

ベルクトフロアブルはカンキツ緑かび病に 対してベフラン液剤25と同等の効果を発揮する ―九州防協農薬連絡試験の結果から―



(一社) プラントヘルスケア研究所 代表理事
佐賀大学農学部招聘教授 (植物病制御学)

田代 暢哉

Nobuya Tashiro

1. はじめに

カンキツ緑かび病を主体とした貯蔵病害対策のゴールド・スタンダードはベフラン液剤25とベンゾイミダゾール系薬剤との混用散布である。ところが、ベフラン液剤25については農薬再評価制度の関係で2025年11月以降は使用できなくなる。このため、代替剤としてベフラン液剤25に類似した作用機作を有し、各種病害(緑かび病、青かび病、黒腐病、軸腐病)に登録を有しているベルクトフロアブルの利用が考えられた。

しかし、これまではベフラン液剤25が広く普及していたことから、ベルクトフロアブルが実用場面で使用されることは少なかった。そこで、ベフラン液剤25とベンゾイミダゾール系薬剤との混用散布場面で、ベフラン液剤25に代わってベルクトフロアブルを用いた場合の効果について検証する試験が2022年から2か年にわたって全国の試験場で緊急に実施された。

本稿ではこれらの試験事例のなかで、九州地域において(一社)九州病害虫防除推進協議会(九防協)が中心となって7機関が連携して実施した試験について紹介し、参考に供したい。種々ご援助、ご指導いただいた九防協事務局と試験を実施された各機関の担当者各位にこの場を借りてお礼申し上げる。

2. 九州防協農薬連絡試験の意義

九防協は九州地域における主要農作物の安定生産上の障害となっている病害虫の防除法について、会員(農薬関係企業および団体)と農業関係試験研究機関、普及機関等の連携による新技術開発とその普及を円滑に進めるパイプ役として1970年に創立さ

れ現在に至る組織である。

九防協では早期の技術確立・普及を目指し、普通作、野菜作、果樹、茶の4部門に分かれて同一設計に基づいた圃場試験を複数の試験機関で同時に行う「農薬連絡試験」に取り組んでいる。農薬連絡試験の設計会議や成績検討会では普及を見据え、より現場に役立つ技術に仕上げるために参加者間で口角泡を飛ばすがとくの白熱した議論が交わされる。今回のベフラン液剤25代替剤試験のような九州のすべての地域に関係する緊急の課題解決を図るための農薬連絡試験実施は、九防協の本領を発揮する、うってつけの機会になった。

3. カンキツにおける貯蔵病害問題

カンキツには多くの種類の貯蔵病害が発生する(写真1)。主要なものとして、緑かび病(病原 *Penicillium digitatum*)、青かび病(同 *P. italicum*)、白かび病(同 *Geotrichum candidum*)、こうじかび病(同 *Aspergillus* spp.)、炭疽病(同 *Colletotrichum* spp.)、褐色腐敗病(同 *Phytophthora* spp.)、軸腐病(*Diaporthe citri*)などがある。なかでも、緑かび病による被害が大きい(写真2)。

これらの病害が流通段階で発生すると、腐敗果が混入することによる価格の下落、代替品の補償、産地の信用低下などの大きな問題を生じる。また、貯蔵中に発生すると周囲の果実への発病拡大が問題になる。このため、1個の腐敗果実も発生させない完璧な対応が求められる。

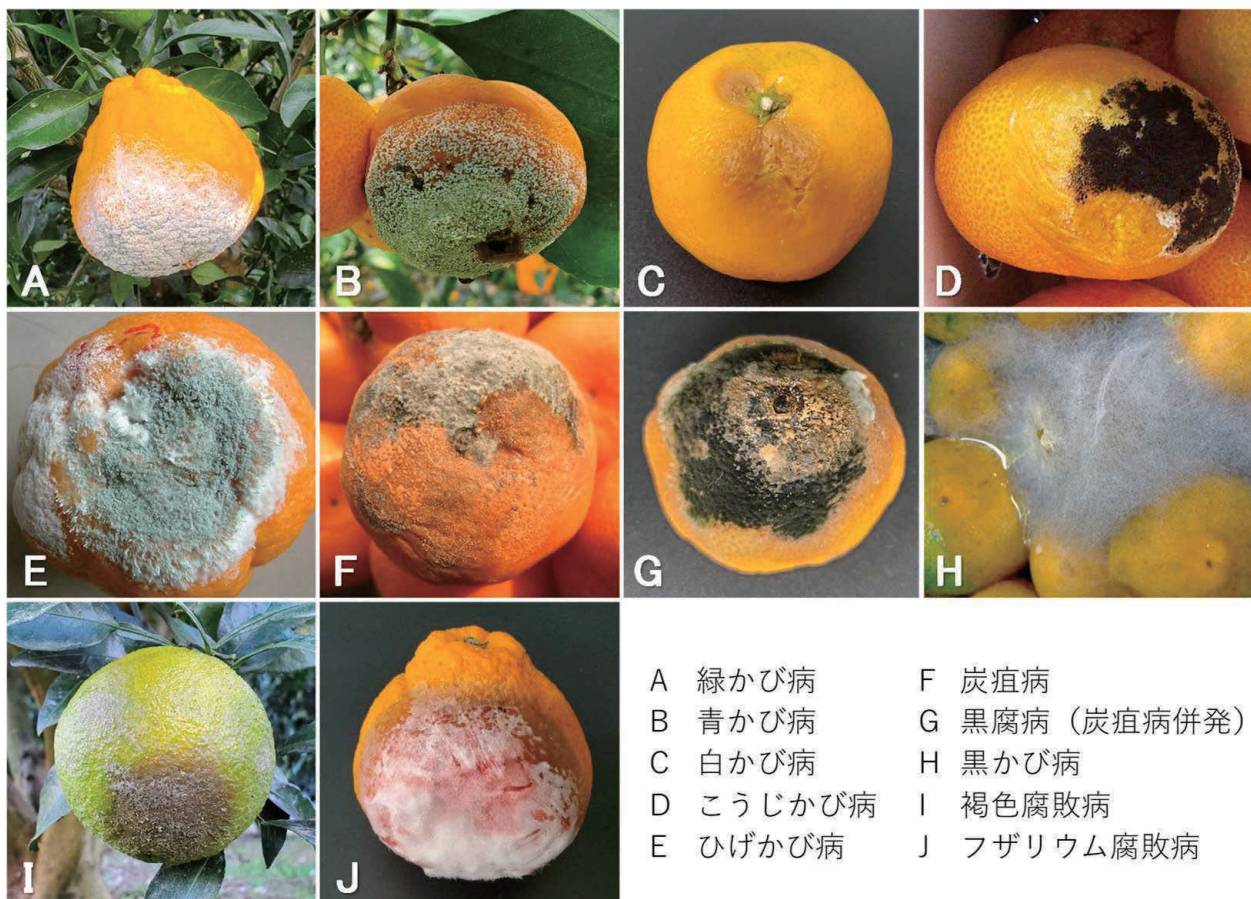


写真 1. カンキツに発生する貯蔵病害 (果実腐敗)

- | | |
|----------|---------------|
| A 緑かび病 | F 炭疽病 |
| B 青かび病 | G 黒腐病 (炭疽病併発) |
| C 白かび病 | H 黒かび病 |
| D こうじかび病 | I 褐色腐敗病 |
| E ひげかび病 | J フザリウム腐敗病 |



写真 2. 出荷箱中で激発した緑かび病

4. カンキツ緑かび病対策における耐性菌問題とベフラン液剤25

(1) ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌の発生

カンキツ緑かび病に対してトップジン M 水和剤などのベンゾイミダゾール系薬剤は 1971 年の使用開始当初は優れた効果を示していた。それまで効果的な薬剤がなかった貯蔵病害対策の救世主となった。ところが、使用開始 3 年後の 1974 年には耐性

菌の出現が報告された。

耐性菌が出現すると当該薬剤の効果が低下することが一般的である。しかし、ベンゾイミダゾール系薬剤と同剤耐性緑かび病の場合は異なっていた。すなわち、耐性菌が出現した当初は耐性菌による効果の低下は生じないか、生じたとしても軽微なものであるとされていた。その理由は、耐性菌の出現は収穫時～貯蔵初期における薬剤淘汰圧の結果によるもので、収穫開始時には耐性菌密度は低く、効果低下は生じない、さらに貯蔵中の果実に傷が付かない限り緑かび病は問題にならず耐性菌の存在は効果に影響しない、というものであった。このため、耐性菌が出現している状況であっても、トップジン M 水和剤などのベンゾイミダゾール系薬剤は貯蔵病害対策として使用され続けていた。また、同系薬剤は軸腐病に対して優れた効果を示すことも長らく使われ続けてきた理由である。

(2) ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌による 効果低下の発現

1980年代半ばから、9月から収穫が始まる極早生品種の栽培面積が急増した。さらに、年明けまで収穫が続く中晩生カンキツや、5月から9月まで出荷されるハウスミカンも増加した。このため、カンキツ産地では年間を通してベンゾイミダゾール系薬剤の淘汰圧が加わるようになった。その結果、各カンキツ類の収穫前の時点で園地にはすでに耐性菌が高頻度で存在していることが多くなった。このことが、薬剤の効果が不安定になり、貯蔵病害の多発生を招く事態になった要因であると考えられた。

(3) ベフラン液剤25とベンゾイミダゾール系薬剤 との混用による効果向上

このような状況下にあって、ベンゾイミダゾール系薬剤とは作用機作の異なるベフラン液剤25が1985年から使用されるようになった。しかし、ベフラン液剤25は条件によっては効果が不安定になるという問題があった。そこで、改善策について検討された。その結果、ベフラン液剤25にトップジンM水和剤などのベンゾイミダゾール系薬剤を混用することで、同系薬剤耐性菌の存在の有無にかかわらず、それぞれの殺菌剤単用散布の場合よりも防腐効果が著しく向上し、優れた効果が得られることが見いだされた。このため、本混用散布はわが国のカンキツ産地で広く普及し、現在に至っている。さらに、ベフラン液剤25とトップジンM水和剤との混合剤であるベフトップジンフロアブルが開発され、混用する必要のない手軽さが評価されている。

(4) ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌検出状況の 推移

ベンゾイミダゾール系薬剤耐性緑かび病菌は出現した当初の1970年代半ばから2000年代初頭までは高度耐性菌が大部分であった。中等度耐性菌の検出頻度はごくわずかであった。その後、2010年頃になると中等度耐性菌が高度耐性菌にとってかわり、高度耐性菌は検出されなくなった。さらに、2024年頃になると中等度耐性菌の検出頻度も低下し、感受性菌の割合が高まっている。しかし、中等度耐性菌であってもベンゾイミダゾール系薬剤の効果は低く、一方で収穫前の園地における耐性菌の発生状況を現場で簡易に把握しようにも現状では困難である。このため、作用機作の異なるベフラン液剤25の混用は欠かせないものになっている。

このため、使用できなくなるベフラン液剤25の代替剤にベルクトフロアブルがなり得るのかどうかの評価は喫緊の課題となった。

5. メタ解析による九防協連絡試験成績の とりまとめ

九防協では2か年にわたって26試験が実施された(表1、表2)。発生した病害は緑かび病が大部分を占めていた。結果を取りまとめるにあたって、ベルクトフロアブル単用試験については試験数が少ないことから、緑かび病の発生条件を程度別に分けることはせずに1,000倍の7例と2,000倍の3例についてメタ解析した(表3)。一方、ベルクトフロアブルとベンゾイミダゾール系薬剤との混用試験では緑かび病の発病果実割合が10%以上の16試験

表1. カンキツ貯蔵病害発病抑制試験の概要(2022年秋季散布)

試験場所	試験事例	供試品種	散布日	収穫日	散布から収穫までの日数	試験期間中の累積降雨量	最終調査日	収穫から最終調査日までの日数	無処理の緑かび病発病割合(%)
福岡農林試		興津早生	11月11日	11月18日	7日	2.0mm	1月6日	49日	3.4%
佐賀果樹試	①	上野早生	10月14日	10月21日	7日	6.5mm	11月25日	35日	2.8%
	②	青島	11月17日	11月24日	7日	2.5mm	1月19日	56日	74.4%
長崎農技せ果樹	①	原口早生	10月24日	10月31日	7日	0.0mm	11月14日	14日	13.5%
	②	原口早生	10月24日	11月14日	21日	4.0mm	11月28日	14日	39.5%
熊本果樹研	①	豊福早生	10月11日	10月18日	7日	41.0mm	11月1日	14日	46.0%
	②	豊福早生	10月11日	10月25日	14日	41.0mm	11月8日	14日	35.0%
大分農研果樹		大津4号	12月14日	1月11日	29日	62.5mm	2月8日	28日	0.0%
鹿児島農総セ	①	薩州(ボンカン)	12月15日	12月26日	11日	65.5mm	2月6日	42日	3.3%
	②	紅甘夏(ナツミカン)	12月15日	12月26日	11日	65.5mm	2月27日	63日	1.6%
PHC研	①	大浦早生	10月10日	10月15日	5日	0.5mm	10月29日	14日	26.3%
	②	大浦早生	10月10日	10月22日	12日	12.0mm	11月5日	14日	51.4%
	③	原口早生	10月29日	11月3日	5日	0.0mm	11月17日	14日	75.2%
	④	原口早生	10月29日	11月8日	10日	0.0mm	11月22日	14日	60.9%
	⑤	石地	11月26日	12月1日	5日	31.0mm	12月22日	21日	100.0%

注) 緑かび病の発病果実割合が10%以上のグレーのハイライトデータをメタ解析に使用、PHC研: (一社)プラントヘルスケア研究所

表 2. カンキツ貯蔵病害発病抑制試験の概要（2023 年秋季散布）

試験場所	試験事例	供試品種	散布日	収穫日	散布から収穫までの日数	試験期間中の累積降雨量	最終調査日	収穫から最終調査日までの日数	無処理の緑かび病発病割合(%)
福岡農林試		興津早生	11月13日	11月20日	7日	2.0mm	12月19日	28日	3.1%
佐賀果樹試		青島	11月11日	11月24日	13日	38.5mm	1月17日	54日	2.8%
長崎農枝セ果樹	①	原口早生	10月25日	11月1日	7日	13.5mm	11月15日	14日	4.4%
	②	原口早生	10月25日	11月7日	13日	20.0mm	11月21日	14日	18.1%
熊本果樹研	①	肥のあすか	10月19日	10月26日	7日	2.0mm	11月9日	14日	10.0%
	②	興津早生	11月14日	11月21日	7日	34.5mm	12月5日	14日	30.0%
	③	肥の豊	12月6日	12月20日	14日	47.5mm	4月12日	98日	23.2%
大分農研果樹		青島	11月28日	12月13日	16日	24.0mm	1月10日	28日	13.0%
鹿児島農総セ	①	薩州（パンカン）	12月6日	12月20日	14日	65.0mm	2月14日	56日	0.0%
	②	甘夏（ナツミカン）	12月6日	12月20日	14日	65.0mm	4月24日	126日	0.0%
PHC研		石地	11月3日	11月17日	14日	33.5mm	12月8日	21日	83.3%

注）緑かび病の発病果実割合が10%以上のグレーのハイライトデータをメタ解析に使用、PHC研：（一社）プラントヘルスケア研究所

表 3. 緑かび病に対するベルコートフロアブルの発病抑制効果のメタ解析値と防除価

供試薬剤	事例数	無処理の緑かび病平均発病割合 (%)	統合リスク比	防除価	防除価の95%信頼区間)
ベルコートフロアブル 1,000倍	7	35.0	0.15	85	(66～95)
ベルコートフロアブル 2,000倍	3	53.5	0.42	58	(0～85)

注）防除価＝（1－統合リスク比）×100

表 4. 無処理の緑かび病発病果実割合が 10%以上 30%未満の試験事例のメタ解析値と防除価

供試薬剤	事例数	無処理の緑かび病平均発病割合 (%)	統合リスク比	防除価	（防除価の95%信頼区間）
ベルコートフロアブル 1,000倍 + A水和剤 4,000倍	7	18.2	0.08	92	(70～98)
ベルコートフロアブル 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	7	18.2	0.11	89	(73～96)
ベフラン液剤 2 5 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	7	18.2	0.12	88	(64～96)

注）防除価＝（1－統合リスク比）×100、A水和剤：ベンゾイミダゾール系薬剤

について、無処理の発病割合が10%以上30%未満の中発生条件下の6試験と30%以上の多発生条件下の10試験の二つに分けて解析した（表4、表5）。

メタ解析とは試験設計が似ている複数の研究の結果を統合し、効果を解析する統計手法のことである。ひとつひとつの研究のサンプルサイズが小さい場合や結果が矛盾している場合でも、多くの研究結果を解析することで、より信頼性の高い評価をすることが可能になる。医学分野で先行していたが、作物病害研究分野においても説得力のあるエビデンスが得られることから利用が進んでいる。今回のような同一試験設計で実施された多数の試験事例をまとめる場合に最適の方法である。

6. ベルコートフロアブルの効果

1,000倍で緑かび病に対する防除価は85（7試験のメタ解析）で、実用上十分な発病抑制効果が得られている（表3）。登録を有しているので当然の結果といえる。しかし今回、防除価85というエビデンスが得られ、本剤の評価が定まったことは現場に対する有益な情報となった。

本剤の登録希釈倍数は1,000倍～2,000倍である。このため、2,000倍でも同様の効果が得られるならば、諸経費高騰の現在にあって経営面からたいへんありがたい。しかし、試験事例数が少ないものの3試験のメタ解析の結果、防除価は58と不十分であった（表3）。このことから、本剤を単独で使用する場合は1,000倍が必須である。なお、2,000倍に対して固着剤を加用することで効果向上が期待できることも考えられ、今後の検討課題である。

7. ベルコートフロアブルにベンゾイミダゾール系薬剤を混用した場合の効果

(1) ベルコートフロアブルの希釈倍数と効果の関係

緑かび病の中発生条件下（7試験の平均発病果実割合18.2%）で、ベルコートフロアブル1,000倍混用の場合、防除価92の効果を示した。これはベフラン液剤2 5 2,000倍 + A水和剤4,000倍（以下、対照）の88と同等以上の優れた効果であった。さらにベルコートフロアブル2,000倍混用の場合でも防除価は89と優れており、対照と同等であった（表4）。

表 5. 無処理の緑かび病発病果実割合が 30%以上の試験事例のメタ解析値と防除価

供試薬剤	事例数	無処理の緑かび病 平均発病割合 (%)	統合リスク比	防除価	防除価の95%信頼区間)
ベルコートフロアブル 1,000倍 + A水和剤 4,000倍	9	59.4	0.25	75	(48~88)
ベルコートフロアブル 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	8	61.4	0.24	76	(53~88)
ベフラン液剤 2.5 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	9	59.4	0.19	81	(60~91)

注) 防除価 = (1 - 統合リスク比) × 100, A水和剤: ベンゾイミダゾール系薬剤

表 6. ベルコートフロアブル 1,000 倍と同 2,000 倍 (ベンゾイミダゾール系薬剤混用) との効果比較

供試薬剤	統合リスク比	防除価	防除価の95%信頼区間)
ベルコートフロアブル 1,000倍	0.11	89	(68~96)
ベルコートフロアブル 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	0.11	89	(73~96)
ベフラン液剤 2.5 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	0.09	91	(66~98)

注) 同一の 6 試験を統合したメタ解析値, 無処理の緑かび病の平均発病割合 40.4%,

防除価 = (1 - 統合リスク比) × 100, A水和剤: ベンゾイミダゾール系薬剤

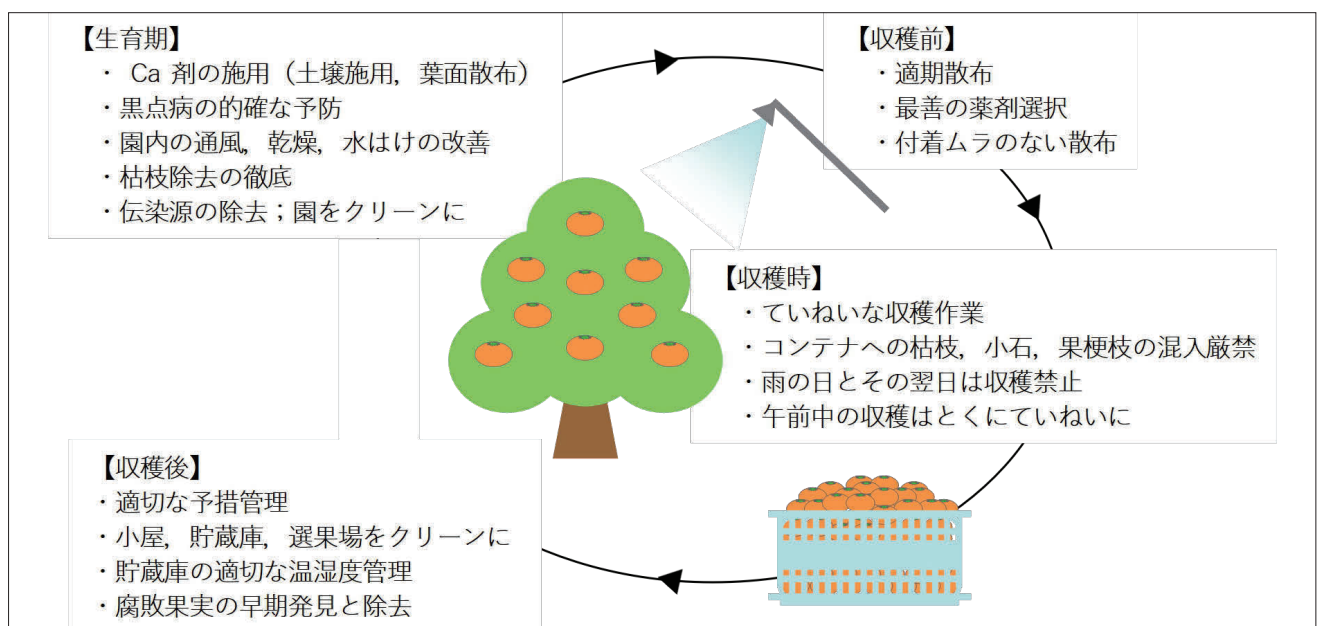


図 1. カンキツ貯蔵病害対策の基本

一方、多発生条件下（9 試験の平均発病果実割合 59.4%）ではベルコートフロアブル 1,000 倍混用で防除価 75 の効果を示した。さらに、2,000 倍混用でも防除価は 76（8 試験の平均発病果実割合 61.4%）となった。これは 1,000 倍混用の場合と同等で、ベルコートフロアブルの希釈倍数間に効果差は認められなかった。しかし、これらの効果は中発生条件下の場合よりもやや低く、対照の防除価 81 にやや劣る傾向を示した（表 5）。

以上の結果から、ベルコートフロアブルはベフラン液剤 2.5 の代替剤になり得ると考えられた。ベン

ゾイミダゾール系薬剤と混用する場合の希釈倍数についてはベルコートフロアブル単用散布の場合と異なり、1,000 倍と 2,000 倍との間で効果差はなかった。このことから、ベンゾイミダゾール系薬剤に本剤を加用する場合、2,000 倍で実用上十分な効果が得られることが明らかになった。なお、緑かび病の多発生条件下ではベフラン液剤 2.5 に比べてベルコートフロアブルでは効果がやや低い傾向にある。このため、多発生を招かないように園内の圃場衛生（発病果実の除去など）を励行するなどの基本的な対策（図 1）をよりいっそう図っていくことが大切である。

表 7. 散布時期の違いが効果に及ぼす影響

供試薬剤	散布時期	事例数	無処理の緑かび病 平均発病割合 (%)	統合リスク比	防除価	(防除価の95%信頼区間)
ベルコートフロアブル 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	収穫5～7日前	7	42.1	0.21	79	(73～83)
	収穫10～16日前	8	40.5	0.19	81	(52～92)
ベフラン液剤 25 2,000倍 + A水和剤 4,000倍	収穫5～7日前	8	45.8	0.10	90	(79～96)
	収穫10～16日前	8	40.5	0.23	77	(54～88)

注) 防除価 = (1 - 統合リスク比) × 100, A水和剤: ベンゾイミダゾール系薬剤

(2) ベルコートフロアブル 1,000 倍とベルコートフロアブル 2,000 倍（ベンゾイミダゾール系薬剤混用）との効果比較

先に示したように、ベルコートフロアブル 2,000 倍とベンゾイミダゾール系薬剤との混用で実用上十分な効果が得られている。そこで、本混用とベルコートフロアブル 1,000 倍の効果について同時に比較できる 6 事例について比較した（表 6）。その結果、ともに防除価は 89 で、対照と同程度の優れた効果を示した。

それでは、ベルコートフロアブル 1,000 倍単用と同フロアブル 2,000 倍（ベンゾイミダゾール系薬剤混用）のどちらを選択すべきか、という問題が出てくる。単用では混用の手間が省けるという利点がある。しかし、ベルコートフロアブル 1,000 倍ではベルコートフロアブル 2,000 倍とベンゾイミダゾール系薬剤との混用の場合よりも経費がかさむ。さらに、耐性菌対策を考えれば混用散布が望ましい。

以上のことから、現時点ではベルコートフロアブル 2,000 倍とベンゾイミダゾール系薬剤との混用が緑かび病対策の最善の薬剤選択として推奨される。

(3) 散布時期と効果の関係

ベルコートフロアブル 2,000 倍とベンゾイミダゾール系薬剤との混用散布の場合、収穫 5～7 日前

散布と収穫 10～16 日前散布の防除価はそれぞれ 79 と 81 で、散布時期による効果の違いは認められなかった（表 7）。一方、比較対照として用いたベフラン液剤 25 の 2,000 倍混用では収穫 5～7 日前散布が収穫 10～16 日前散布に優る傾向であった。解析に用いた一連の試験は少降雨条件下で実施されたものであることを考慮すると、ベルコートフロアブル混用の場合でも、現状では収穫期にできるだけ近づけた時期の散布が推奨される。

今後、多雨条件下での検討や人工降雨条件下での耐雨性評価が必要である。

8. おわりに

2 か年にわたる九防協農薬連絡試験の結果から、貯蔵病害の中で最も被害が大きな緑かび病に対してベルコートフロアブルはベンゾイミダゾール系薬剤との混用場面でベフラン液剤 25 の代替剤として活用できることが示された。

今後、カンキツ産地の貯蔵病害対策はベルコートフロアブルとベンゾイミダゾール系薬剤との混用に頼ることになる。本混用について、耐雨性、残効性の解明、軸腐病や黒腐病などの他病害に対する効果、効果を向上させる補助剤の探索など、よりいっそうのエビデンスの蓄積が望まれる。