

原著論文

「天草」で発生するカンキツかいよう病の病原細菌に対する 数種殺菌剤の薬剤感受性および銅水和剤の防除効果

澤岬哲也¹・光部史将²・小波津明彦³・宜保永堅⁴

1 沖縄県農業研究センター

2 沖縄県農業研究センター名護支所（現 北部農林水産振興センター）

3 沖縄県農業研究センター名護支所

4 沖縄県農業研究センター名護支所（現 家畜改良センター）

要 約

沖縄県の「天草」に発生するカンキツかいよう病の病原細菌に対して、塩基性硫酸銅水和剤、硫黄＋塩基性塩化銅水和剤、炭酸水素ナトリウム＋無水硫酸銅水和剤およびカスガマイシン＋塩基性塩化銅水和剤は高い薬剤感受性を示した。一方、水酸化第 2 銅水和剤の感受性は低かった。「天草」樹葉における本病の発病推移では、2017～2018 年ともに 4 月下旬から発病が始まり、2017 年は 5 月上旬、2018 年は 6 月下旬以降に発病葉率のピークを示した。また、2017～2018 年における塩基性硫酸銅水和剤を用いた 3 月の新梢発芽前から 7 月の着果期までの複数回散布は、本病の葉での発病に対して高い防除効果を示した。

キーワード：天草、塩基性硫酸銅、発病推移、かいよう病

緒 言

沖縄県の中晩柑「天草」は中部地区を中心に栽培され、収穫は 12 月上～中旬で「あま SUN」の商品名で年末贈答品として人気がある。果皮は鮮やかなオレンジ色でやや皮は剥きにくい、糖度 12°，酸度 1%以下となり香り・食味ともに良好である（新崎・比嘉，2001）。しかし、生産現場では生育期に葉や果実でカンキツかいよう病のコルク状の褐色病斑による落葉や果実外観の劣化がしばしば発生し問題となる。2016 年には中北部生産地のタンカンや天草において、葉や果実で本病による被害が多発し、病害虫発生予察注意報が発出され、注意喚起が行われた（沖縄県病害虫防除技術センター，2016）。生産現場では本病の対策として銅剤等の登録殺菌剤の散布が指導されているが、明確な防除適期が定まっておらず、安定した防除効果が得られていないという現状がある。また、本病の防除効果が安定しない要因として病原細菌に対する登録殺菌剤の抗菌活性（薬剤感受性）が低下している可能性も懸念されている。そこで、沖縄県の「天草」で発生するカンキツかいよう病の病原細菌に対する数種登録殺菌剤の薬剤感受性を調べるとともに、「天草」圃場における本病の葉での発病推移ならびに銅水和剤の防除効果について明らかにしたので報告する。なお、本報告の一部は令和元年度沖縄農業研究会第 58 回大会において報告した（澤岬・光部，2019）。

材料および方法

供試菌株

カンキツかいよう病菌（病原細菌：Xanthomonas citri subsp. citri）として、大畑（1995）の方法に準じて農業研究センター名護支所内の「天草」罹病葉から分離した Xcc1 および名護市大北の農家圃場の「天草」罹病葉から分離した Xcc2 の 2 菌株を以下の試験に供試した。なお、いずれの菌株も分離後にイムノストリップ植物病原検査キット（Agdia）にて本細菌の陽性反応を確認し、同定したものを使用した。

病原細菌に対する登録殺菌剤の薬剤感受性

供試薬剤は、本病の登録殺菌剤である塩基性硫酸銅水和剤（IC ボルドー 66D：25 倍，200 倍），硫黄＋塩基性塩化銅水和剤（イデクリーン水和剤：400 倍，800 倍），水酸化第 2 銅水和剤（コサイド 3000：1000 倍，2000 倍），炭酸水素ナトリウム＋無水硫酸銅水和剤（ジーファイン水和剤：750 倍，1500 倍），カスガマイシン＋塩基性塩化銅水和剤（カスミンボルドー：1000 倍）の 5 薬剤で常用の 10 濃度を使用した。なお、他の登録殺菌剤としてバリダマイシン液剤（バリダシン液剤 5：500 倍）があるが、本剤の作用機作はトレハロース分解酵素の阻害と菌体外多糖質（EPS）の変性としてされており（Asano et al., 1987），病原細菌に対し直接的殺菌効果を狙う剤ではないため、本試験では供試しなかった。感受性の評価は

篠原（2014）の方法に準じて、所定濃度の薬液と NA 培地を混和して作成した薬剤添加培地に供試菌株の細菌懸濁液（ 1×10^7 cfu/ml）を塗布した。接種培地は 25℃下で 7 日間培養後に培地上のコロニー形成の有無を判定した。試験は培地 5 枚／区の 4 反復で行った。

「天草」におけるカンキツかいよう病の発病推移

供試樹は農業研究センター名護支所内の「天草」18～19 年生を用い、自然発生条件下で試験を実施した。樹当たり 10 枝にラベリングし、着生する葉 10 枚（計 100 葉／樹）に発生するかいよう病斑の発病葉率を調査した。調査は 2017～2018 年の 2 カ年において 3 月下旬から開始し、14 日間隔で 7 月下旬まで行った。試験は 1 樹／区の 4 反復で行った。

「天草」における銅水和剤の防除効果

供試樹は農業研究センター名護支所内の「天草」18～19 年生を用い、自然発生条件下で試験を実施した。供試菌株に対して高い薬剤感受性を示した塩基性硫酸銅水和剤（IC ボルドー 66D：80 倍）を、2017～2018 年の 2 カ年において 3 月中旬（新梢発芽前）～7 月上旬（着果期）に計 6 回スピードスプレーヤーで散布した。なお、銅水和剤の散布間隔は、圃場に累積雨量計（Sakimil：株式会社一色本店）を設置し、芹澤（1992）の報告に準じて降

雨量 200mm または散布後 30 日に達したときに散布を実施した。発病調査は 8 月下旬に葉の病斑数を基に発病葉率および発病度を算出した。発病度は次ぎの基準（日本植物防疫協会, 2022）に従って算出した。指数 0：発病なし，指数 1：病斑が 1～3 個，指数 2：病斑が 4～10 個，指数 3：病斑が 11～20 個，指数 4：病斑が 21 個以上，発病度＝ $\{\sum (\text{指数別発病葉数} \times \text{指数}) \div (4 \times \text{調査葉数})\} \times 100$ 。また、発病度の平均値から次の式により防除価を算出した。防除価＝ $100 - (\text{処理区の発病度} \div \text{無処理区の発病度}) \times 100$ 。試験は 1 樹／区の 4 反復で行った。

結果および考察

病原細菌に対する登録殺菌剤の薬剤感受性

供試 2 菌株に対する数種殺菌剤の薬剤感受性では、いずれの菌株も塩基性硫酸銅水和剤、硫黄＋塩基性塩化銅水和剤、炭酸水素ナトリウム＋無水硫酸銅水和剤およびカスガマイシン＋塩基性塩化銅水和剤で病原細菌の生存コロニー数が 0 となり生育を完全に抑制した。また、水酸化第 2 銅水和剤 1000 倍では生存コロニー数が減少し抑制効果を示したが、その程度は低かった。一方、水酸化第 2 銅水和剤 2000 倍では多くの生存コロニー数が確認され、抑制効果はみられなかった（図 1, 2）。このことから登録殺菌剤では、多くの銅剤で高い薬剤感受性を

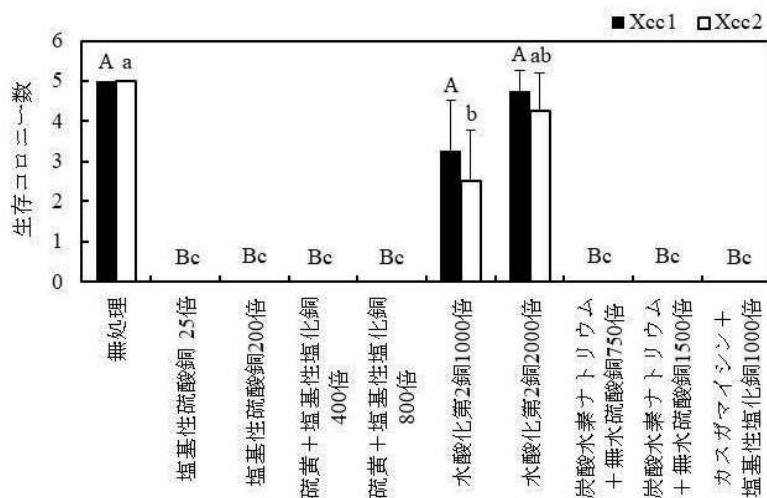


図 1 「天草」から分離したカンキツかいよう病菌に対する各種登録殺菌剤の薬剤感受性(培地試験)。大小アルファベットは Fisher の正確確率検定 (Holm 法で p 値調整) の多重比較による有意差 ($p < 0.05$) を示す。バーは標準偏差 (SD) を示す。Xcc1：名護支所分離株，Xcc2：農家圃場（名護市大北）分離株。

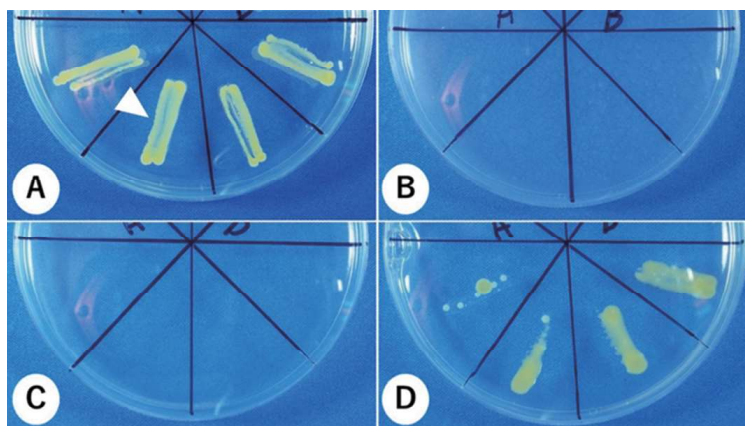


図 2 薬剤感受性試験における培地上の病原細菌コロニー形成の様子。A：無処理（白矢印は供試菌株 Xcc1 の黄色コロニー），B：塩基性硫酸銅水和剤 200 倍，C：硫黄＋塩基性塩化銅水和剤 800 倍，D：水酸化第 2 銅水和剤 2000 倍。

示すことが明らかになった。しかし、主成分である銅化合物の種類により薬剤感受性も異なる場合があることが示唆され、硫酸銅や塩化銅と比べて水酸化第2銅では薬剤感受性が低くなる可能性が推察された。これまでにカンキツかいよう病菌に対して国内で銅耐性の報告はないが、海外ではイランにおいてメキシカンライムやグレープフルーツから分離した本病原細菌で銅耐性菌が検出されている (Izadiyan and Taghavi, 2024)。一般に銅剤は、銅イオンあるいはキレート化合物として細胞に導入された銅イオンの酸化力や不溶化に基づくSH酵素の不活性化により殺菌力を発揮するもので、FRACコードはM1に分類され耐性菌の発生リスクは低いとされている (高橋, 1997; 日本植物防疫協会, 2013)。今回の結果では2地点2菌株のみでの低い薬剤感受性が示された事例であるため、検定菌株数が少なく、現時点でこの2菌株が水酸化第2銅水和剤に対して耐性菌であるとは断定できない。今後さらに地点数や菌株数を増やしながら薬剤感受性調査を継続するとともに、実際の圃場試験によるかいよう病に対する本剤の防除効果の低下について確認する必要がある。

「天草」におけるカンキツかいよう病の発病推移

2017～2018年における葉のカンキツかいよう病の発病推移では、いずれの年も4月下旬から発病が始まり、

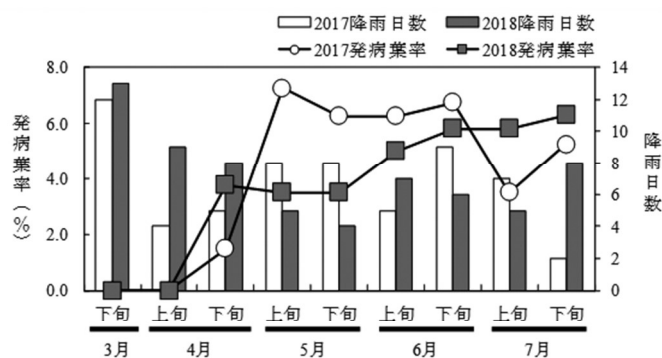


図3 「天草」に発生するカンキツかいよう病の発病率および降雨日数の推移。降雨日数は気象庁アメダス（沖縄名護）データを集計して使用した。

2017年は5月上旬に7.3%、2018年は6月下旬以降に5.8%とそれぞれ発病率のピークを示した (図3)。このことから、防除のタイミングとして4月以前からの薬剤散布の開始が重要と考えられた。なお、今回の調査では発病と降雨日数との関係は判然としなかった (図3)。「天草」における本病の発病推移の報告は本研究が初知見となるが、これまでに別品種「川野なつだいでい」におけるカンキツかいよう病の春葉での発病推移の報告によると、5月下旬から発病が始まり、7月下旬に発病率のピークを示しており (芹澤, 1985)、本県の「天草」のほうが初発および発病ピークともに時期が早まる傾向を示した。これは本県の春先の温暖な環境条件が病原の感染や病斑形成に好適となり、それが影響したものと考えられた。また、上記の「川野なつだいでい」では初発前の5月上旬頃からの薬剤防除の開始が本病に有効であることが確認されており (芹澤, 1985)、本県の「天草」においても初発の4月下旬前からの早めの薬剤防除開始が重要と考えられた。

「天草」における銅水和剤の防除効果

上記の「天草」樹葉におけるカンキツかいよう病の発病推移の結果に基づき、供試菌株に対して高い薬剤感受性を示した塩基性硫酸銅水和剤 (IC ボルドー 66D:80 倍) を3月中旬 (新梢発芽前) から早めに散布を開始し、7月上旬 (着果期) までに計6回散布を実施した。その結果、無処理区の発病率 (2017年: 15.8%, 2018年: 8.8%)、発病度 (2017年: 4.1, 2018年: 3.8) と比べて、銅水和剤区では発病率 (2017年: 1.0%, 2018年: 0.8%)、発病度 (2017年: 0.3, 2018年: 0.2) となり、いずれの年でも防除価92以上を示したことから、高い防除効果が認められた (表1)。なお、本試験では2ヶ年ともに薬液による葉の著しい劣化や枯死 (葉害) は特にみられなかった。これまでに品種「宮内イヨカン」において、発芽前の3月中旬から生育期の6月下旬にかけて銅剤を用いた複数回散布による体系防除試験を実施し、そのうち水酸化第

表1 「天草」の葉に発生するかいよう病に対する塩基性硫酸銅水和剤の防除効果

年度	試験区	反復	調査 葉数	程度別発病葉数					発病率 (%)	発病度	防除価
				0	1	2	3	4			
2017	銅水和剤 ¹⁾	①	100	100	0	0	0	0	0.0	0.0	92.7
		②	100	99	1	0	0	0	1.0	0.3	
		③	100	97	3	0	0	0	3.0	0.8	
		④	100	100	0	0	0	0	0.0	0.0	
		平均	100						1.0 ^{**3)}	0.3	
	無処理	①	100	91	9	0	0	0	9.0	2.3	—
		②	100	75	24	1	0	0	25.0	6.5	
		③	100	85	15	0	0	0	15.0	3.8	
		④	100	86	13	1	0	0	14.0	3.8	
		平均	100						15.8	4.1	
2018	銅水和剤 ²⁾	①	100	100	0	0	0	0	0.0	0.0	94.7
		②	100	100	0	0	0	0	0.0	0.0	
		③	100	97	3	0	0	0	3.0	0.8	
		④	100	100	0	0	0	0	0.0	0.0	
		平均	100						0.8 ^{**}	0.2	
	無処理	①	100	89	6	2	2	1	11.0	5.0	—
		②	100	76	12	8	3	1	24.0	10.3	
		③	100	0	0	0	0	0	0.0	0.0	
		④	100	0	0	0	0	0	0.0	0.0	
		平均	100						8.8	3.8	

1) 2017年3/10, 3/30, 4/19, 5/9, 5/29, 6/19に散布した。

2) 2018年3/12, 4/13, 5/14, 6/5, 6/18, 7/6に散布した。

3) アスタリスクはMann-Whitney's U検定により有意差 ($p<0.01$) があることを示す。

2 銅水和剤と比べて塩基性硫酸銅水和剤のほうが、葉の発病に対し高い防除価を示すことが確認されている（三好，1998；2005）。また，銅剤散布後の経時的な葉上の銅付着量の減衰率から，水酸化第2銅水和剤と比べて塩基性硫酸銅水和剤のほうが残効性に優れることが明らかになっている（三好，1998）。これらの知見からも，本試験における本剤の散布結果を支持するものであった。以上より，本剤による防除体系は「天草」においても有効と考えられた。また，今回のように圃場に累積雨量計（Sakimil）を設置することで，複数回の薬剤の散布間隔を効率的に把握しながら散布を実施できることから，本病の防除対策として累積雨量計の活用は非常に有効と考えられた。

本試験では2ヶ年ともに，いずれの試験区においても8月以降の着果期における本病の果実での発病が少発生だったことから，果実での発病に対する銅水和剤の防除効果については判然としなかった。これまでに「川野なつだい」において，7月下旬の春葉発病度とそれ以降の強風雨日数を要因とした予測式により，9月以降の果実での発病度と高い相関を示すことが明らかになっていることから（芹澤，1992），今回の「天草」における塩基性硫酸銅水和剤を用いた7月までの春葉の防除においても，9月以降の果実での発病を抑制できることが推察された。

以上の結果より，本県の「天草」より分離したカンキツかいよう病菌に対する数種登録殺菌剤の薬剤感受性が明らかになり，その中で高い感受性を示した塩基性硫酸銅水和剤を本病の初発が始まる4月以前の3月（新梢発芽前）から7月（着果期）までに複数回散布することにより，高い防除効果を発揮することが明らかになった。「天草」における本剤の実用的な防除効果を示した事例は，国内外において本研究の報告が初めてとなる。これまでに，本県北部地区の生産農家向けのカンキツ防除暦（JAおきなわ，2018）では，生育期の本病対策の薬剤として本研究で病原細菌に対し低い感受性を示した水酸化第2銅水和剤が推奨されていた経緯があることから，今後は本研究の結果を考慮して，関係機関と協議しながら県全域のカンキツ防除暦の見直し・改定を進めていく必要がある。

謝 辞

本研究は，沖縄県植物防疫協会単独試験（2018年度）の一環として行われたものである。

引用文献

- 新崎正雄・比嘉淳（2001）カンキツ栽培の問題点と技術的対策．沖縄農業 35：49-56.
- Asano, N., Yamaguchi, T., Kameda, Y. and Matsui, K. (1987) Effect of validamycins on glycohydrolases of *Rhizoctonia*

solani. J. Antibiotics. 40: 526-532.

Izadiyan, M., Taghavi, S. M. (2024) Diversity of copper resistant *Xanthomonas citri* subsp. *citri* strains, the causal agent of Asiatic citrus canker, in Iran. Eur. J. Plant. Pathol. 168: 593-606.

JA おきなわ（2018）平成30年度柑橘防除暦，北部地区営農振興センター（沖縄），p.3.

三好孝典（1998）カンキツかいよう病に対するICボルドーの防除効果と問題点．今月の農業（9月号）：70-74.

三好孝典（2005）樹冠流下雨水中の病原細菌量によるカンキツかいよう病防除薬剤の評価．植物防疫 59：513-516.

日本植物防疫協会編（2013）農薬作用機構分類一覧，一般社団法人日本植物防疫協会（東京），p.117.

日本植物防疫協会編（2022）試験法・調査法（病害防除），一般社団法人日本植物防疫協会（東京），pp.82-83.

沖縄県病害虫防除技術センター（2016）平成28年度病害虫発生予察注意報第2号．

大畑貫一（1995）作物病原菌研究技法の基礎（大畑貫一ほか編），日本植物防疫協会（東京），pp.216-217.

芹澤拙夫（1992）カンキツかいよう病の生態と防除に関する研究．静岡柑試研特別報 5：1-153.

芹澤拙夫・井上一男・鈴木誠（1985）カンキツかいよう病に関する研究(9)：発病の時期的推移と薬剤防除適期．静岡柑試研報 21：35-43.

篠原弘亮（2014）植物病原細菌の薬剤感受性．微生物遺伝資源利用マニュアル 36：1-15.

高橋信孝（1997）基礎農薬学，養賢堂（東京），p.279.

澤岨哲也・光部史将（2019）「天草」で発生するカンキツかいよう病菌の薬剤感受性と銅水和剤の防除効果．沖縄農業研究会第58回大会：27-28．（講要）

Sensitivity of citrus canker pathogen to various bactericides and control effectiveness of copper bactericide on “Amakusa”

Tetsuya Takushi¹, Fumimasa Mitsube², Akihiko Kohatsu³ and Eiken Gibo⁴

1 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

2 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center Nago Branch
(currently Hokubu Agriculture, Forestry and Fisheries Promotion Center)

3 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center Nago Branch

4 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center Nago Branch (currently Livestock Improvement Center)

Abstract

The citrus canker pathogen affecting “Amakusa” in Okinawa Prefecture was found to be highly susceptible to the following wettable powders: basic copper sulfate, sulfur + copper oxychloride, sodium bicarbonate + copper (II) sulfate, and kasugamycin + copper oxychloride. However, it exhibited low susceptibility to copper (II) hydroxide wettable powder. Regarding disease progression, disease symptoms on “Amakusa” first appeared in late April in both 2017 and 2018, with peak leaf infection in early May 2017 and from late June onward in 2018. Multiple applications of basic copper sulfate wettable powder, starting before shoot sprouting in March and continuing through fruit set in July, effectively reduced leaf infection in both years.

Keywords: basic copper sulfate, disease progression, *Xanthomonas citri*