300<	74.1	300<	54.7
	100倍	300<	76.3	300<	75.9	300<	75.1
	1,000倍	300<	83.7	300<	78.5	300<	69.9
チオファネート メチル水和剤 (1,000倍液)	1倍	38*	0	4*	0	148*	0
	10倍	253	8.7	300<	8.8	300<	7.0
	100倍	300<	65.7	300<	61.0	300<	68.6
	1,000倍	300<	81.7	300<	76.3	300<	45.6
有機銅水和剤 (500倍液)	1倍	300<	0	300<	0	300<	0
	10倍	300<	0	300<	0	300<	0
	100倍	300<	0	300<	0	300<	0
	1,000倍	300<	0	300<	0	300<	0
無処理		300<	90.3	300<	80.0	300<	88.1

*担子胞子形成不良。ほとんどの場合300個<の担子胞子を観察できたが、観察できた胞子が150個以下であった場合を示す。

ナゾール水和剤については、*Co. phellodendri*および*Cr. orientale*の担子孢子ともに発芽阻害は僅かであったが、1～10倍希釈区では発芽後の発芽管に異常、細胞内容物の漏出が認められた。特に、*Co. phellodendri*に対しこの形態異常が顕著に認められた（図－3 D）。チオフアネートメチル水和剤については、1～10倍希釈区で*Co. phellodendri*および*Cr. orientale*の担子孢子ともに発芽阻害が認められた（図－3 E）

2. マツ類葉さび病に対する各種薬剤の効果(圃場試験)

1) 香川県（香川県仲多度郡まんのう町）での試験

香川県森林センターでのマツにおける葉さび病の初発は3月6日であり、クロマツおよびアカマツ葉上に精子器を確認した。その後、精子器の形成葉数は増加し、4月11日にはさび孢子堆を多数確認した。発病葉数が最大

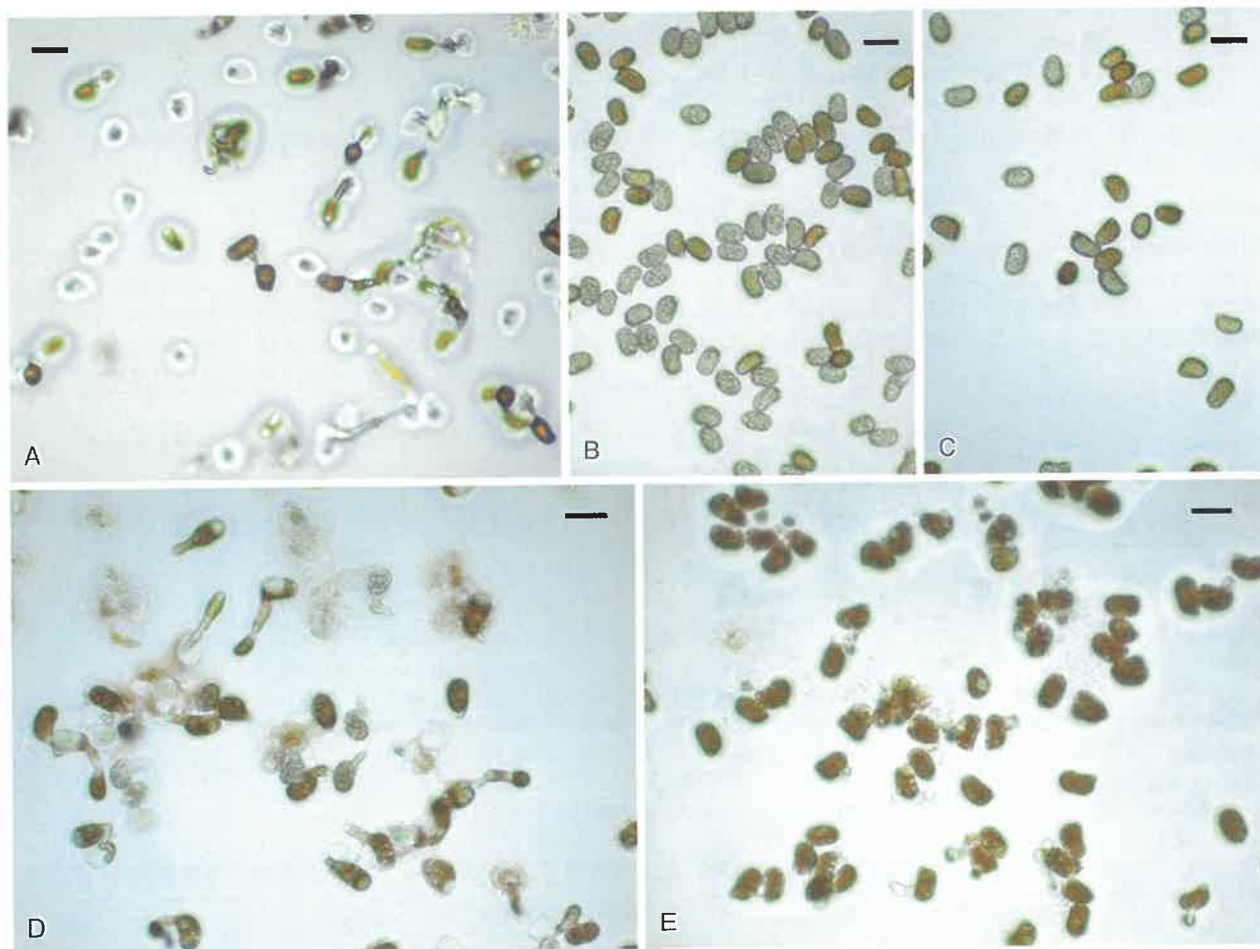
となった5月10日の調査結果を表－3、表－4に示した。

クロマツでの試験では、マンゼブ水和剤散布区およびヘキサコナゾール水和剤散布区の防除価はそれぞれ81.1、83.0と高い効果を示し、チオフアネートメチル水和剤散布区は52.8と効果がやや低く、有機銅水和剤散布区は全く効果を認めなかった。

アカマツでの試験では、マンゼブ水和剤散布区の防除価は91.7と最も高い効果を示し、次いで、ヘキサコナゾール水和剤散布倍区の防除価は87.5と高い効果を示した。チオフアネートメチル水和剤散布区は66.7、有機銅水和剤散布区は45.8と効果がやや低かった。

2) 香川県（香川県高松市東植田町）での試験

公測森林公園でのマツにおける葉さび病の初発は3月6日であり、クロマツ葉上に精子器を確認した。その



図－3 培地試験における*Co. phellodendri*担子孢子の発芽と殺菌剤による発芽阻害の様子（スケールバー＝30μm）

- A：無処理区の担子孢子（間接発芽）
- B：マンゼブ水和剤100倍希釈区の担子孢子（発芽していない）
- C：有機銅水和剤1,000倍希釈区の薬剤入り寒天培地表面の担子孢子（発芽していない）
- D：ヘキサコナゾール水和剤1倍希釈区の薬剤入り寒天培地表面の担子孢子（発芽しているが、細胞内容物が漏出している）
- E：チオフアネートメチル水和剤1倍希釈区の薬剤入り寒天培地表面の担子孢子（発芽しているが、細胞内容物が漏出している）

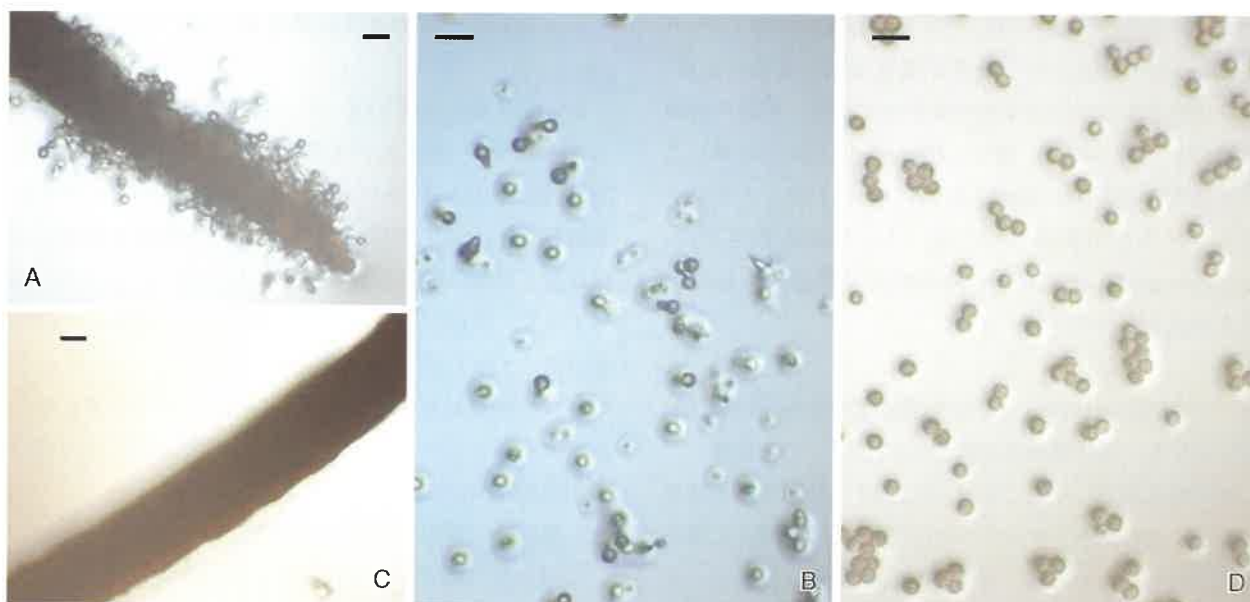


図-4 培地試験における*Cr. orientale*担子胞子の発芽と殺菌剤による発芽阻害の様子（スケールバー=30μm）

- A：無処理区の冬胞子堆（発芽し、担子器と担子胞子を形成している）
 B：無処理区の素寒天培地表面に落下し発芽している担子胞子（間接発芽）
 C：マンゼブ水和剤10倍希釈区の冬胞子堆（発芽していない）
 D：有機銅水和剤1,000倍希釈区の薬剤入り寒天培地表面の担子胞子（発芽していない）

表-3 クロマツ苗上でのマツ類葉さび病に対する各種薬剤の防除効果（香川県仲多度郡まんのう町）

薬 剤	希釈倍数	1 樹当たりの発病葉数*					合 計	防除価
		反復 1	反復 2	反復 3	反復 4	反復 5		
マンゼブ水和剤	600倍	0.05±0.22	0.10±0.31	0.10±0.31	0.15±0.49	0.10±0.31	0.10±0.33*	81.1
ヘキサコナゾール水和剤	1,000倍	0±0	0.30±0.73	0±0	0.05±0.22	0.10±0.31	0.09±0.38*	83.0
チオファネートメチル水和剤	1,000倍	0.35±0.67	0.15±0.49	0.10±0.31	0.20±0.62	0.45±0.89	0.25±0.63	52.8
有機銅水和剤	500倍	0.70±1.30	0.35±0.99	1.25±1.48	0.45±1.15	0.55±1.43	0.66±1.30	0***
無処理	—	1.00±2.18	0.55±1.15	0.55±1.05	0.35±0.81	0.20±0.52	0.53±1.27	—

*各クロマツ苗の発病葉数平均値±SD

**1 変量の分散分析およびDunnnettの方法により無処理区と有意差あり（ $p<0.05$ ）

***防除価がマイナスの場合は0とした。

表-4 アカマツ苗上でのマツ類葉さび病に対する各種薬剤の防除効果（香川県仲多度郡まんのう町）

薬 剤	希釈倍数	1 樹当たりの発病葉数*						合 計	防除価
		反復 1	反復 2	反復 3	反復 4	反復 5	反復 6		
マンゼブ水和剤	600倍	0.00±0	0±0	0.10±0.31	0±0	0±0	0±0	0.02±0.13**	91.7
ヘキサコナゾール水和剤	1,000倍	0.05±0.22	0±0	0±0	0.05±0.22	0±0	0.10±0.45	0.03±0.22**	87.5
チオファネートメチル水和剤	1,000倍	0.05±0.22	0±0	0.10±0.31	0.10±0.31	0±0	0.20±0.41	0.08±0.26**	66.7
有機銅水和剤	500倍	0.20±0.70	0.10±0.31	0±0	0±0	0.10±0.31	0.60±1.26	0.13±0.53	45.8
無処理	—	0.20±0.41	0.15±0.49	0.15±0.67	0.35±0.49	0.30±0.66	0.30±1.13	0.24±0.67	—

*各アカマツ苗の発病葉数平均値±SD

**1 変量の分散分析およびDunnnettの方法により無処理区と有意差あり（ $p<0.05$ ）

表-5 クロマツ苗上でのマツ類葉さび病に対する各種薬剤の防除効果（香川県高松市東植田町）

薬 剤	希釈倍数	1 樹当たりの発病葉数*			合 計	防除価
		反復 1	反復 2	反復 3		
マンゼブ水和剤	600倍	0.20±0.42	0±0	0±0	0.07±0.26**	91.3
ヘキサコナゾール水和剤	1,000倍	0.13±0.35	0.50±1.08	0.11±0.33	0.26±0.71	67.5
チオファネートメチル水和剤	1,000倍	2.00±2.33	2.11±4.54	0±0	1.46±3.12	0***
有機銅水和剤	500倍	1.10±2.02	5.78±7.05	1.25±2.38	2.70±4.81	0***
無処理	—	0.10±0.32	1.80±3.74	0.50±1.58	0.80±2.38	—

*各クロマツ苗の発病葉数平均値±SD

**1 変量の分散分析およびDunnnettの方法により無処理区と有意差あり（ $p<0.05$ ）

***防除価がマイナスの場合は0とした。

後、精子器の形成葉数は増加し、4月11日にはさび胞子堆を多数確認した。発病葉数が最大となった5月10日の調査結果を表-5に示した。

マンゼブ水和剤散布区の防除価が91.3と最も高い効果を示し、次いでヘキサコナゾール水和剤散布区が67.5と高い効果を示した。チオファネートメチル水和剤散布区、有機銅水和剤散布区は全く効果を認めなかった。

3) 長野県での試験

2019年6月25日と7月2日に実施した針葉上での精子器、さび胞子堆の形成葉数の調査結果を表-6、表-7に示した。クロマツ苗上で、マンゼブ水和剤散布区の防除価が98.2と最も効果が高く、次いでヘキサコナゾール水和剤散布区が93.4、有機銅水和剤散布区が74.1と高い効果を示した。チオファネートメチル水和剤散布区は全く効果を認めなかった。アカマツ苗上では、マンゼブ水和剤、次いでヘキサコナゾール水和剤の防除価が高かったが、無処理区を含め2年葉（2年前に伸長した葉）の落葉が激しく、試験区によるデータの振れが大きかったため統計的有意差が得られず、薬剤の効果が判定できなかった。

考 察

マツ類葉さび病およびこぶ病に対する薬剤効果試験については、近藤¹⁾がマツこぶ病に対して、アカマツ苗を用いて数種薬剤について防除試験を行い、マンネブ水和剤（商品名：マンネブダイセンM）が高い効果を示すこ

とを報告している。また、作山²⁾もアカマツ苗を用いて数種薬剤について防除試験を行い、マンネブ水和剤やマンゼブ水和剤（商品名：ジマンダイセン）が高い効果を示すことを報告している。また、作山⁴⁾は中間宿主がツリガネニンジンやノコンギクである葉さび病（それぞれ *Co. lycopodis* Syd. & P. Sydおよび *Co. asterum* (Dietel) Syd. & P. Syd.) に対してマンネブ水和剤や有機硫黄水和剤（商品名：モノックス）が高い効果を示すことを報告している。その後、マツ類葉さび病およびこぶ病に対する薬剤効果に関する報告はない。そこで、まず、近藤¹⁾、作山^{2,4)}の報告で効果の高かったマンネブ水和剤や有機硫黄水和剤は農薬登録が失効しており、現在も「樹木類」の斑点症（シュードサーコスポーラ菌）などに登録のあるマンゼブ水和剤をまず選択した。マンゼブ水和剤はマンネブ水和剤などと同じジチオカーバメート系殺菌剤である。その他に、「まつ」の葉ふり病に登録のある有機銅水和剤、「樹木類」の斑点症（シュードサーコスポーラ菌）などに登録のあるチオファネートメチル水和剤および炭疽病に登録のあるヘキサコナゾール水和剤を選択した。

マンゼブ水和剤は野外での自然感染防除試験および寒天培地を用いた担子胞子発芽阻害試験の結果から、マツ類葉さび病菌の防除にマンゼブ水和剤が非常に効果的であることが分かった。この結果は2017年（Yamaoka et al.⁶⁾）の試験結果とも一致する。また、マツ類こぶ病の担子胞子発芽阻害能力も高いことが分かった。近藤¹⁾、作山^{3,4)}、Sakuyama and Koiwa⁵⁾もマンゼブ水和剤と

表-6 クロマツ苗上でのマツ類葉さび病に対する各種薬剤の防除効果（長野県南佐久郡南牧村）

薬 剤	希釈倍数	1 樹当たりの発病葉数*			合 計	防除価
		反復1	反復2	反復3		
マンゼブ水和剤	600倍	0.13±0.43	0.10±0.31	0±0	0.08±0.31**	98.2
ヘキサコナゾール水和剤	1,000倍	0.52±1.15	0.27±0.57	0.09±0.38	0.29±0.79**	93.4
チオファネートメチル水和剤	1,000倍	7.21±11.35	8.65±17.30	6.18±11.61	7.32±13.51	0
有機銅水和剤	500倍	1.19±2.36	1.82±3.19	0.42±1.32	1.14±2.46	74.1
無処理	—	4.34±7.36	4.82±9.59	4.00±15.72	4.40±11.26	—

*各クロマツ苗の発病葉数平均値±SD

**1変量の分散分析およびDunnettの方法により無処理区と有意差あり（p<0.05）

表-7 アカマツ苗上でのマツ類葉さび病に対する各種薬剤の防除効果（長野県南佐久郡南牧村）

薬 剤	希釈倍数	1 樹当たりの発病葉数*			合 計	防除価
		反復1	反復2	反復3		
マンゼブ水和剤	600倍	0±0	0±0	0±0	0±0	100
ヘキサコナゾール水和剤	1,000倍	0.03±0.17	0±0	0±0	0.01±0.10	98.8
チオファネートメチル水和剤	1,000倍	2.00±3.02	1.18±2.19	1.94±2.94	1.71±2.74	0
有機銅水和剤	500倍	1.36±2.67	0.67±1.16	2.20±4.03	1.39±2.86	0
無処理	—	0.94±1.39	1.03±2.24	0.61±1.03	0.86±1.63	—

*各アカマツ苗の発病葉数平均値±SD

同じ有機硫黄殺菌剤に属するマンゼブ水和剤が、マツ類葉さび病やこぶ病の防除に有効であると報告している。マンゼブ水和剤は、多作用点接触活性を有し、有効な菌種の範囲が広く、さび病菌以外にも子囊菌類や卵菌類にも有効とされている。本薬剤は、EU向けマツ盆栽防除層に斑点症（シュードサーコスポーラ菌）の防除としてすでに組み込まれており、散布時期を検討することでマツ類葉さび病やこぶ病を同時防除できると考える。

野外での自然感染防除試験では、マンゼブ水和剤以外に、ヘキサコナゾール水和剤も高い防除効果があった。この結果は2017年（Yamaoka et al.⁶⁾）の試験結果とも一致する。しかし、寒天培地を用いた担子胞子発芽阻害試験では、ヘキサコナゾール水和剤の担子胞子発芽阻害効果は低かった。本薬剤は胞子の発芽よりもむしろ、発芽管や植物組織内での菌糸の伸長を抑制することが知られている。そのため、今回の寒天培地を利用した担子胞子発芽阻害効果試験では効果が低く、野外での自然感染防除試験で効果が認められたと考えられる。

一方、チオファネートメチル水和剤や有機銅水和剤でもある程度の効果が見られたが、効果に振れが見られた。2017年（Yamaoka et al.⁶⁾）の試験結果とも一致する。有機銅水和剤は寒天培地を用いた担子胞子発芽阻害試験では、マンゼブ水和剤と同様に高い発芽阻害効果を発揮したが、野外の自然感染条件での防除試験では、マンゼブ水和剤に比べ効力は低かった。有機銅水和剤は予防剤として高い効果があることが知られている。今回野外では約3週間間隔で薬剤散布を実施したが、この散布間隔では効果を十分に発揮できなかったと考える。チオファネートメチル水和剤はマンゼブ水和剤に比べて担子胞子発芽阻害効果は低かったため、野外の自然感染条件での防除試験においてもマンゼブ水和剤に比べて防除効果が劣ったものと考えられる。

八ヶ岳演習林内の試験地では、野外での自然感染防除試験を2017年（Yamaoka et al.⁶⁾）と2018年の2回実施した。2ヶ年の結果とも葉さび病の発病はコンスタントに発生したため、薬剤の効果を検定することができたが、こぶ病菌については、試験地周辺のミズナラ、コナラ葉上で本菌の冬胞子が多数形成されていたにもかかわらず、設置した苗への感染が認められず、薬剤の効果の判定はできなかった。

香川県のマツ盆栽の防除層では、マンゼブ水和剤は斑点症（シュードサーコスポーラ菌）対策として5月上旬、6月中旬、7月中旬および10月中旬に散布することとされている。今回の試験結果から、マツ類葉さび病に対しても効果が高いと考えられることから同時防除できる防

除時期の検討が必要である。また、ヘキサコナゾール水和剤もマツ類葉さび病に対して高い効果を示し、マツ類葉さび病対策剤として有望であるため、マツ盆栽の防除層に掲載可能と考える。

謝 辞

本研究は、「農研機構生物系特定産業技術研究支援センター」が研究委託する「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の「試験研究計画名：マツ盆栽等の輸出解禁・緩和に必要な病害虫防除方法の開発」で実施した。楠 幹生と山岡 裕一は共同第一著者であり、この論文に同じように貢献した。

本試験の調査に協力して頂いた香川県東讃農業改良普及センター、香川県農政水産部農業経営課、農業生産流通課の担当者の皆様に感謝する。また、実験場所を提供して下さった香川県森林センター、公測森林公園および筑波大学山岳科学センター八ヶ岳演習林の関係者に対し感謝の意を表す。また、試験に使用した*Co. phellodendri*と*Cr. orientale*の冬胞子は、それぞれ八ヶ岳演習林と同センター菅平高原実験所で採取させていただいた。心から感謝申し上げる。

引用文献

- 1) 近藤秀明 (1975)：マツこぶ病に関する研究－とくに病原菌の生活史，マツに対する感染時期および病原性の変異－，茨城県林業試験場研究報告，8：1～107.
- 2) 作山 健 (1975)：マツのこぶ病の感染時期と防除，岩手県林業試験場成果報告，7：5～9.
- 3) 作山 健 (1979)：アカマツこぶ病の発生生態と防除，岩手県林業試験場研究報告，3：21～49.
- 4) 作山 健 (1980)：アカマツの葉さび病の生態と防除，岩手県林業試験場成果報告，13：19～28.
- 5) Sakuyama, T. and Koiwa, T. (1995): Chemical control in nurseries of the gall rust on Japanese red pine. Proceedings of the 4th IUFRO Rusts of Pines Working Party Conference, 1995. Tsukuba, Japan, 181～183.
- 6) Yamaoka, Y., Kusunoki, M., Okane, I., Fujita, K., Kanegae, Y. and Suzuki, H. (2019): Field screening of fungicides for effectiveness in pine needle rust control, *Tree and Forest Health*, 23: 7～13.