

各種ジャガイモ疫病防除用無機銅水和剤の人工降雨装置下での耐雨性評価

長崎県農林技術開発センター ^は波部 ^い一平・^お小川 ^て哲治*

はじめに

バレイシヨは長崎県の主要農産品目であり、生産量は北海道に次ぐ全国第二位である。本県では春と秋の二期作栽培が行われ、北海道産バレイシヨの端境期となる4～6月には全国に出荷され、バレイシヨの周年供給の一端を担っている。バレイシヨ栽培では様々な病害虫が発生するが、春作ではジャガイモ疫病による被害が問題となっている。

本病は、平均気温が15～16℃に達し、降雨などにより湿度が高まると発生し、その後平均気温が18～20℃前後となり曇雨天が続くと急速にまん延する(中山, 2012)。本県を含む西南暖地では本病発生にとって気象条件が好適となる春作栽培での4月下旬から6月にかけて発生するため、天候不順により適切に薬剤防除ができない場合には数日のうちに圃場全体にまん延して甚大な被害が生じる。このため、本県における春作の病害虫防除は疫病対策を主体にして組み立てられている。

一方、消費者の食の安全・安心に対する関心の高まりから有機農産物の需要が伸びている。そのため、バレイシヨの有機栽培に取り組む生産者が増加しているが、春作での本病の発生が生産性を著しく低下させるため、大きな問題となっている。有機栽培では、全く農薬を使用しない方法と一部の農薬が利用可能な有機JAS認証に則った方法があり、バレイシヨの有機JAS認証に則った栽培を行う生産者は、有機JASで利用可能な薬剤の効果比較に関する情報はなく、選択に苦慮している。

ジャガイモ疫病の防除剤として無機銅水和剤は比較的安価な剤として知られ、有機JAS適合農薬である。しかし、露地作物に使用される防除薬剤の残効性は、その薬剤の耐雨性の強弱に影響を受けることが小麦(中島ら, 2006)およびバレイシヨ(小川ら, 2008)において報告されている。また、薬剤の耐雨性は、降雨による植物体

上の有効成分の流亡の程度に影響を受ける(中島ら, 2009)。そこで、筆者らは有機JASレベルでのバレイシヨ有機栽培の生産安定を図るために、各種無機銅水和剤の耐雨性について人工降雨を用いた試験を行い、降雨処理後の防除効果とジャガイモ葉上の銅成分残留量との関係について調査したので以下に紹介する。

I 各種無機銅水和剤の耐雨性比較

供試薬剤には、有機JAS規格適合薬剤のうち本県で流通している5種の銅水和剤と、対照剤として、有機JASでの使用は認められていないが生産現場での使用頻度が高いマンゼブ水和剤を用いた。これら薬剤は常用散布濃度に調製し(表-1)、直径10.5cmのポットに植付けて出芽後30～40日経過したバレイシヨに散布した。なお、いずれの試験薬剤にも展着剤は加用しなかった。本県での慣行的な疫病防除は、4月下旬～5月下旬に7～10日間隔で薬剤散布が行われる。そこで、人工降雨処理における累積降雨量は、本県4～5月の10日間の平均降水量が約60mmであることから、60mmとその半量の30mmおよび0mm(無降雨)の合計3区を設定した。

人工降雨処理は、農研機構九州沖縄農業研究センターの人工降雨処理施設を使って行った。ポット栽培のバレイシヨに対して、薬剤散布2日後に降雨処理した。降雨強度を1時間当たり10mmに設定し、30mm区は3時間、60mm区は6時間にわたり連続して処理した。佐藤(1995)に従って調製した疫病菌の遊走子懸濁液(濃度 1×10^5 個/ml)を降雨処理の2日後に噴霧接種し、20℃に設定した人工気象室内で約20時間管理して感染を促した。

発病調査は、接種6日後に、各株の未展開葉を除いた上位4～5複葉の全小葉について表-2に示す調査基準により株ごとに調査し、発病小葉率、発病度および防除価を算出した。

その結果、塩基性硫酸銅(32.0%)水和剤を除いた全薬剤は、降雨量の増加に伴い防除効果が低下する傾向であったが、低下程度は薬剤間で差が認められた(表-2)。無水硫酸銅(12.0%)水和剤および塩基性硫酸銅(3.7%)水和剤の防除価は、対照のマンゼブ(75.0%)水和剤を含めた他の薬剤と比較して降雨処理による低下程度は小

Evaluation of Inorganic Copper Fungicide in Rain Fastness of Control for Potato Late Blight under Artificial Rain Fall Condition. By Ippei HABA and Tetsuji OGAWA

(キーワード: 有機(JAS)栽培, ジャガイモ疫病, 銅水和剤, 耐雨性, 残留性, 人工降雨装置)

*現所属: 長崎県北振興局

表-1 供試薬剤の銅成分量

薬剤名 ^{a)}	希釈倍率 (倍)	散布液剤 1 l 当たりの銅成分量 (g)
水酸化第二銅 (50.0%) 剤	1,000	0.50
無水硫酸銅 (12.0%) 剤 ^{b)}	1,000	0.12
塩基性硫酸銅 (3.7%) 剤	50	0.74
塩基性硫酸銅 (32.0%) 剤	400	0.80
塩基性塩化銅 (50.0%) 剤	400	1.25
マンゼブ (75.0%) 水和剤	600	—

a) 供試薬剤の商品名は以下の通りである。水酸化第二銅 (50.0%) 水和剤 (商品名: コサイド 3000), 無水硫酸銅 (12.0%) 水和剤 (商品名: ジーファイン水和剤), 塩基性硫酸銅 (3.7%) 水和剤 (商品名: IC ボルドー 66D), 塩基性硫酸銅 (32.0%) 水和剤 (商品名: Z ボルドー), 塩基性塩化銅 (50.0%) 水和剤 (商品名: ドイツボルドー A), マンゼブ (75.0%) 水和剤 (商品名: ジマンダイセン水和剤).

b) 無水硫酸銅 (12.0%) 水和剤は無水硫酸銅と炭酸水素ナトリウム (成分量 46.0%) の混合剤.

表-2 人工降雨処理の降雨強度が各種無機銅剤のジャガイモ疫病防除効果に及ぼす影響

薬剤名 ^{a)}	発病小葉率 (%) ^{b) c)}			発病度 ^{b) e)}			防除価 ^{g)}		
	0 mm	30 mm	60 mm	0 mm	30 mm	60 mm	0 mm	30 mm	60 mm
水酸化第二銅 (50.0%) 剤	0.5	6.1* ^{d)}	10.0* ^{d)}	0.1	1.5* ^{f)}	2.5* ^{f)}	98.9	83.7	72.8
無水硫酸銅 (12.0%) 剤	0.0	2.0*	4.2*	0.0	0.5	1.1*	100.0	94.6	88.0
塩基性硫酸銅 (3.7%) 剤	0.5	4.2*	4.2*	0.1	1.1	1.0	98.9	88.0	89.1
塩基性硫酸銅 (32.0%) 剤	4.4	19.0*	7.9	1.1	4.9*	2.0	88.0	46.7	78.3
塩基性塩化銅 (50.0%) 剤	0.0	25.6*	28.8*	0.0	6.5*	7.2*	100.0	29.3	21.7
マンゼブ (75.0%) 水和剤	0.0	4.7*	10.4*	0.0	1.2	2.6*	100.0	87.0	71.7
無処理	36.9	—	—	9.2	—	—	—	—	—

a) 各種薬剤の商品名は表-1 脚注を参照.

b) 各データは 9 株の平均値を示す.

c) 発病小葉率 (%) = (発病小葉数 / 調査小葉数) × 100.

d) 0 mm 区と比較して Steel 検定した結果, *は 5%水準で有意差があることを示す.

e) 「調査基準」0: 病徴なし, 1: 1 小葉における病斑面積 1/4 未満, 2: 1 小葉における病斑面積 1/4 以上 1/2 未満, 3: 1 小葉における病斑面積 1/2 以上 3/4 未満, 4: 1 小葉における病斑面積 3/4 以上または枯死. 発病度 = $\{ \sum (\text{各調査基準値} \times \text{発病程度別小葉数}) / 4 \times \text{調査小葉数} \} \times 100$.

f) 0 mm 区と比較して Steel-Dwass 検定した結果, *は 5%水準で有意差があることを示す.

g) 防除価 = $100 - \{ (\text{処理区の発病度} / \text{無処理 0 mm 区の発病度}) \times 100 \}$.

さく, 両剤の耐雨性は高かった。次いで耐雨性が高かったのは, 水酸化第二銅 (50.0%) 水和剤である。その防除価は, 30 mm 区では無水硫酸銅 (12.0%) 水和剤, 塩基性硫酸銅 (3.7%) 水和剤と同程度であったが, 60 mm 区となると両剤よりも値は下がり, 対照のマンゼブ (75.0%) 水和剤と同程度に低下した。これに対し塩基性塩化銅 (50.0%) 水和剤では, 他剤に比べて降雨処理により防除効果が大きく下がり, 耐雨性が最も低かった。また, 塩基性硫酸銅 (32.0%) 水和剤の防除価は, 0 mm 区では他剤と比べてやや低いものの, 30 mm 区,

60 mm 区と処理量が増すにつれて高くなり, 異なる傾向を示した。

II 植物体葉上の銅成分残留量調査

人工降雨処理を行う前後のバレイショ葉上の銅成分量の調査には, 防除効果試験に用いたポットとは別のポットを用いた。降雨処理前に各区で完全展開している上位 1 ~ 3 複葉をあらかじめマークした。降雨処理前の試料は薬剤散布翌日に, 降雨処理後の試料は処理 2 日後に, 同じ葉から葉片を採取した (図-1)。採取は, 3 複葉そ



図-1 銅成分残留量測定のための検体採取（同一のパレイシヨ小葉）
左：降雨処理前採取，右：降雨処理後採取。

表-3 人工降雨処理の降雨強度が各種無機銅剤の銅成分残留量に及ぼす影響

薬剤名 ^{a)}	銅成分残留量									変動係数 (%) ^{e)}
	0 mm			30 mm			60 mm			
	処理前 (mg/l) ^{b)}	処理後 (mg/l) ^{b)}	残存率 (%) ^{c)}	処理前 (mg/l)	処理後 (mg/l)	残存率 (%)	処理前 (mg/l)	処理後 (mg/l)	残存率 (%)	
水酸化第二銅 (50.0%) 剤	1.44	1.47	102.1	1.45	0.85	58.6* ^{d)}	1.46	0.65	44.5*	11.4
無水硫酸銅 (12.0%) 剤	0.68	0.59	86.8	0.50	0.45	90.0	0.47	0.20	42.6*	23.0
塩基性硫酸銅 (3.7%) 剤	5.91	6.84	115.7	4.42	3.81	86.2*	4.91	2.42	49.3*	37.3
塩基性硫酸銅 (32.0%) 剤	1.49	2.81	188.6	2.03	0.37	18.2*	2.59	0.34	13.1*	45.4
塩基性塩化銅 (50.0%) 剤	7.57	8.40	111.0	10.39	0.24	2.3*	8.74	0.37	4.2*	24.6

a) 各種薬剤の商品名は表-1 脚注を参照。

b) 各データは3株の平均値を示す。

c) 残存率(%) = (降雨処理後の銅成分量/降雨処理前の銅成分量) × 100。

d) 0 mm 区と比較して Steel 検定した結果，*は5%水準で有意差があることを示す。

e) 降雨処理を行う前の9株の測定値を用いて，以下の計算式により変動係数(%)を算出した。変動係数(%) = (各薬剤測定値の標準偏差/各薬剤測定値の平均) × 100。

それぞれの先端部小葉から，試験管用ステンレス製モルトン栓（直径 18 mm）を用いて円形に葉片をくり貫いて行った。各区3株を用い，対照には降雨処理を行わない区からも同様に採取した。

銅成分の残留量の測定は，採取した葉片を10%酢酸液中で30分間超音波洗浄し，洗浄後の溶液中の銅成分量を原子吸光法で測定して行った。残存率は，人工降雨処理前後の銅成分量より算出した（表-3）。

調査の結果，各供試薬剤の降雨処理前のパレイシヨ葉上の付着銅成分量は，塩基性塩化銅（50.0%）水和剤で最も多く，次いで塩基性硫酸銅（3.7%）水和剤，塩基性硫酸銅（32.0%）水和剤，水酸化第二銅（50.0%）水和剤，無水硫酸銅（12.0%）水和剤の順となった（表-3）。

これに対し降雨処理後の残留量は，塩基性硫酸銅（3.7%）水和剤が最も多く，次いで水酸化第二銅（50.0%）水和剤が多かった。また，30 mm 区と60 mm 区の防除価が塩基性硫酸銅（3.7%）水和剤と同程度に高かった無水硫酸銅（12.0%）水和剤の残留量で見ると，塩基性硫酸銅（3.7%）水和剤に比べ，30 mm 区で約8分の1，60 mm 区で約12分の1にまで低下し，特に60 mm 区の値は全薬剤で最も少なかった。

同様に残存率は降雨量の増加に伴い低下した（表-3）。降雨処理後の残存率が高かったのは，塩基性硫酸銅（3.7%）水和剤と無水硫酸銅（12.0%）水和剤で，30 mm 区では約90%，60 mm 区では40～50%であった。次いで水酸化第二銅（50.0%）水和剤，塩基性硫酸銅

(32.0%)水和剤, 塩基性塩化銅 (50.0%)水和剤の順に高かった。このなかで, 水酸化第二銅 (50.0%)水和剤は, 塩基性硫酸銅 (3.7%)水和剤や無水硫酸銅 (12.0%)水和剤と比べると30 mm区では低かったが, 60 mm区では同程度であった。また, 塩基性硫酸銅 (32.0%)水和剤および塩基性塩化銅 (50.0%)水和剤の残存率は, 他の薬剤と比較して低く, 30 mm区と60 mm区の差が小さかった。

各薬剤のジャガイモ葉上への付着むらの程度を考察するために, 銅成分残留量測定値の変動係数を算出した(表-3)。この結果, 変動係数は水酸化第二銅 (50.0%)水和剤で11.4%と最も小さく, 次いで無水硫酸銅 (12.0%)水和剤, 塩基性塩化銅 (50.0%)水和剤, 塩基性硫酸銅 (3.7%)水和剤の順となり, 塩基性硫酸銅 (32.0%)水和剤が最も大きく45.4%であった。

III 各種無機銅剤の耐雨性差異の要因

防除価と銅成分残留量および残存率との関係を調べるために, 降雨処理30 mm区および60 mm区の合計10試験区のデータを用いて相関係数を求めた(データ省略)。その結果, 各薬剤の降雨処理後の銅成分残留量と防除価との間には相関が認められなかった($r = 0.414$, $P > 0.05$)。それに対して, 各薬剤の降雨処理後の銅成分残存率と防除価との間には高い正の相関が認められた($r = 0.805$, $P < 0.005$)。

この要因には, 各種供試薬剤からの銅イオン化率の程度の違いが考えられた。すなわち銅水和剤は, 銅化合物から生じる銅イオンによる病原菌の酵素系への阻害が作用機作と考えられている(上路ら, 2011)。このため防除効果は銅成分量よりは銅イオン量に依存し(TOMONO et al., 1981), そのイオン化の程度はpHに影響を受けるとされる(伴野ら, 1981)。無水硫酸銅 (12.0%)水和剤は, 銅と重曹の混合によりpHを調節することで, 銅のイオン化率を制御して高い防除効果が得られるよう製剤化され(本間ら, 1985), また, 降雨による薬剤の植物体上からの成分の流亡程度は, 雨滴のpHにより影響されることも報告されている(van BRUGGEN et al., 1986)。これらのことから, 銅水和剤の防除効果は雨滴や薬剤調製時の水のpHに影響される銅イオンの量が関係する可能性があり, このことが銅成分の残留量と防除効果との関連性が明確とならない原因の一つと考えられた。

また, 本試験でのジャガイモ葉上の銅成分残留量は同一条件下で分析したことから, 各薬剤の残留量の変動係数の大きさは薬剤特性に起因していると考えられる。すなわち, 変動係数の小さい薬剤は大きい薬剤に比べて付

着均一性が高いと考えられることから, 付着均一性の程度も防除効果に影響を与える要因となることが考えられる。塩基性硫酸銅 (32.0%)水和剤のみが降雨量60 mmの防除価が30 mmよりも高いことを考慮すれば, 残留量測定値の変動係数が高く, 付着均一性が低いことが防除価が変動した要因の一つとして考えられた。付着均一性は, 展着剤を利用することで改善が可能であると考えられる。有機(JAS)栽培を行う多くの生産者は展着剤の積極的な利用は行わないと考えられるが, 塩基性硫酸銅 (32.0%)水和剤では加用することで防除効果の向上と安定が図られる可能性が考えられた。

本試験では薬剤の防除効果と降雨による銅成分の流亡量との関係の解析により耐雨性を調査したが, この他にも薬剤散布から降雨開始までの時間, 降雨強度, 薬剤の剤型なども薬剤の耐雨性に影響することが報告されている(中島ら, 2006; 2009)。このため, 本試験に用いた各種無機銅水和剤については, 今回の結果とともに上記要因にかかわる圃場試験を行うことで, 総合的に耐雨性を評価する必要がある。

おわりに

消費者の農作物に対するニーズが多様化している中で, 一般的な栽培方法と比較して農薬の使用, 利用可能な農薬の種類および利用回数が制限される有機栽培や特別栽培はニーズの一つとして確立されている。それに対して生産者の中にもこれらのニーズへの対応を積極的に行う場合や生産者自身の志向としてこれらの栽培方法に取り組む場合がある。有機(JAS)栽培では使用できる農薬が銅や硫黄等を主成分とする保護殺菌剤であること, 特別栽培では散布薬剤の総成分回数が慣行栽培の2分の1であることなどから, 生産の安定化には病害虫の被害抑制が重要な課題となっている。本県のJAの営農指導員や普及指導員等では有機(JAS)栽培あるいは特別栽培を行う生産者から, 病害虫制御技術の指導が求められる場合が増加しているが, 現状では多数の品目の中で指導に利用できる情報は限られている。そういった中で, 本稿での各種銅水和剤の耐雨性評価により, 各剤の耐雨性に差異があることが示唆された。今後は, 本稿の耐雨性評価に加えて圃場での試験を行うことにより, 薬剤の選択に関する指標の一つとして利用することができる。また, 有機(JAS)栽培や特別栽培では薬剤の種類や使用回数に特に制限があり, 安定した疫病防除のためには病害発生前の適期に薬剤処理をすることが必要である。現在, 北海道において利用されているジャガイモ疫病初発時期予測モデル(FLABS)を, 本県に適合す

るよう改良し（難波ら，2011），病害虫防除所などから生産者および指導者に向けて予想される初発時期が発信されている。今後は，圃場において各種銅水和剤の耐雨性を評価し，各種薬剤での適切な散布間隔を検討し，この予測モデル FLABS を組み合わせることで，有機 JAS レベルでの疫病防除体系の構築が期待される。

引用文献

- 1) 本間保男ら (1985): 日植病報 51: 47 (講要).
- 2) 中島 隆ら (2006): 九病虫研会報 52: 33 ~ 37.
- 3) ———ら (2009): 同上 55: 25 ~ 30.
- 4) 中山尊登 (2012): ジャガイモ事典, 全国農村教育協会, 東京, p.216 ~ 217.
- 5) 難波信行ら (2011): 長崎農技セ研報 2: 79 ~ 96.
- 6) 小川哲治ら (2008): 九病虫研会報 54: 13 ~ 17.
- 7) 佐藤章夫 (1995): 作物病原菌研究技法の基礎, 日本植物防疫協会, 東京, p.88 ~ 89.
- 8) 伴野広太郎ら (1981): 日本農薬学会誌 6: 25 ~ 29.
- 9) TOMONO, K. et al. (1981): J. Pesticide. Sci. 6: 337 ~ 340.
- 10) 上路雅子ら (2011): 農薬ハンドブック, 2011 年版, 日本植物防疫協会, 東京, p.222.
- 11) van BRUGGEN, A. H. C. et al. (1986): Phytopathology 76: 800 ~ 804.

登録が失効した農薬 (28.6.1 ~ 6.30)

掲載は，種類名，登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

〔殺虫剤〕

- 除虫菊乳剤
11633：キング除虫菊乳剤 3（キング園芸）16/6/5
- BT 粒剤
20654：ブイハンター粒剤（住友化学）16/6/11
- ダイアジノン乳剤
14308：エキソジノン乳剤（日本農薬）16/6/17
- チオジカルブ水和剤
21898：日曹ラービン水和剤 75（日本曹達）16/6/28

〔殺虫・殺菌剤〕

- フィプロニル・チフルザミド・プロベナゾール粒剤
21019：DAS ビルダープリンスグレータム粒剤（日産化学工業）16/6/1
- フェンプロバトリン・テトラコナゾール液剤
22732：ガーデンケアスプレー（キング園芸）16/6/9
- フィプロニル・オリサストロピン・トリシクラゾール粒剤
23274：ビームプリンス嵐箱粒剤（BASF ジャパン）16/6/12
- エトフェンプロックス・フェリムゾン・フサライド粉剤
18172：サンケイブラシントレボン粉剤 DL（サンケイ化学）16/6/26

〔殺菌剤〕

- 石灰硫黄合剤
11630：キング石灰硫黄合剤（白元アース）16/6/5
- キャプタン水和剤
21297：オーソサイド顆粒水和剤 80（アリスト ライフサイエンス）16/6/9
- 銅水和剤
22734：ホクサンコサイド DF（ホクサン）16/6/9
- アミスルブロム水和剤
22925：ボルテックス FS（日産化学工業）16/6/15
- バリダマイシン・フェリムゾン・フサライド水和剤
19025：サンケイブラシンバリダゾル（サンケイ化学）16/6/30

〔除草剤〕

- ダイムロン・ベンスルフロンメチル・メフェナセット粒剤
18169：バイエルザーク D 粒剤 17（バイエルクロップサイエンス）16/6/26

〔植物成長調整剤〕

- デシルアルコール乳剤
19328：オーディラン乳剤（OAT アグリオ）16/6/21