殺菌剤ベンシル水和剤の樹幹注入によるナラ類集団枯損被害に 対する予防効果

斉藤 正一^{1,*}, 中村 人史¹, 岡田 充弘², 本間 航介³

¹ 山形県森林研究研修センター

² 長野県林業総合センター

³ 新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター

(2013年1月19日受付, 2013年12月19日受理)

Preventive effect of trunk injection of benomyl wettable powder on mass mortality of oak trees

Shoichi SAITO,¹ Hitoshi NAKAMURA,¹ Mitsuhiro OKADA² and Kosuke HONMA³

¹ Yamagata Prefectural Forest Research and Instruction Center, 2707 Sagae-Hei, Sagae, Yamagata 991-0041, Japan

² Nagano Prefecture Forestry Research Center, 5739 Kataoka, Shiojiri, Nagano 399-0711, Japan

³ Field Center for Sustainable Agriculture and Forestry, Niigata University, 94-2 Koda, Sado, Niigata 950-2181, Japan

The preventive effect of benomyl on oak wilt disease was evaluated in Yamagata, Nagano and Niigata prefectures in Japan from 2004 to 2008. In Yamagata, a dilution of benomyl wettable powder in water (a.i benomyl 2 µg/mL) was directly injected into the trunks of non-damaged healthy Japanese oak trees in June. A month later, Japanese oak wilt fungus *Raffaelea quercivora* was implanted into the trunks. Twelve weeks later, all of the benomyl-inoculated trees remained alive, and the fungus was recovered from a few of them. Most of the non-injected trees died, and the fungus was reisolated with very high frequency. Benomyl wettable powder diluted with water by five hundred numbers was injected into living trees during a total of fourteen tests on eight fields in three prefectures. As for mortality rate, a clear and significant difference between the examination section using benomyl and the control was not found on Fisher's Exact test. However, the mortality rates of all the examination districts where benomyl was used were lower than the control areas up to three years after the injections. Therefore, trunk injections of benomyl suggested a higher preventive effect against *Raffaelea quercivora*. © Pesticide Science Society of Japan

Keywords: oak mass mortality, *Raffaelea quercivora*, benomyl wettable powder, trunk injection.

緒 言

ブナ科樹木萎凋病によるナラ類の集団枯損被害（以下、ナラ枯れ）は拡大が続いており、その防除方法の開発は緊急を

要している。本病はカシノナガキクイムシ（*Platypus quercivorus*, 以下カシナガ）がブナ科萎凋病菌（*Raffaelea quercivora*, 以下ナラ菌）を媒介することで発生する^{1,2)}。ナラ枯れによる被害は、2005年までは最北端の山形県から最西端の島根県までの日本海側を中心に拡大し、その後も2006年には秋田県および愛知県、2007年は山口県、2008年に広島県で新たに確認され、2010年には青森県、岩手県および静岡県で発生しており1990年以降も被害終息の目処は立って

* 〒991-0041 山形県寒河江市寒河江丙2707

E-mail: saitoshoi@pref.yamagata.jp

© 日本農薬学会

いない³⁾。本病は落葉ナラ類（ミズナラ、コナラ等）や常緑シイ・カシ類（スダジイ、ウバメガシ等）に被害を与えており、中でもミズナラでは枯死率が高い⁴⁾。東北地方では山形県を主として6県すべてで被害が発生しており、ミズナラの現存量の多さを反映して被害量も甚大である。また、海岸林内にはミズナラ・コナラ・カシワが点在し、それらが感染の経路となるため、被害の北進スピードは極めて速い⁵⁾。

被害木の処理方法として、被害木の樹幹下部に多数の注入孔をあけてカーバム液剤（成分：カーバムアンモニウム塩40%）を注入し殺虫する方法が開発・実用化された^{6,7)}。また、枯死木内のカシナガの完全殺虫を目指した、メチルイソチオシアネート液化炭酸製剤（成分：メチルイソチオシアネート20%）、およびカーバム液剤によって伐倒丸太や伐根をくん蒸処理する方法も開発されている^{8,9)}。一方、本被害に対する予防方法として、未被害木樹幹をシートで被覆する方法¹⁰⁾、粘着剤等を散布してカシナガの穿入を物理的に妨害する方法^{11–14)}、フェニトロチオン乳剤（成分：フェニトロチオン80%）50倍液を散布する方法¹⁵⁾が開発され、段階的に実用化が進められているが、さらに省力的で効果が確実な方法の開発が求められている。

多数のカシナガが穿入時にナラ立木樹幹内にナラ菌を持ち込むことで枯死が起ることから、ナラ類立木辺材におけるナラ菌の増殖を抑制すれば被害を予防できると考えられる。斉藤ら¹⁶⁾はMSY-104（主成分Diiodomethyl-*p*-tolylsulfone 5ppm、モーリー研究所、以下MSY-104）の樹幹注入により、樹幹内でのナラ菌の増殖抑制の効果、およびナラ類の枯死を防止する効果を報告した。しかし、MSY-104の注入が不完全で効果が不十分の場合には、ナラ枯れが発生する可能性があること、コスト面などで農薬登録が難しいことなどから、実用化が困難であった。したがって、より効果的かつ殺菌剤としての農薬登録拡大が可能な農薬による樹幹注入処理を検討する必要があった。殺菌剤のベノミル水和剤（有効成分：ベノミル50%、住友化学㈱製）は市販されており入手が容易である上、ナラ菌のような糸状菌に対する殺菌効果があるため、殺菌剤として農薬登録することが可能であると考えた。そこで、筆者らはベノミル水和剤希釈液をミズナラとコナラの樹幹に注入することによる枯死被害予防効果について検討したので報告する。

実験方法

1. ナラ菌接種によるベノミル剤樹幹注入のナラ枯れ防止効果の試験

本研究では、ベノミルの製剤として水和剤を使用した。殺菌剤ベノミル水和剤を500倍水希釈液（以下、ベノミル500倍液）として試験に供した。ベノミル500倍液のナラ菌に対する効果を確認するため、健全なミズナラにベノミル500倍液を樹幹注入した後にナラ菌を接種して萎凋および枯死の

発生経過を観察した。試験場所は、ナラ枯れ被害がない山形県森林研究研修センターの約50年生のミズナラ試験林（山形県西村山郡西川町沼山）とした。試験には、ベノミル500倍希釈液、および対照試薬としてナラ菌の増殖抑制が確認されている前出のMSY-104（Diiodomethyl-*p*-tolylsulfone 5ppm）を用いた。試験区は、ベノミル500倍液やMSY-104を健全なミズナラへ事前に樹幹注入した後、殺菌剤の樹幹内での分散を考えて注入2週後にナラ菌を接種する「ベノミル区」、「MSY-104区」および「対照区」を設定し、健全なミズナラ立木（胸高直径18～30cm）を供試した。供試樹には、試験地で観察に適した立木を選び、ベノミル区は3本、MSY-104区および対照区は5本を供試した。ベノミル500倍希釈液とMSY-104は試薬をノズル付き200mLアンプル（ファイザー製グリーンガードエイトの使用済み材料を中性洗剤と水道水で洗浄して使用）に充填し、供試木への注入は、松くい虫被害防止用薬剤の樹幹注入剤の施用法¹⁷⁾を参考にしたMSY-104の注用量を採用して¹⁶⁾、胸高直径20cm未満の木で800～1,000mL、20～30cmの木で1,000～1,200mLとした。試薬を充填したアンプルは、樹幹の地上高50cmの位置にノズルの口径に合わせて、7～8mmの注入孔を斜め45度に25～30mmの深さで開けて自然圧で注入した。山形県庄内地方でのカシナガの平均初発日は6月26日であるので¹⁸⁾、これら試薬の樹幹注入はカシナガの初発日前の2004年6月4日とし、ナラ菌の接種は、試験地近傍の被害地でカシナガの大量発生が盛んに起こる2004年7月7日とした。接種試験に用いたナラ菌は、山形県鶴岡市大字西荒屋のナラ枯れ被害林において2003年夏に枯死した立木より採取し、筆者が単離した菌株を森林総合研究所東北支所の窪野高德博士にナラ菌であるか同定いただいた。この単離したナラ菌（保有菌株：YA0301）をコメヌカとフスマを添加したオガ粉の混合培地（重量比1:1:1）を用い、25℃で18日間静置培養した¹⁹⁾。ナラ菌の接種試験は、斉藤ら¹⁹⁾の方法を参考に行った。地上1.0mの部位に樹幹を1周する列状の小

Fig. 1. Position of gathering disks and fragments.

孔（径8mm，深さ25mm，間隔30mm）を上下に50mm間隔で6列あけて接種孔とし，ナラ菌を培養した混合培地を接種孔1孔あたり約1g挿入した．各供試木の接種孔数は100孔程度である．供試木の観察は，接種後4週までは毎週，以後12週までは4週おきに行い，正常（見かけ上，樹幹の葉が緑色の状態）・異常（樹冠の葉が萎凋し，緑葉が褐変し始めた状況）・枯死（樹冠の葉全体が褐色になった状態）に区分して記録した．また，ナラ菌の樹幹内の動態については，齊藤ら¹⁶⁾を参考に，ナラ菌の樹幹内の動態を調査した．本調査は12週目にベノミル区とMSY-104区から枯死しなかった供試木および対照区から枯死木を伐倒し，地上0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 8.0, 10.0mより厚さ5～10cmの円盤を採取して，辺材から1cm四方の材片を各8個採取し（Fig. 1），0.5%次亜塩素酸ナトリウム溶液で5分間表面殺菌後，滅菌水で3回洗浄し，20℃にて2週間PDA培地上で培養して分離された菌株を窪野高徳博士に同定いただき，ナラ菌の分離率を確認した．なお，この試験結果の一部は齊藤ら¹⁶⁾を引用した．

2. ナラ枯れ被害林におけるベノミル剤樹幹注入のナラ枯れ予防効果の調査

ベノミル希釈液のナラ類への樹幹注入によるナラ枯れ予防の実証試験は，ナラ枯れ被害が発生している山形県・長野県・新潟県で実施した．各試験地と試験地の設置年および概況はTable 1のとおりである．

試験実施年と実施県・試験地数は，2004年1県1試験地，2005年1県1試験地，2006年2県4試験地，2007年3県5試験地，2008年2県3試験地であり，4ヵ年で3県8試験地（のべ14の試験）において実証試験を実施した．試験地は，試

験区の供試木にカシナガが穿入することが予想される場所で実施することとし，山形県でのこれまでの調査で得た結果で被害区分をした参考にして²¹⁾微害から激害（1試験地のみ次年度被害が発生しそうな未被害）のミズナラ・コナラ林またはコナラ林とし，未被害のナラ類立木を供試木として選び，所定の薬液の注入を各地におけるカシナガの羽化脱出前の5～6月に実施した．

使用した試薬は，前述のベノミル500倍液，対照試薬であるMSY-104を，ノズル付き200mLアンプルに充填した．試薬の注入量は，前述のとおり胸高直径から算出して胸高直径20cm未満の木で800～1,000mL，20～30cmの木で1,000～1,200mL，30～40cmの木で1,400～1,600mL，40～60cmの木で2,200～5,600mLとした．薬剤注入孔は，樹幹下部の地上20～50cmに径7～8mmの注入孔を斜め45度に25～30mmの深さで開けてアンプルを自然圧で注入した．

試験区は，ベノミル水和剤500倍液を処理したベノミル区，無処理区および対照薬剤のMSY-104区（2005年および2006年）とした．

供試木は各試験地の各試験区において3本以上とし，未被害のミズナラかコナラの生立木を用いた．全試験地を通じた供試木の平均胸高直径は17.8～50.4cm，平均樹高は13.5～21.9mで，ミズナラ・コナラの二次林における林齢40～60年生の立木としてはほぼ平均的なサイズであった³⁾．

また，試薬の樹幹注入では，試薬の注入状況を確認するために，注入成功率を調査した．試液の注入は自然圧を用いており，注入状況と天候が試験地によって様でなため，試液の注入状況は，7日後までにアンプルを回収しその際にアンプル内の試液の残存量を計って差引き，注入量との比を注入成功率とした．

Table 1. Conspectus of fields

注入処理年月日	県市町村	試験地	被害区分	林況
2004.6.19～21	山形県鶴岡市	桜ヶ丘	激害	50年生ミズナラ・コナラ林
2005.6.17～20	山形県西川町	弓張平	微害	55年生ミズナラ林
2006.6.1～4	山形県小国町	玉川	微～激害	60年生ミズナラ・コナラ林
2006.6.1～4	"	大宮	微～中害	60年生ミズナラ・コナラ林
2006.6.1～4	"	市野沢	中害	70年生コナラ林
2006.5.27～6.2	新潟県佐渡市	キセン城	微害	40年生ミズナラ・コナラ林
2007.5.24～30	山形県小国町	玉川	微～激害	60年生ミズナラ・コナラ林
2007.5.24～30	"	大宮	微～中害	60年生ミズナラ・コナラ林
2007.5.21～27	"	金目	微害	60年生コナラ林
2007.6.4～12	長野県飯山市	柄山	微害	40～60年生ミズナラ林
2007.6.9～15	新潟県佐渡市	キセン城	微害	40年生ミズナラ・コナラ林
2008.5.21～27	山形県小国町	玉川	微～激害	60年生ミズナラ・コナラ林
2008.5.21～27	"	大宮	微～中害	60年生ミズナラ・コナラ林
2008.6.7～9	新潟県佐渡市	キセン城	微害	40年生ミズナラ・コナラ林

Table 2. Conspectus of treatment of each test

注入年度	県名	試験地	ベノミル区		無処理区		MSY-104区	
			供試本数	平均胸高直径 (cm)	供試本数	平均胸高直径 (cm)	供試本数	平均胸高直径 (cm)
2004	山形県	桜ヶ丘	13	33.0	18	30.4		
2005	山形県	弓張平	14	23.3	14	21.4	13	17.8
2006	山形県	玉川	13	29.6	14	31.9	12	33.0
	"	大宮	9	31.4	19	33.6	8	28.4
	"	市野沢	3	47.5	3	36.2	3	50.8
	新潟県	キセン城	18	35.1	10	37.6	14	30.4
2007	山形県	玉川	7	31.4	14	33.1		
	"	大宮	6	31.4	3	33.6		
	"	金目	11	26.0	3	25.7		
	長野県	柄山	20	33.2	10	29.8		
	新潟県	キセン城	4	50.4	10	37.4		
2008	山形県	玉川	5	29.0	5	27.8		
	"	大宮	12	27.3	10	23.3		
	新潟県	キセン城	3	44.2	9	37.6		

Concentration of chemical Benomyl plot Benomyl wettable powder (a.i. 2 μ g/mL).
 MSY-104 plot Diiodomethyl-*p*-tolylsulfone 5 ppm.

Table 3. Control of wilting symptom by each chemical treating test

試験区	供試本数	様態	本数					
			1週後	2週後	3週後	4週後	8週後	12週後
ベノミル	3	正常	3	3	3	3	3	3
		異常	0	0	0	0	0	0
		枯死	0	0	0	0	0	0
MSY-104	5	正常	5	5	5	5	5	5
		異常	0	0	0	0	0	0
		枯死	0	0	0	0	0	0
無処理	5	正常	5	3	1	1	1	1
		異常	0	2	2	0	0	0
		枯死	0	0	2	4	4	4

Experimental site Nishikawa town Yamagata prefecture (Same site Table 2).
 Concentration of chemical Benomyl plot Benomyl wettable powder (a.i. 2 μ g/mL).
 MSY-104 plot Diiodomethyl-*p*-tolylsulfone 5 ppm.
 Process of test Trunk injection 2004.6.4, Inoculation of *Raffaelea quercivora* 2004.7.7.

試薬の樹幹注入による枯死防止効果調査は、枯死に関係する外見上の様態が安定する9月末に実施し、生存（見かけ上、樹幹の葉が褐色になっておらず、生きた冬芽を形成している状態）・枯死（樹冠の葉全体が褐色になっており、冬芽の内部が褐変している状態）に区分した。同時に供試木樹幹の地上0～4mまでのカシナガの穿孔数を数えた。予防試験を行う上では、カシナガの穿入があって初めて効果の確認が

可能になる。市原ら²¹⁾は、カシナガの穿入数とミズナラの萎凋の関係を明らかにしており、降雨量の影響はあるものの穿入数10数個で枯死の発生を確認している。したがって、カシナガの穿入孔が10個以上あれば、予防効果を確認できる供試木と考えられた。以上のナラ枯れ予防調査は、各試験地において毎年実施した。

Table 4. Segregation-frequency of *Raffaelea quercivora* of fragments on gathered disks from trees of inoculating wilt fungus

試験区		ペノミル区			MSY-104区					無処理区				
供試木No.		1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
様態	処理	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	枯死	枯死	正常	枯死	枯死
地上高(m)														
10.0		0	0	0	0	0	0	0	0	37.5	50.0	25.0	75.0	37.5
8.0		0	0	0	0	0	0	0	0	62.5	62.5	37.5	50.0	62.5
5.0		0	0	0	0	0	0	0	0	87.5	62.5	62.5	62.5	62.5
3.0		0	0	0	0	0	0	0	0	75.0	75.0	50.0	75.0	75.0
2.0		0	0	0	0	0	0	0	0	100	62.5	75.0	100	100
1.0	菌接種	25.0	12.5	0	12.5	12.5	12.5	0	12.5	87.5	100	75.0	100	100
0.8		0	0	0	0	0	0	0	0	87.5	87.5	75.0	100	100
0.5	試薬注入	0	0	0	0	0	0	0	0	87.5	87.5	87.5	75.0	75.0
0.3		0	0	0	0	0	0	0	0	87.5	75.0	50.0	75.0	87.5

Numbers of table Rate of segregation of *Raffaelea quercivora* from 8 fragments

Experimental site Nishikawa town Yamagata prefecture (Same site Table 2).

Concentration of chemical Benomyl plot Benomyl wettable powder (a.i. 2 μ g/mL).

MSY-104 plot Diiodomethyl-*p*-tolylsulfone 5 ppm.

Process of test Trunk injection 2004.6.4, Inoculation of *Raffaelea quercivora* 2004.7.7, Cutting-Segregation of fungus 2004.9.29, Examination of fungus 2004.10.13.

結 果

1. ナラ菌接種によるペノミル剤樹幹注入のナラ枯れ防止効果

Table 3に試薬の樹幹注入後におけるナラ菌接種試験の結果を示す。

ペノミル区MSY-104区の供試木では、枯死や異常は8月末までの12週間認められなかった。しかし、ナラ菌のみを接種した供試木5本の内4本は接種8週後に枯死した。また接種12週後のナラ菌の分離率を調査したところ、ペノミル区とMSY-104区では、ナラ菌接種孔の部位のみで分離されたがその他の部位では分離されなかった。これに対して、無処理区ではすべての立木の樹幹全体からナラ菌が広範囲に分離された (Table 4)。

2. ナラ枯れ被害林におけるペノミル剤樹幹注入のナラ枯れ予防効果

Table 5にペノミル区の全試験地における供試木138本の注入成功率別の枯死本数と枯死率について示した。供試木138本において、注入成功率は80~100%で98本であり枯死本数はわずか1本 (枯死率1%)、成功率60~80%は36本で枯死本数4本 (枯死率11%)、成功率40~60%では3本中すべてが枯死した (枯死率100%)。このように注入成功率が高い場合は供試木の枯死率が極めて低いことが確認された。

なお、ペノミルの濃度について、500倍液と250倍液の樹

Table 5. Numbers of death-trees and mortality rate of success-rate of benomyl

注入成功率 (%)	注入供試本数	枯死本数	枯死率 (%)
80-100	98	1	1.0
60-80	36	4	11.1
40-60	3	3	100.0
20-40	—	—	—
0-20	—	—	—
計	138	8	

Experimental site Yamagata, Nagano, Niigata Prefecture.

Concentration of chemical Benomyl plot Benomyl wettable powder (a.i. 2 μ g/mL).

Process of test Trunk injection 2004-2008. May-June.

Research of death-trees 2004-2008. September.

幹注入で検討したが、250倍液は注入用アンプルのノズルの先に試薬の残渣がつまり、注入が困難となるため、実用的な希釈倍率ではないことがわかった。

3年間にわたる供試木の経過をTable 6に示した。いずれの試験区の供試木も開始当年9月のカシナガの穿孔数が10個以上に達しており、ナラ枯れ予防効果を調査できると判断した。したがって、試験区同士を単純に比較し、枯死率の低いものに予防効果があったと考えた。

ナラ枯れ被害は、1林分で3年程度継続して発生するが³⁾、枯死率は、14の試験すべてでペノミル区が無処理区より

Table 6. Progress of mortality rate and condition of test trees by each chemical treating test

注入 年度	試験地	試験区	注入当年			注入2年目			注入3年目			累積枯死 本数	3年後の 枯死率 (%)	
			期首 本数	生存	枯死	枯死率 (%)	期首 本数	生存	枯死	枯死率 (%)	期首 本数			生存
2004	山形県桜ヶ丘	ベノミル 無処理	13	13	0	0.0	13	13	0	0.0	13	13	0	0.0
			18	15	3	16.7	15	11	4	26.7	11	7	3	27.3
2005	山形県弓張平	ベノミル	14	14	0	0.0	14	14	0	0.0	14	0	0	0.0
		MSY-104	13	13	0	0.0	13	13	0	0.0	13	0	0	0.0
		無処理	14	12	2	14.3	12	12	0	0.0	12	0	0	0.0
		ベノミル	13	13	0	0.0	13	12	1	7.7	12	11	1	8.3
2006	山形県玉川	MSY-104	12	11	1	8.3	11	11	0	0.0	11	10	1	9.1
		無処理	14	12	2	14.3	12	8	4	33.3	8	6	2	25.0
		ベノミル	9	9	0	0.0	9	9	0	0.0	9	8	1	11.1
		MSY-104	8	7	1	12.5	7	6	1	14.3	6	4	2	33.3
2007	山形県大宮	無処理	19	19	0	0.0	19	15	4	21.1	15	10	5	33.3
		ベノミル	3	3	0	0.0	3	3	0	0.0	3	3	0	0.0
		MSY-104	3	3	0	0.0	3	3	0	0.0	3	2	1	33.3
		無処理	3	3	0	0.0	3	3	0	0.0	3	1	2	66.7
2008	山形県野沢	ベノミル	18	18	0	0.0	18	18	0	0.0	18	18	0	0.0
		MSY-104	14	14	0	0.0	14	14	0	0.0	14	14	0	0.0
		無処理	10	9	1	10.0	9	9	0	0.0	9	9	0	0.0
		ベノミル	7	7	0	0.0	7	6	1	14.3	6	6	0	0.0
2009	山形県玉川	無処理	14	10	4	28.6	10	6	4	40.0	6	5	1	16.7
		ベノミル	6	6	0	0.0	4	4	0	0.0	4	4	0	0.0
		MSY-104	3	2	1	33.3	2	2	0	0.0	2	2	0	0.0
		無処理	11	11	0	0.0	9	9	0	0.0	9	9	0	0.0
2010	山形県金目	無処理	3	2	1	33.3	2	2	0	0.0	2	2	0	0.0
		ベノミル	20	18	2	10.0	18	18	0	0.0	18	18	0	0.0
		MSY-104	10	3	7	70.0	3	1	2	66.7	1	1	0	0.0
		無処理	4	4	0	0.0	4	4	0	0.0	4	4	0	0.0
2011	長野県柄山	無処理	10	9	1	10.0	9	9	0	0.0	9	7	2	22.2
		ベノミル	5	5	0	0.0	5	5	0	0.0	5	5	0	0.0
		MSY-104	5	1	4	80.0	1	1	0	0.0	1	0	1	100.0
		無処理	12	10	2	16.7	10	10	0	0.0	10	10	0	0.0
2012	新潟県キセン城	無処理	10	8	2	20.0	8	6	2	25.0	6	5	1	16.7
		ベノミル	3	3	0	0.0	3	3	0	0.0	3	3	0	0.0
		MSY-104	9	9	0	0.0	9	8	1	11.1	8	6	2	25.0
		無処理	138			2.9				1.5	8			5.8
2013	山形県大宮	無処理	50			4.0				2.1	7			14.0
		ベノミル	142			19.7				18.4	68			47.9
		MSY-104												
		無処理												

Table 7. Test of significant difference of control of mortality rate by treating benomyl

注入年度	県名	試験地	試験区	供試本数	期末時の枯死率 (%)	Fisherの直接確率検定	
						片側	
						p値	有意差
2004	山形	桜ヶ丘	ベノミル区	13	0	0.0010	**
			無処理区	18	56		
2005	山形	弓張平	ベノミル区	14	0	0.2407	
			無処理区	14	14		
2006	山形	玉川	ベノミル区	13	15	0.0310	*
			無処理区	14	57		
	"	大宮	ベノミル区	9	11	0.0704	
			無処理区	19	47		
	"	市野沢	ベノミル区	3	0	0.2000	
			無処理区	3	67		
	新潟	キセン城	ベノミル区	18	0	0.3571	
			無処理区	10	10		
2007	山形	玉川	ベノミル区	7	14	0.0426	*
			無処理区	14	64		
	"	大宮	ベノミル区	6	0	0.3333	
			無処理区	3	33		
	"	金目	ベノミル区	11	0	0.2143	
			無処理区	3	33		
	長野	柄山	ベノミル区	20	10	0.00004	**
			無処理区	10	90		
	新潟	キセン城	ベノミル区	4	0	0.3818	
			無処理区	10	30		
2008	山形	玉川	ベノミル区	5	0	0.0040	**
			無処理区	5	100		
	"	大宮	ベノミル区	12	17	0.1130	
			無処理区	10	50		
	新潟	キセン城	ベノミル区	3	0	0.3818	
			無処理区	9	33		

Significance level * 5%, ** 1%.

注入当年から3年目まで低くなった。また、ベノミル区とMSY-104区については、2006年の大宮試験地の注入当年では、MSY-104区の枯死率は13%であるのに対して、ベノミル区と無処理区は0%であった。さらに、2006年の玉川試験地の注入当年では無処理区で14%の枯死率であったが、MSY104区では8%と高いものの、ベノミル区は0%であり、ベノミル区は枯死率が低い結果であった。

各試験地の枯死率をFisherの直接確率で片側検定したところ、14の試験中、5試験においてベノミル区で有意に枯死率が小さかった。また、ベノミル区とMSY-104区の両側検定

で有意差は認められなかった (Table 7)。

考 察

殺菌剤ベノミル水和剤の水希釈液の樹幹注入がナラ枯れ被害の予防に有効かどうかを検討した。ベノミル500倍液を事前に樹幹注入したミズナラの未被害木へのナラ菌の接種試験の結果、ベノミル500倍液を所定量樹幹注入した立木は枯死せず、樹幹内でのナラ菌の分離率も低かった。したがって、ベノミル500倍液の樹幹注入方法は、MSY-104の樹幹注入処理と同様にナラ菌の増殖抑制効果を示すことが示唆された。

また、2004～2008年には、3県8試験地（のべ14の試験）でベノミル500倍液の樹幹注入によるナラ枯れ被害予防効果に関する実証試験を実施した。ベノミル500倍液の樹幹注入において、薬液の注入成功率が高い場合は枯死率が低くなる傾向が認められたが、注入成功率が60%を下回る場合は枯死率が100%であった。2006年の柄山試験地や2008年の大宮試験地のベノミル区では枯死木は注入成功率が60%程度のもは枯死した。これは、ナラ菌の接種試験からも明らかのように、注入成功率が低くなると樹幹内にベノミル500倍液が充填できずナラ菌の増殖抑制が困難になる傾向にあり、枯死に至る可能性があると考えられた。

樹幹注入による枯損防止効果については、ベノミル区は、注入当年から3年目まで常に無処理区より枯死率が低かった。MSY-104区の一部の試験地では、無処理区より枯死率が高かったり、無処理区との差が少なかったりする場合があったことと比較すれば、ベノミル区の枯損防止効果は高く、性能が安定していることがうかがわれた。また、Fisherの直接確率で14の試験ごとに検定した結果、5試験で有意差が認められたが、その他の試験では有意差は認められなかった。このことは、本試験が現地の森林で実施しているものであり、2005年設定の弓張平試験地や2006年設定のキセン城試験地をはじめとして、無処理区においてカシナガには穿入されたものの枯死に至った立木が予想外に少なかった試験地があったためであると考えられた。また、試験地として観察に適した供試木の確保に制約があり、各試験区の供試木が3本程度と少なくなり無処理区での枯死が少ない場合は有意差がない結果になったと考えられる。

しかし、Fisherの直接確率で有意差がない場合でも、たとえば大宮試験地の2006年と2008年などの例では常にベノミル区は、無処理区よりも枯死率が低い結果であったことから、ベノミル500倍の樹幹注入は枯損防止効果が高いものと考えられた。

このようにベノミル500倍液をナラ類立木へ樹幹注入する方法はナラ類集団枯損被害の予防に有効な方法であり、さまざまな応用の可能性があると考えられた。

樹幹注入の処理方法は様々な地域や林分、気象条件下で実施されることから、その結果は様ではない可能性はある。しかし今回は最も枯死しやすいミズナラを主とするナラ類が多い東北・中部地方において予防効果が実証された。今後は、ナラ菌の増殖抑制に効果がある様々な殺菌剤も含めて他地域やシイ・カシ類といった他樹種においても利用可能な方法かどうか検討する必要がある。

要 約

ナラ枯れの新たな予防法を開発するために、殺菌剤ベノミル水和剤の水希釈液を健全なミズナラに樹幹注入処理する試

験を行った。ベノミル水和剤500倍希釈液を樹幹注入処理した供試木すべてに*Raffaelea quercivora*（ナラ菌）を多点接種したところ、その立木は枯死せず、辺材部からのナラ菌の分離率も対照に比べて低かった。一方、無処理の健全木への多点接種では試験木は枯死し、ナラ菌の分離率が高かった。また、3県8試験地の14の試験でベノミル500倍液の樹幹注入処理による枯損予防効果を試験した。処理区は無処理区に対して常に低い枯死率であった。処理区と無処理区の枯死率に有意差は認められなかったが、14の試験すべてで注入当年から3年後の枯死率がベノミル区で無処理区に対して低かったことから、被害が発生する現実林分において、ベノミル500倍液の樹幹注入処理による枯損防止効果が高いことが示唆された。

引 用 文 献

- 1) 伊藤進一郎, 窪野高徳, 佐橋憲生, 山田利博: 日本林学会誌 **80**, 170–175 (1998).
- 2) T. Kubono and S. Ito: *Mycoscience* **43**, 255–260 (2002).
- 3) 斉藤正一, 柴田銃江: 日本森林学会誌 **94**, 223–228 (2012).
- 4) 布川耕市: 森林防疫 **42**, 210–213 (1993).
- 5) 斉藤正一, 市原 優, 衣浦晴生, 猪野正明: 東北森林科学会誌 **13**, 1–4 (2008).
- 6) 斉藤正一, 中村人史, 三浦直美, 小野瀬浩司: 森林防疫 **48**, 84–94 (1999).
- 7) 斉藤正一, 中村人史, 三浦直美: 林業と薬剤 **152**, 1–11 (2000).
- 8) 斉藤正一, 中村人史, 阿部 豊, 田畑勝洋: 山形県森林研究研修センター研究報告 **31**, 15–24 (2009).
- 9) 斉藤正一: 平成17年度林業薬剤等試験成績報告集, 林業技術協会, pp. 375–392, 2006.
- 10) 小林正秀, 萩田 実: 森林防疫 **52**, 137–147 (2003).
- 11) 斉藤正一, 中村人史, 三浦直美: 林業と薬剤 **166**, 18–24 (2003).
- 12) 斉藤正一, 中村人史: 公立林業試験研究機関研究成果選集No. 2. 独立行政法人森林総合研究所編, pp. 19–20, 2005.
- 13) 増田信之: 第56回日本森林学会関西支部等合同大会研究発表要旨集, p. 65, 2005.
- 14) 大橋章博: 第118回日本森林学会学術講演集, CD-ROM (PB076), 2007.
- 15) 江崎功二郎: 日本森林学会誌 **90**, 391–396 (2008).
- 16) 斉藤正一, 中村人史, 中江純一郎, 山本克哉: 東北森林科学会誌 **11**, 92–96 (2006).
- 17) 田畑勝洋: 第3説 予防 (松くい虫 (マツ材線虫病)—沿革と最近の研究—). 全国森林病虫害防除協会編, pp. 133–150, 1998.
- 18) 斉藤正一, 中村人史, 後藤 徹: 東北森林科学会誌 **8**, 99–101 (2003).
- 19) 斉藤正一, 中村人史, 三浦直美, 三河孝一, 小野瀬浩司: 日本林学会誌 **83**, 58–61 (2001).
- 20) 山形県農林水産部森林課, 山形県森林研究研修センター: 山形県のナラ枯れ被害と防除, p. 22, 2011.
- 21) 市原 優, 升屋勇人, 加賀谷悦子, 窪野高徳: 東北森林科学会誌 **14**, 7–11 (2009).