

青森県におけるDMI剤耐性リンゴ黒星病菌の発生

誌名	北日本病害虫研究会報
ISSN	0368623X
著者名	平山,和幸 花岡,朋絵 新谷,潤一 對馬,由記子 赤平,知也
発行元	北日本病害虫研究会
巻/号	68号
掲載ページ	p. 108-114
発行年月	2017年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



青森県におけるDMI剤耐性リンゴ黒星病菌の発生

平山和幸^{1,*}・花岡朋絵¹・新谷潤一^{1,2}・對馬由記子^{1,3}・赤平知也¹

DMIs-resistant Strains of *Venturia inaequalis* Causing Apple Scab in Aomori Prefecture, Japan

Kazuyuki HIRAYAMA^{1,*}, Tomoe HANAOKA¹, Jyunichi ARAYA^{1,2}, Yukiko TSUSHIMA^{1,3} and Tomoya AKAHIRA¹

2015～2016年、青森県津軽地域でリンゴ黒星病が多発し、基幹防除剤であるDMI剤に対する耐性菌の発生が懸念されたため、慣行防除園から採取した罹病葉または罹病果由来の菌を供試し、生物検定および薬剤添加培地を用いた感受性検定を実施した。生物検定では園地およびDMI剤の種類により差は見られるものの、いずれの薬剤においても防除効果の低下が認められ、感受性検定でもフェナリモルおよびジフェノコナゾールに対する感受性の低下が認められた。以上のことから、青森県津軽地域の広域でDMI剤耐性リンゴ黒星病菌が発生していると判断された。また、1995～2016年におけるフェナリモル水和剤に対する感受性の比較から、高感受性菌 ($EC_{50} \leq 0.04$ ppm) の割合漸減および低感受性菌 ($EC_{50} \geq 0.1$ ppm) の割合漸増が示され、1995年以降、リンゴ黒星病のDMI剤に対する感受性は経時的に低下していたと推察された。

Key words: apple scab, DMI fungicides, EC_{50} , fungicide resistance, *Venturia inaequalis*

リンゴ黒星病は *Venturia inaequalis* によって引き起こされる病害であり、葉、枝や果実に円形の褐色～暗褐色の病斑を形成する。特に果実では肥大に伴って病斑部に裂果が生じ、商品価値が損なわれることからリンゴの重要病害となっている。

本病は主に被害落葉で越冬し、開花期から落花期の4月下旬～5月中旬に形成された子のう胞子により一次感染が起こる。本病の初発は5月中旬頃となり、病斑部に形成される分生子により二次感染が引き起こされ蔓延する。そのため、本病の重点防除時期は開花直前から落花20日後頃とされている (14, 19)。

青森県では本病の防除対策として、年間約10回の殺菌剤散布を実施し、重点防除時期の「ふじ」の開花直前から落花15日後頃にステロール脱メチル化阻害剤 (DMI剤) を散布してきた。DMI剤は本病に対して保護効果および治療効果を有し、卓効を示す一方で (2)、耐

性菌発生リスクが高いことが知られる。リンゴ黒星病におけるDMI剤耐性菌の発生は1986年にフランスで初めて確認されて以降 (15)、欧米における発生が相次いで確認されている (10, 11)。そこで、本県ではDMI剤耐性の発達回避のためにDMI剤の使用を制限し、1996年からは「ふじ」の開花直前、落花直後と落花15日後頃の3回の薬剤散布とした。このうち後半2回はマンゼブまたはジラム・チウラムとの混合剤の使用を指導してきた。本体系を普及に移してからリンゴ黒星病の発生は小康状態を保ち、DMI剤耐性菌の発生も確認されていなかった。しかし、2015～2016年に青森県においてリンゴ黒星病が多発し、津軽地域の広域で発生が確認されたことから (1, 6)、DMI剤耐性リンゴ黒星病菌の発生が懸念された。そこで、本研究では生物検定による各種DMI剤の防除効果の評価、並びに薬剤添加培地を用いた慣行防除園におけるリンゴ黒星病菌のDMI剤に対する感受性

1) 青森県産業技術センターりんご研究所

Apple Research Institute, Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Kuroishi, Aomori 036-0332, Japan

2) 現在：青森県弘前市

3) 現在：青森県産業技術センター野菜研究所

*) 責任著者 (Corresponding Author)

受理日：2017年8月10日 (Accepted: August 10, 2017)

の評価を行った。

なお、本報告の一部は、平成28年度日本植物病理学会東北部会および平成29年度日本植物病理学会で発表した。

材料および方法

1. 生物検定による防除効果評価

1) 接種源の調整

各園地から黒星病の罹病葉を無作為に採取し、ビニール袋に入れて冷蔵保存した。接種当日、罹病葉の病斑部に形成された分生子を筆でかき取り蒸留水に懸濁し、細胞計数盤を用いて分生子濃度を調整して接種源として供試した。

2) 2015年

弘前市、鱈ヶ沢町および藤崎町の慣行防除園5園地の個体群を用いて、フェンブコナゾール水和剤（商品名：インダーフロアブル）の防除効果を評価した。ワグネルポット（1/5000 a）植栽の10年生「ふじ」を各区3樹（1樹当たり3～5新梢）供試した。6月25日または7月3日に展開直後の新梢葉に印をつけ、フェンブコナゾール水和剤5,000倍に展着剤ポリアルキレングリコールアルキルエーテル（商品名：マイリノー）10,000倍を添加し、ハンドスプレーを用いて1樹当たり250 mlを散布した。散布後3～4時間風乾し、全葉に分生子懸濁液（ $2.9\sim 3.3 \times 10^5$ 個/ml）を噴霧接種後、18°Cの多湿条件下で2日間保持した。以降、野外で管理し、印より下位の葉を発病指数別に発生状況を調査し、発病率と発病度を求め、防除価は発病度から算出した。調査はそれぞれ接種から約3週間後の7月17日または7月24日に実施した。

発病指数 0：発病なし、1：病斑面積が葉の1/4未満、2：同じく1/4～1/2未満、3：同じく1/2以上

$$\text{発病度} = \frac{\sum(\text{発病指数別葉数} \times \text{指数}) \times 100}{(\text{調査葉数} \times 3)}$$

3) 2016年

慣行防除園の弘前市大川個体群および青森市浪岡吉野田-1個体群を供試し、保護効果試験および治療効果試験を実施した。供試薬剤はフェンブコナゾール水和剤、テブコナゾール水和剤（商品名：オンリーワンフロアブル）、ヘキサコナゾール水和剤（商品名：アンビルフロアブル）およびフェナリモル水和剤（商品名：ルビゲン水和剤）とし、各薬剤とも展着剤ポリアルキレングリコールアルキルエーテル10,000倍を加用した。ワグネルポット（1/5,000 a）植栽の「ふじ」を各区3樹（1樹当たり1～5新梢）供試した。

保護効果試験では6月6日（弘前市大川個体群）または6月14日（青森市浪岡吉野田-1個体群）に展開直後の新梢葉に印をつけ、所定濃度の供試薬剤をハンドスプレーで1樹当たり300 mlを散布し、5日後に分生子懸濁

液を噴霧接種した。接種後、18°Cの多湿条件下で2日間保持した。以降、野外で管理し、印をつけた新梢葉から下位7葉を対象に発病指数別に発生状況を調査し、発病率と発病度を求め、防除価は発病度から算出した。

治療効果試験では6月11日（弘前市大川個体群）または6月19日（青森市浪岡吉野田-1個体群）に展開直後の新梢葉に印をつけ、分生子懸濁液を噴霧接種後、18°Cの多湿条件下で2日間保持した。接種3日後に所定濃度の供試薬剤をハンドスプレーで1樹当たり300 mlを散布し、以降、野外で管理した。印をつけた新梢葉から下位10葉を対象に発病指数別に発生状況を調査し、発病率と発病度を求め、防除価は発病度から算出した。なお、分生子懸濁液は弘前市大川個体群が 5.5×10^5 個/ml、青森市浪岡吉野田-1個体群が 5.4×10^5 個/mlにそれぞれ調整した。調査は7月4日（接種23日後）と7月11日（接種22日後）に実施した。

2. 薬剤添加培地検定

2015～2016年に青森県津軽地域の32園地から黒星病の罹病葉および罹病果実を採集した。各罹病葉または罹病果実から単胞子分離にて各1菌株を取得し、計733菌株を供試した。

フェナリモル水和剤またはジフェノコナゾール水和剤（商品名：スコア顆粒水和剤）を有効成分濃度が0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50および100 ppmとなるように調整したPDA培地（Difco）を検定培地とした。得られた733菌株を20°C暗黒条件下で3週間前培養し、菌そうを直径4 mmのコルクボーラーで打ち抜き、菌そう面が下になるように検定培地に移植した。その後、20°Cで3週間培養し、生育した菌そうの直径を測り、 EC_{50} 値（50%生育阻止濃度）を求めた。また、同様の試験を実施した1995年、1996年および2005年の結果と本研究の結果を比較することで感受性の推移を評価した。

結 果

1. 生物検定による防除効果評価

2015年の慣行防除園5園地の個体群に対するフェンブコナゾール水和剤の保護効果試験において、弘前市大沢、弘前市鬼沢、鱈ヶ沢町建石および藤崎町北真那板では防除価85.7～100と園地により差はあるものの効果が確認された。一方、弘前市大川では防除価80.8と効果は認められるが、その程度はやや低かった（第1表）。

2016年の弘前市大川個体群を用いた保護効果試験では無散布で発病率56.8%、発病度32.0の多発生となった。このような条件下でテブコナゾール水和剤2,000倍は発病率13.1%、発病度6.0、防除価81.3と効果が認められた。一方、フェンブコナゾール水和剤5,000倍、ヘキサコナゾール水和剤1,000倍およびフェナリモル水和剤3,000倍は発病率36.5～63.1%、発病度21.7～42.9、防除価0～32.2と効果は低かった。同じく治療効果試験

第1表 慣行防除園のリンゴ黒星病に対するDMI剤の保護効果 (2015年)

接種源採集園地		処理日 ^{a)}	試験区 ^{b)}	調査葉数 (枚/樹)	発病葉率 (%)	発病度	防除価 ^{c)}
弘前市	大川	6月25日	散布	25.7	15.1	5.6	80.8
			無散布	21.0	36.9	29.1	
	大沢	6月25日	散布	23.3	2.4	0.8	93.3
			無散布	23.3	24.2	11.9	
	鬼沢	7月3日	散布	30.3	5.7	1.9	88.8
			無散布	25.7	36.1	16.9	
鱒ヶ沢町	建石	7月3日	散布	28.0	6.8	3.3	85.7
			無散布	28.0	36.9	23.0	
藤崎町	北真那板	6月25日	散布	23.3	0	0	100
			無散布	23.3	9.1	3.0	

a) フェンブコナゾール水和剤3,000倍を散布後、風乾し、同日にそれぞれ分生子懸濁液を噴霧接種した。

b) 供試樹は1区3樹とし、1樹当たり3~5新梢を供試した。

c) 防除価は発病度から算出した。

第2表 慣行防除園 (弘前市大川) のリンゴ黒星病に対するDMI剤の保護および治療効果 (2016年)

供試薬剤	希釈倍数	保護効果試験 ^{b)}				治療効果試験 ^{c)}			
		調査葉数 (枚/樹)	発病葉率 (%)	発病度	防除価 ^{d)}	調査葉数 (枚/樹)	発病葉率 (%)	発病度	防除価 ^{d)}
フェンブコナゾール水和剤	5,000	23.3	36.5	21.7	32.2	33.3	50.0	31.2	42.3
テブコナゾール水和剤	2,000	23.3	13.1	6.0	81.3	30.0	55.5	34.1	37.0
ヘキサコナゾール水和剤	1,000	28.0	39.3	25.0	21.9	26.7	36.7	12.8	76.3
フェナリモール水和剤	3,000	23.3	63.1	42.9	0	30.0	70.3	52.2	3.5
無散布		23.3	56.8	32.0		26.7	71.1	54.1	

a) 供試樹は1区3樹、1樹当たり1~5新梢を供試した。

b) 6/6薬剤散布、6/11接種、7/4調査。

c) 6/11接種、6/14薬剤散布、7/4調査。

d) 防除価は発病度から算出した。

第3表 慣行防除園 (青森市浪岡吉野田-1) のリンゴ黒星病に対するDMI剤の保護および治療効果 (2016年)

供試薬剤	希釈倍数	保護効果試験 ^{b)}				治療効果試験 ^{c)}			
		調査葉数 (枚/樹)	発病葉率 (%)	発病度	防除価 ^{d)}	調査葉数 (枚/樹)	発病葉率 (%)	発病度	防除価 ^{d)}
フェンブコナゾール水和剤	5,000	21.0	53.6	36.0	0	24.0	68.0	51.8	0
テブコナゾール水和剤	2,000	14.0	47.6	26.2	3.0	21.3	63.9	53.5	0
ヘキサコナゾール水和剤	1,000	14.0	56.3	32.8	0	24.0	64.2	43.1	10.6
フェナリモール水和剤	3,000	14.0	65.1	42.1	0	24.0	63.9	50.5	0
無散布		16.3	41.3	27.0		24.0	68.0	48.2	

a) 供試樹は1区3樹、1樹当たり1~5新梢を供試した。

b) 6/14薬剤散布、6/19接種、7/11調査。

c) 6/19接種、6/22薬剤散布、7/11調査。

d) 防除価は発病度から算出した。

では無散布で発病葉率71.1%、発病度54.1の多発生となった。このような条件下で供試した4薬剤は発病葉率36.7~70.3%、発病度12.8~52.2、防除価3.5~76.3といずれも効果は低かった (第2表)。

同様に、2016年の青森市浪岡吉野田-1個体群を用いた保護効果試験では無散布で発病葉率41.3%、発病度27.0の多発生となった。このような条件下で供試した4薬剤は発病葉率47.6~65.1%、発病度26.2~42.1、防除価

第4表 青森県津軽地域におけるリンゴ黒星病菌のDMI剤に対する感受性 (2015年)

調査園地		EC ₅₀ 値 (ppm)							
		フェナリモル				ジフェノコナゾール			
		株数	平均値	最小値	最大値	株数	平均値	最小値	最大値
弘前市	大川	38	0.214	0.042	0.956	38	0.031	2.210×10 ⁻⁶	0.291
	鬼沢	21	0.239	0.107	0.593	21	0.026	1.950×10 ⁻⁴	0.125
	大沢	26	0.226	0.044	1.017	26	0.018	9.440×10 ⁻⁶	0.136
	鳥井野	20	0.208	0.003	0.618	20	0.024	1.040×10 ⁻⁵	0.316
黒石市	田山平	14	0.237	0.026	0.687	14	0.016	3.650×10 ⁻⁵	0.178
鱒ヶ沢町	建石	13	0.286	0.063	1.010	13	0.013	1.340×10 ⁻⁴	0.043
板柳町	野中	26	0.159	0.033	0.382	27	0.012	1.130×10 ⁻⁵	0.075
大鰐町	森山	26	0.358	0.051	1.124	26	0.070	3.270×10 ⁻⁴	0.560
藤崎町	北真那板	24	0.173	0.039	0.476	24	0.011	1.630×10 ⁻⁴	0.065

第5表 青森県津軽地域におけるリンゴ黒星病菌のDMI剤に対する感受性 (2016年)

調査園地		EC ₅₀ 値 (ppm)							
		フェナリモル				ジフェノコナゾール			
		株数	平均値	最小値	最大値	株数	平均値	最小値	最大値
青森市	浪岡下石川-1	30	0.775	0.176	1.448	30	0.397	7.735×10 ⁻⁶	0.992
	浪岡下石川-2	30	0.816	0.202	1.477	28	0.555	2.994×10 ⁻³	2.356
	浪岡吉野田-1	30	0.801	0.133	1.704	30	0.512	1.291×10 ⁻⁵	1.727
	浪岡吉野田-2	30	0.792	0.073	1.651	30	0.757	2.306×10 ⁻⁴	3.785
弘前市	大川	30	0.642	0.153	1.583	29	0.210	6.558×10 ⁻⁵	1.482
	小沢	10	0.404	0.250	0.649	10	0.007	7.963×10 ⁻⁴	0.048
	八幡	20	0.525	0.207	1.333	20	0.066	2.175×10 ⁻⁶	0.187
	十腰内	7	0.865	0.407	1.367	7	0.927	4.141×10 ⁻³	2.305
五所川原市	持子沢	20	0.984	0.434	1.692	20	0.787	8.826×10 ⁻²	1.647
	羽野木沢	20	0.689	0.203	1.198	20	0.300	2.357×10 ⁻³	0.857
黒石市	牡丹平	27	0.657	0.172	1.839	26	0.178	2.262×10 ⁻⁴	2.030
つがる市	木造	20	1.029	0.232	1.816	19	1.036	4.206×10 ⁻³	2.369
板柳町	下常海橋	25	0.556	0.175	1.323	27	0.182	4.586×10 ⁻⁵	1.159
	太長	30	0.440	0.097	0.968	29	0.071	2.260×10 ⁻⁵	0.678
藤崎町	亀岡	30	0.678	0.156	1.506	30	0.254	1.864×10 ⁻⁶	0.973
	林崎	29	0.705	0.094	1.427	29	0.392	5.385×10 ⁻⁴	2.522
大鰐町	森山-1	19	0.904	0.302	1.474	18	0.554	3.329×10 ⁻⁴	2.571
	森山-2	20	0.886	0.318	1.859	19	0.709	1.234×10 ⁻¹	1.403
	苔木	20	0.941	0.354	1.673	19	0.788	7.827×10 ⁻²	2.317
	三ツ目内	20	0.740	0.276	1.117	20	0.563	4.600×10 ⁻²	1.698
鱒ヶ沢町	建石	5	0.448	0.240	0.695	4	0.015	7.466×10 ⁻³	0.022
田舎館村	前田屋敷	29	0.751	0.032	1.584	25	0.314	1.174×10 ⁻⁵	1.490
	八反田	23	0.888	0.179	1.994	22	0.691	1.385×10 ⁻⁴	5.882

0~3.0といずれも効果が低かった。同じく治療効果試験では無散布で発病葉率68.0%,発病度48.2の多発生となった。このような条件下で供試した4薬剤は発病葉率63.9~68.0%,発病度43.1~53.5,防除価0~10.6といずれも効果が低かった(第3表)。

2. 薬剤添加培地検定

1) 2015年

青森県津軽地域の6市町9園地を対象とした各園地の

感受性検定の結果を第4表に示した。フェナリモルでは208菌株を供試した結果、EC₅₀値は最小値0.003~0.107 ppm,最大値0.382~1.124 ppm,平均値0.159~0.358 ppmであった。ジフェノコナゾールでは209菌株を供試した結果、EC₅₀値は最小値2.210×10⁻⁶~3.270×10⁻⁴ ppm,最大値0.043~0.560 ppm,平均値0.011~0.070 ppmであった。

第6表 青森県におけるリンゴ黒星病菌のフェナリモルに対する感受性推移

調査年	菌株数 ^{a)}	EC ₅₀ 値 (ppm)			高感受性菌率 ^{b)} (%)	低感受性菌率 ^{c)} (%)
		平均値	最小値	最大値		
1995	314	0.170	1.158×10 ⁻³	1.816	17.5	51.0
1996	76	0.129	9.157×10 ⁻⁴	0.908	25.0	47.4
2005	89	0.278	7.576×10 ⁻³	1.297	3.4	86.5
2015	209	0.230	3.137×10 ⁻³	1.124	1.9	81.2
2016	524	0.740	3.211×10 ⁻²	1.994	0.2	99.2

a) 供試菌株の採集場所 (園地数). 1995年: 黒石市 (1), つがる市 (1), 十和田市 (2), 平川市 (1), 弘前市 (3), 板柳町 (1), 大鰐町 (1), 五戸町 (1), 藤崎町 (1). 1996年: 黒石市 (1), 弘前市 (2). 2005年: 青森市 (1), 弘前市 (6), つがる市 (1), 板柳町 (1), 藤崎町 (1).

b) EC₅₀ 値が0.04 ppm以下を高感受性菌とした.

c) EC₅₀ 値が0.1 ppm以上を低感受性菌とした.

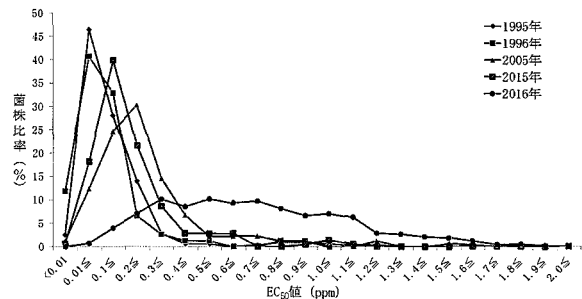
2) 2016年

青森県津軽地域の10市町村23園地を対象とした各園地の感受性検定の結果を第5表に示した. フェナリモルでは524菌株を供試した結果, EC₅₀ 値は最小値0.032~0.434 ppm, 最大値0.649~1.994 ppm, 平均値0.404~1.029 ppmであった. ジフェノコナゾールでは511菌株を供試した結果, EC₅₀ 値は最小値1.864×10⁻⁶~1.234×10⁻¹ ppm, 最大値0.022~5.882 ppm, 平均値0.007~1.036 ppmであった.

2015~2016年の感受性検定において, フェナリモルおよびジフェノコナゾールに対する感受性は園地間差が認められるものの, ベースライン感受性との比較ではいずれの園地においてもEC₅₀ 値の上昇が確認された.

3. フェナリモルに対する年次別感受性推移

1995~2016年のフェナリモルに対する感受性を比較した (第6表, 第1図). EC₅₀ の平均値は, 1995年から2015年にかけて0.129~0.278 ppmであったのに対し, 2016年は0.740 ppmと急激な上昇が確認された. 最小値でも2016年は3.211×10⁻² ppmと2015年以前に比べ値の上昇が認められた. 最大値は0.908~1.994 ppmと年次間差は大きいものの, 上昇傾向は確認されなかった. 石井 (7) およびKöller et al. (9) の基準に基づき, EC₅₀ 値0.04 ppm以下の個体を高感受性菌, EC₅₀ 値0.1 ppm以上の個体を低感受性菌として評価した結果, 高感受性菌の割合は1995~1996年で17.5~25.0%, 2005年で3.4%, 2015~2016年で0.2~1.9%であった. 低感受性菌の比率では, 1995~1996年で47.4~51.0%, 2005年で86.5%, 2015~2016年で81.2~99.2%であった. フェナリモルに対する感受性分布では, 1995~1996年は0.01~0.2 ppmの個体が優占していたが, 2005~2015年では0.1~0.3 ppmの個体が優占した. さらに, 2016年では特定濃度の優占は確認されず, 0.01~2.0 ppmにかけて分散し, 感受性の低下が確認された.



第1図 フェナリモルに対する感受性分布

考 察

DMI剤は薬剤による基礎活性や防除効果の差異が指摘されているものの, 本県で使用してきたDMI剤については保護・治療効果試験および体系散布試験においても高い防除効果を示してきた (16, 19). また, Gao et al. (3) はマイクロブタニルやフェンブコナゾールで4日の治療効果を有することを示している. しかし, 本研究の生物検定では, フェンブコナゾール水和剤, テブコナゾール水和剤, ヘキサコナゾール水和剤およびフェナリモル水和剤のいずれにおいても保護効果および治療効果の低下は明らかであった.

薬剤添加培地を用いた感受性検定では, リンゴ黒星病のDMI剤耐性菌検定としてEC₅₀ 値を求める方法が一般的に用いられ (7), ベースライン感受性はフェナリモルで0.034 ppmまたは0.04 ppm, ジフェノコナゾールで0.002 ppmとされている (7, 9, 15). 今回, 生物検定を実施した弘前市大川および青森市浪岡吉野田-1ではフェナリモルおよびジフェノコナゾールに対するEC₅₀ 値が平均で0.642~0.801 ppmおよび0.210~0.512 ppmといずれもベースライン感受性を大きく上回り, 他の園地についても同様の傾向が確認されたことから, 青森県津軽地域の広域でフェナリモルおよびジフェノコナゾールに対する感受性が低下していることが確認された.

リンゴ黒星病では, DMI剤の総使用回数の増加に伴

い感受性の低下が進むとされ(3),DMI剤を年間数回連用することにより6年で防除効果の低下が始まり,10年後には防除効果が失われたことが報告されている(4).本県では1987年からDMI剤の使用が始まり,1996年以降は保護殺菌剤との混合剤も含めて年3回の使用を指導してきた.そのため,慣行防除園ではDMI剤の使用開始から約30年が経過し,総使用回数も70回を超えている.防除効果の低下を伴った耐性菌の発生までに約30年を要したことは,海外の耐性菌発生状況(4,16)と比較しても遅く,使用回数を制限したことや保護殺菌剤との混合剤を使用したことで耐性菌の発生を抑制できていたものと推察される.しかし,これらの対策は耐性菌の発生を遅延させるに留まり,根本的な耐性発達の回避策とはならなかったことが示された.

今回は一部のDMI剤でしか試験できなかったが,DMI剤に対するリンゴ黒星病菌の交差耐性の発達が報告されていることから(11,17,18),他のDMI剤に対しても感受性が低下していることが推察される.

フェナリモルに対する感受性推移では,1995~2015年にかけては大きな変化はなかったが,2016年に平均値と最小値の上昇が認められ感受性の急激な低下が示唆された.一方で,高感受性菌および低感受性菌の割合比較からは経時的な感受性の低下が示唆されている.また,2015年の生物検定においてもフェンブコナゾール水和剤の防除価が80.8~100と園地間で防除効果に差が認められ,一部園地では防除効果の低下も示唆された.DMI剤に対する菌の感受性低下は緩慢とされ(8),短期間で防除効果の急激な低下は生じにくいと考えられることから,青森県におけるDMI剤に対するリンゴ黒星病菌の感受性はDMI剤の使用開始以降漸減し,使用開始から約30年が経過した2015~2016年に圃場における防除効果の低下が顕在化したものと推察された.このことは,Gao et al.(3)が示すDMI剤の使用回数と感受性低下の関係とも一致する.ただし,感受性検定における2015~2016年の感受性の急激な低下に関しては疑問が残る.DMI剤耐性菌では継代培養や保存中に耐性程度が低下すること,そしてサンプル数により薬剤感受性差異の検出精度が一定ではないことから,薬剤添加培地を用いた感受性検定の精度は十分とは言えないため(8,13),検定精度も含めた要因解析が必要である.また,近年DMI剤の標的遺伝子であるステロール脱メチル化酵素遺伝子(CYP51遺伝子)の点突然変異や過剰発現が明らかとなっており(5,12),今後これらを利用した客観的なモニタリング手法の構築が待望される.

引用文献

- 1) 赤平知也(2015)平成27年の青森県におけるリンゴ黒星病の多発生要因.平成27年度寒冷地果樹研究会資料,pp.19-24.
- 2) 新谷潤一・藤田孝二(1996)リンゴ黒星病感染葉へのエルゴステロール生合成阻害剤散布による発現病徴の経時的変化.青森りんご試報29:1-16.
- 3) Gao, L., Berrie, A., Yang, J. and Xu, X. (2009) Within- and between-orchard variability in the sensitivity of *Venturia inaequalis* to myclobutanil, a DMI fungicide, in the UK. *Pest Manage. Sci.* 65: 1241-1249.
- 4) Hildebrand, P. D., Lockhart, C. L., Newbery, R. J. and Ross, R. G. (1988) Resistance of *Venturia inaequalis* to bitertanol and other demethylation-inhibiting fungicides. *Can. J. Plant Pathol.* 10: 311-316.
- 5) 平野泰志・酒井和彦・野田 聡(2016)DMI剤耐性遺伝子(CYP51)の解析と機能性を活用したナシ黒星病発生リスクの低減技術.埼玉農総研研報15:1-7.
- 6) 平山和幸(2016)青森県におけるリンゴ黒星病の発生要因と今後の対策.平成28年度寒冷地果樹研究会資料,pp.25-30.
- 7) 石井英夫(1998)植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル,日本植物病疫協会,東京,pp.73-75.
- 8) 石井英夫(2007)DMI剤耐性菌をめぐって.植物防疫61:407-409.
- 9) Köller, W., Parker, D. M. and Reynolds, K. L. (1991) Baseline sensitivities of *Venturia inaequalis* to sterol demethylation inhibitors. *Plant Dis.* 75: 726-728.
- 10) Köller, W., Wilcox, W. F., Barnard, J., Jones, A. L. and Braun, P. G. (1997) Detection and quantification of resistance of *Venturia inaequalis* populations to sterol demethylation inhibitors. *Phytopathology* 87: 184-190.
- 11) Kunz, S., Deising, H. and Mendgen, K. (1997) Acquisition of resistance to sterol demethylation inhibitors by populations of *Venturia inaequalis*. *Phytopathology* 87: 1272-1278.
- 12) Schnabel, G. and Jones, A. L. (2001) The 14 α -demethylase (CYP51A1) gene is overexpressed in *Venturia inaequalis* strains resistant to myclobutanil. *Phytopathology* 91: 102-110.
- 13) Smith, F. D., Parker, D. M. and Köller, W. (1991) Sensitivity distribution of *Venturia inaequalis* to the sterol demethylation inhibitor flusilazole: Baseline sensitivity and implications for resistance monitoring. *Phytopathology* 81: 392-396.
- 14) Sutton, T. B., Aldwinckle, H. S., Agnello, A. M. and Walgenbach, J. F. (2014) *Compendium of Apple and Pear Diseases and Pests*. Second edition, APS Press, St. Paul, pp. 8-11.

- 15) Thind, T. S., Clerjeau, M. and Olivier, J. M. (1986) First observations on resistance in *Venturia inaequalis* and *Guignardia bidwellii* to ergosterol-biosynthesis inhibitors in France. Proceedings of British Crop Protection Conference Pests and Diseases Volume 2, BCPC Publications, Surrey, UK, pp. 491-498.
- 16) Villani, S. M., Biggs, A. R., Cooley, D. R. and Cox, K. D. (2015) Prevalence of myclobutanil resistance and difenoconazole insensitivity in populations of *Venturia inaequalis*. Plant Dis. 99 : 1526-1536.
- 17) Villani, S. M., Hulvey, J., Hily, J. M. and Cox, K. D. (2016) Overexpression of the CYP51A1 gene and repeated elements are associated with differential sensitivity to DMI fungicides in *Venturia inaequalis*. Phytopathology 106 : 562-571.
- 18) 雪田金助 (2017) 青森県由来のリンゴ黒星病菌にみられたDMI剤, QoI剤およびMBC剤への感受性低下. 北日本病虫研報68 : 102-107.
- 19) 雪田金助・赤平知也・山本晋玄・福士好文 (2008) 2007年, 青森県におけるリンゴ黒星病の発生実態と多発生条件でのDMI剤の防除効果. 北日本病虫研報59 : 94-98.