

菌核病菌子のう胞子の飛散時期を基にした キャベツ菌核病の防除対策

菱池政志

和歌山県農業試験場

Control of Sclerotinia Rot of Cabbage Based on Dispersal Period of Ascospores.

Masashi Hishiike

Wakayama Agricultural Experiment Station

緒 言

和歌山県のキャベツ栽培において、菌核病は冬どり、春どりともに発生するが、3月または4月収穫の春どりキャベツで発生が多い。菌核病の発生程度は年次間差、ほ場間差が大きい。調査を開始した2015年以降、毎年のように発病株率が20%以上に及ぶ多発ほ場が認められ、安定生産の阻害要因となっている。

本県の生産現場では、春どりキャベツの菌核病に対して、1月に薬剤散布による防除が行われている。菌核病の第一次伝染源は子のう胞子である (Abawi and Grogan, 1975, 1979)。子のう胞子は菌核から発生する子のう盤 (図1) に形成され、子のう盤の形成適温は15~16℃とされる (梅本ら, 1984; 米山ら, 2005)。和歌山市における過去10年 (2011~2020年) の1月の平均気温は4.3~8.6℃である (アメダス和歌山)。すなわち、和歌山市における1月の気温は、子のう盤の形成に適しておらず、子のう胞子が飛散していない可能性が考えられる。

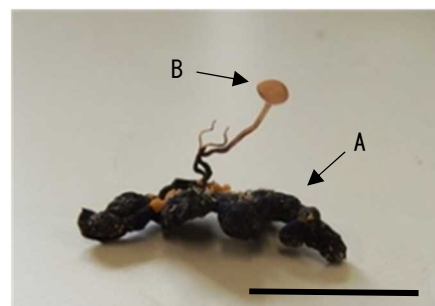


図1 菌核と子のう盤
A:菌核 B:子のう盤
スケールは1cm

子のう胞子の飛散時期については、海外で報告事例が多くあり、半選択培地を用いて空気中の子のう胞子を捕捉する方法 (Ben-Yephet and Bitton, 1985; Gutierrez and Shew, 1998; Hudyncia et al., 2000) や、バーカード型花粉採集器等を用いて空気中の子のう胞子を捕捉し、PCR法 (Freeman et al., 2002) やリアルタイムPCR法 (Rogers et al., 2009; Parker et al., 2014; Almquist and Wallenhammar, 2015) で検出する方法が試みられている。一方、わが国では、子のう盤の形成時期を調べた事例がある (長井・深津, 1968; 古木ら, 1969; 小芦, 1978; 梅本ら, 1984; 菱池, 2018)。この方法は、感染源である子のう胞子の飛散時期をおおむね把握できると考えられるが、子のう胞子を調査対象としていないため、正確な飛散時期を知ることはできない。

また、子のう胞子の飛散時期に薬剤の効果を持続させるためには、薬剤の残効期間を把握する必

要がある。キャベツ菌核病に対する薬剤の防除効果は、梅本ら（1984）が報告している。しかし、当時とは防除薬剤が変遷しており、現在の主要薬剤のキャベツ菌核病に対する防除効果や残効期間は明らかでない。

そこで、2017年作では子のう盤の形成時期を調査し、2018年作と2019年作では、リアルタイムPCR法を用いて空気中の菌核病菌子のう胞子の定量を試みることで、子のう胞子の飛散時期を検討した。また、主要薬剤の防除効果および残効期間を検討した。さらに、子のう胞子の飛散時期を基に、薬剤による体系防除を行い、防除効果を検証した。

材料および方法

1. 子のう盤の形成消長

菌核病菌（2014年12月に和歌山市のキャベツから分離）を、オートクレーブ滅菌したジャガイモ塊茎切片に接種し、約2か月間26℃の暗黒下で培養し、菌核を形成させた。菌核を回収し、4℃の冷蔵庫内で約3か月間保存した。ワグネルポット（1/5000a）に鹿沼土を充填し、深さ2～3cmに菌核を50個埋設した。このワグネルポットを、2017年9月15日にほ場に1か所設置した。ワグネルポットの上には寒冷紗を設置し、直射日光が当たらないようにした。10月2日から2018年5月29日まで、約1週間隔で菌核病菌の子のう盤の形成数を調査した。形成した子のう盤は調査日ごとに除去した。試験期間中の平均気温および降水量は、農業試験場内設置の気象観測装置のデータを利用した。

2. 簡易型胞子採集器の作成

草野ら（2014）および野村ら（2017）を参考に、簡易型胞子採集器を作成した（図2）。すなわち、大小2個のタッパーを用意し、大きい方のタッパーの蓋部から3cm下に5.5cm×3mmのスリットを1か所あけ、吸引口とした。スリットの内側（タッパー内部）には、ケーブルフックを両面テープで2個貼り付けた。大きい方のタッパーの底部中央に直径3cmの穴をあけ、タッパーの外側にDCファンモーター（山洋電機、San Ace 40）をねじで固定した。小さい方のタッパーの側面には排気口として直径4mmの穴を数個あけた。この2個のタッパーを、底部を上にした状態で大きい方を下、小さい方を上にして重ね、シリコンコーキングで接着した。



図2 簡易型胞子採集器

3. 菌核病菌子のう胞子の採集

簡易型胞子採集器をキャベツ栽培ほ場の中央部または近傍に設置した。トラップとして、テープ幅20mmの両面テープを貼り付けたスライドガラスを、粘着部分がスリット側になるように、ケーブルフックに引っかけた。簡易型胞子採集器のDCファンモーターを車用バッテリー（12V）につなぎ、連続駆動させた。おおむね1週間隔でバッテリーと両面テープを貼り付けたスライドガラスを交換した。胞子採集器は、2018年11月22日から2019年6月12日までと、2019年9月18日から2020年6月12日まで設置した。

4. 菌核病菌子のう胞子の定量

両面テープからの DNA 抽出および精製は、Almquist and Wallenhammar (2015) を参考に行った。すなわち、DNA 抽出は、FastDNA Kit (MP Biomedicals) を用いた。両面テープを Lysing Matrix A tubes に入れ、一晚以上-80℃で冷凍した。チューブに CLS-Y を 1ml 入れ、ミキサーミル (Retsch, MM301) を用いて、振動数 30 回/秒で 2 分間の破碎を 2 度行った。これ以降は、キットに添付のプロトコルどおり行った。DNA の精製は、illustra™ MicroSpin™ S-300 Columns (GE Healthcare) を用いて、添付のプロトコルどおり行った。リアルタイム PCR 装置は LightCycler® Nano (Roche Diagnostics) , 試薬は FastStart Essential DNA Green Master (Roche Diagnostics) , プライマーセットは Ss_F と Ss_R (Yin et al., 2009) を使用した。結果は、LightCycler® Nano Software 1.0 で解析し、融解曲線分析を行った。1 胞子あたりの DNA 量を 0.35pg (Rogers et al., 2009) として 1 平方センチメートルあたりの胞子数を算出した。試験期間中の平均気温および降水量は、農業試験場内設置の気象観測装置のデータを利用した。

5. 主要薬剤の残効性

2017 年 11 月 28 日に、農業試験場内露地ほ場にキャベツ ‘めぐみ’ を定植した。供試薬剤は表 1 に示すとおりとし、いずれも展着剤として、ポリ (オキシエチレン) =ノニルフェニルエーテル 10.0%・ポリナフチルメタンスルホン酸ナトリウム 6.0%剤 5,000 倍を加用した。表 1 に示す散布日に、供試薬剤を背負式電動噴霧機で十分量散布した。2018 年 4 月 17 日時点で自然発病が認められなかったため、同日、 1.0×10^3 個/ml に調整した菌核病菌の子のう胞子懸濁液を、背負式電動噴霧機で 1 区あたり 150ml 散布し、接種した。5 月 28 日に発病を調査し、発病株率を算出した。また、発病株率に基づいて防除価を算出した。防除価 60 以上の防除効果が得られた、最終散布日から接種日までの日数を、残効が期待できる日数と判断した。1 区 6.75m² (1.5×4.5m) , 28~30 株, 3 反復とした。

表 1 試験区の概要

供試薬剤	希釈 倍数	最終散布から 接種までの日数	散布日					
			12/3	12/18	12/25	3/13	3/29	4/3
ピラクロストロビン ・ボスカリド水和剤	1,500	14	○		○	○		○
		35	○			○		
ボスカリド水和剤	1,500	14	○		○	○		○
		35	○			○		
ピリベンカルブ水和剤	2,000	14	○		○	○		○
		35	○			○		
イプロジオン水和剤	1,000	14	○		○	○		○
		19	○	○		○	○	
		35	○			○		

○は散布したことを示す

6. 子のう胞子の飛散時期を基にした体系防除の防除効果

1) 2018 年作試験

2018 年 11 月 21 日、農業試験場内露地ほ場にキャベツ ‘めぐみ’ を定植した。試験区は 3 回散布区および 2 回散布区を設定した。供試薬剤および希釈倍数はボスカリド水和剤 1,500 倍、ピリベンカルブ水和剤 2,000 倍、ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤 1,500 倍とした。表 2 に示す散布日に供試薬剤を散布した。2019 年 4 月 19 日に発病を調査し、発病株率を算出した。また、発病株率に基づいて防除価を算出した。

表2 試験区の概要

区	散布日		
	12/1	12/18	2/26
3回散布	ボスカリド	ピリベンカルブ	ピラクロストロビン・ボスカリド
2回散布	ボスカリド	-	ピリベンカルブ
無処理			

2) 2019年作試験

2019年11月20日、農業試験場内露地ほ場にキャベツ‘めぐみ’を定植した。試験区は3回散布区、2回散布区、セルトレイ灌注+1回散布区を設定した。セルトレイ灌注剤の供試薬剤および希釈倍数はピラジフルミド水和剤100倍、500ml/トレイ、散布剤の供試薬剤および希釈倍数はボスカリド水和剤1,500倍、ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤1,500倍とした。表3に示すセルトレイ灌注日および散布日に供試薬剤を処理した。2020年4月17日に発病を調査し、発病株率を算出した。また、発病株率に基づいて防除価を算出した。

表3 試験区の概要

区	セルトレイ灌注日	散布日		
	11/19	11/25	12/19	3/7
3回散布	-	ピラジフルミド	ボスカリド	ピラクロストロビン・ボスカリド
2回散布	-	ピラジフルミド	-	ピラクロストロビン・ボスカリド
セルトレイ灌注+1回散布	ピラジフルミド	-	-	ピラクロストロビン・ボスカリド
無処理				

結果

1. 子のう盤の形成消長

子のう盤の形成は、11月中旬から12月中旬までと3月中旬から4月上旬まで認められた(図3)。調査日ごとの子のう盤の形成数は1~10個であった。子のう盤の形成が認められた期間の平均気温は、4.4~14.4℃であった。

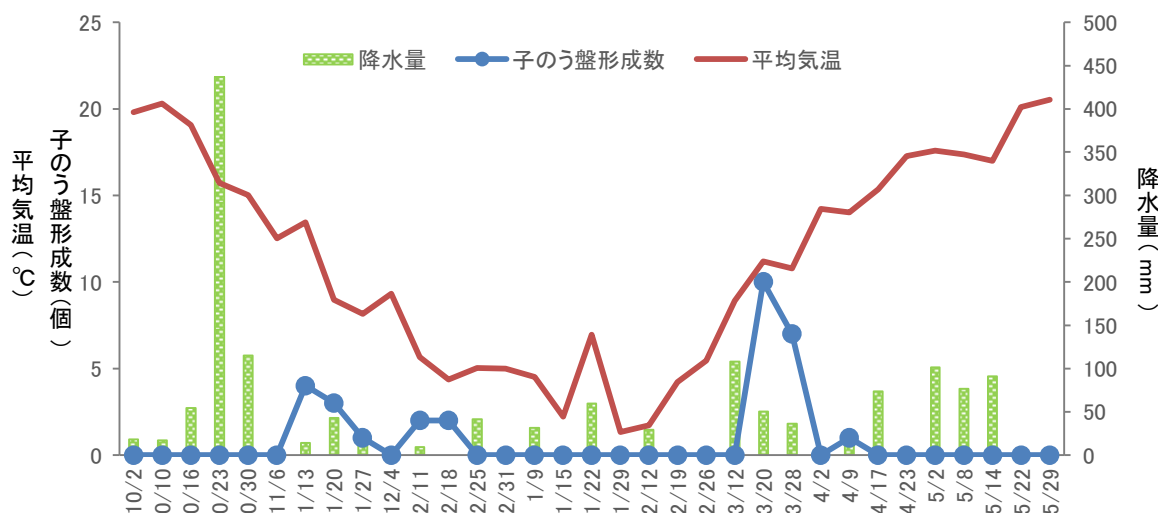


図3 菌核病菌子のう盤の形成数と平均気温、降水量の推移(2017~2018年)

注) 日付は調査日

2. 菌核病菌子のう胞子の飛散消長

2018年作では、2018年11月22日から2019年6月12日まで調査を行った。子のう胞子の主な飛散時期は、調査を開始した11月22日から12月20日までと、3月6日から6月5日までであった（図4）。3月6日以降は断続的な飛散であった。捕捉された1平方センチメートルあたりの子のう胞子数は1～43個であった。子のう胞子が検出された期間の平均気温は、5.4～20.4℃であった。

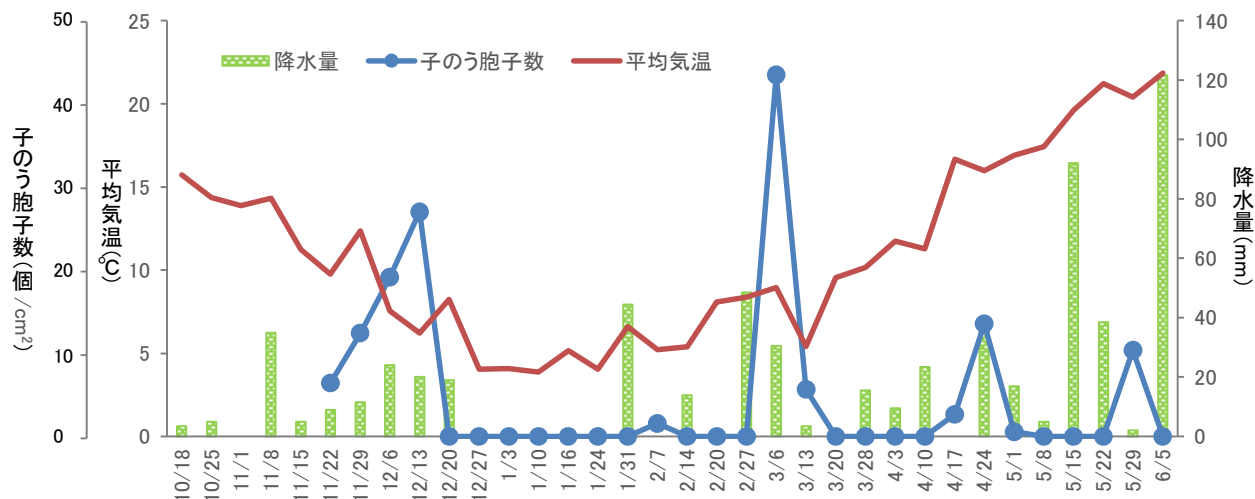


図4 菌核病菌子のう胞子の飛散量と平均気温，降水量の推移（2018～2019年）
注）日付はトラップの設置日

2019年作では、2019年9月18日から2020年6月12日まで調査を行った。子のう胞子の主な飛散時期は、12月6日から2月5日までと、4月2日から5月7日までであった（図5）。捕捉された1平方センチメートルあたりの子のう胞子数は1～240個であった。子のう胞子が検出された期間の平均気温は、5.9～19.6℃であった。

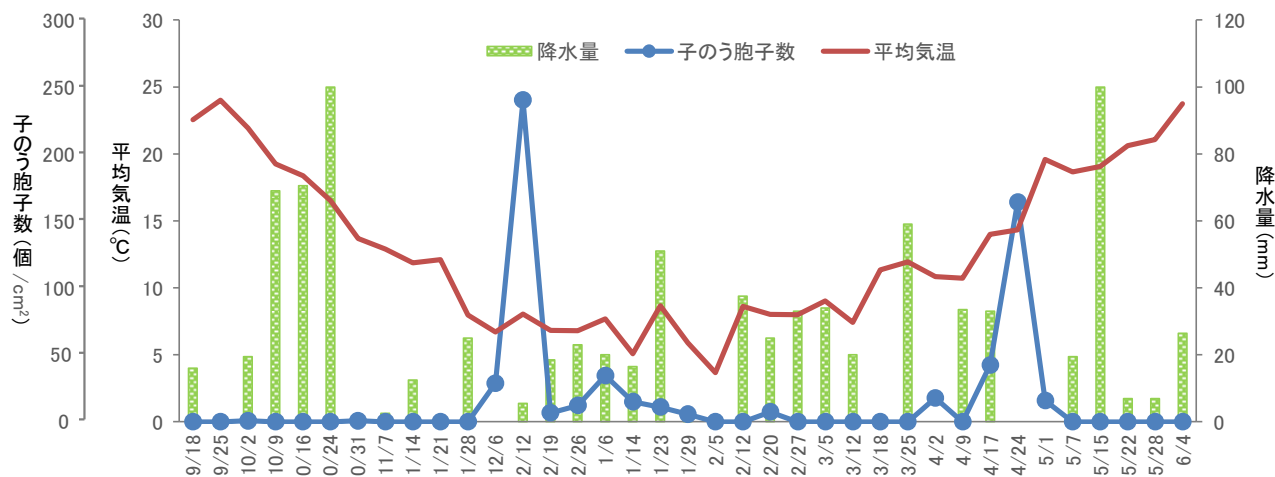


図5 菌核病菌子のう胞子の飛散量と平均気温，降水量の推移（2019～2020年）
注）日付はトラップの設置日

3. 主要薬剤の残効性

ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤およびボスカリド水和剤は、最終散布から35日後に接種した区（以下、35日後接種区）でも防除効果が認められた（表4）。

ピリベンカルブ水和剤は、最終散布から14日後に接種した区（以下、14日後接種区）で防除効果が認められたが、35日後接種区で防除価が41.6と防除効果が低下した。

イプロジオン水和剤は、14日後接種区で防除効果が認められたが、19日後接種区で防除価が21.0、35日後接種区で防除価が0と防除効果が認められなかった。

表4 数種薬剤のキャベツ菌核病に対する残効性

供試薬剤	希釈 倍数	最終散布から 接種までの日数	調査 株数	発病株 数	発病株率 (%)	防除価
ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤	1,500	14	89	2	2.2	90.9
		35	90	4	4.4	82.0
ボスカリド水和剤	1,500	14	88	5	5.7	77.0
		35	88	6	6.8	72.4
ピリベンカルブ水和剤	2,000	14	88	3	3.4	86.2
		35	90	13	14.4	41.6
イプロジオン水和剤	1,000	14	89	6	6.7	72.7
		19	87	17	19.5	21.0
		35	90	31	34.4	0
無処理			89	22	24.7	

4. 子のう胞子の飛散時期を基にした体系防除の防除効果

2018年作の防除試験では、無処理区の発病株率が7.8%と、少発生条件であった（表5）。3回散布区、2回散布区ともに発病株率が2.3%で、防除価は70.8であった。

2019年作の防除試験では、無処理区の発病株率が23.3%と、中発生条件であった（表6）。3回散布区の発病株率が2.2%で、防除価は90.5であった。2回散布区の発病株率が2.2%で、防除価は90.4であった。セルトレイ灌注+1回散布区の発病株率が5.6%で、防除価は76.2であった。

表5 キャベツ菌核病に対する体系防除の防除効果（2018年作）

区	散布日			調査 株数	発病 株数	発病株率 (%)	防除価
	12/1	12/18	2/26				
3回散布	C	F	S	88	2	2.3	70.8
2回散布	C	-	F	88	2	2.3	70.8
無処理				90	7	7.8	

C: ボスカリド水和剤 1,500倍 F: ピリベンカルブ水和剤 2,000倍

S: ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤 1,500倍

表6 キャベツ菌核病に対する体系防除の防除効果（2019年作）

区	セルトレイ灌注日	散布日			調査 株数	発病株 数	発病株率 (%)	防除価
	11/19	11/25	12/19	3/7				
3回散布	-	P	C	S	90	2	2.2	90.5
2回散布	-	P	-	S	89	2	2.2	90.4
セルトレイ灌注+1回散布	P	-	-	S	90	5	5.6	76.2
無処理					90	21	23.3	

セルトレイ灌注 P: ピラジフルミド水和剤 100倍 500ml/トレイ

散布 P: ピラジフルミド水和剤 2,000倍 C: ボスカリド水和剤 1,500倍

S: ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤 1,500倍

考 察

本研究では、子のう盤の形成消長およびリアルタイム PCR 法による空気中の子のう胞子の定量により、菌核病菌子のう胞子の飛散時期を明らかにした。また、4 月どりキャベツの作型において、子のう胞子の飛散時期に残効期間の長い薬剤を 2 回散布することで、菌核病に対して防除効果が得られることを明らかにした。

まず、菌核病菌子のう胞子の飛散時期を検討した。Foster et al. (2011) は、子のう盤の発生や子のう胞子の飛散と密接にかかわる変数として、地温と土壤水分を挙げている。加部ら (2012) は、高冷地の夏秋キャベツ栽培において、日平均気温 15℃以上、30mm 程度の降雨後に、子のう盤の開盤数が増加すると報告している。本研究における 3 か年にわたる作期前半の子のう盤の形成開始時期および子のう胞子の飛散開始時期と、日平均気温、降水量との関係を見ると、日平均気温が 15℃以下で、1 日に 25mm 以上の降雨があった後に、子のう盤の形成もしくは子のう胞子の飛散が認められている。作期後半では、日平均気温が 8℃以上で、1 日に 30mm 以上もしくは週に 40mm 以上の降雨後に、子のう盤の形成や子のう胞子の飛散が認められている。このことから、春どりキャベツ栽培においても、子のう盤の形成および子のう胞子の飛散に、気温と降水量が大きく関与していることが確認された。

子のう盤の形成が認められる温度範囲については、10～25℃ (Abawi and Grogan, 1975) や 5～25℃ (Clarkson et al., 2004) といった報告がある。また、長井・深津 (1970) は、子のう盤は 10～20℃で発生し、25℃では原基は発生するものの腐敗して子のう盤の形成に至らなかったとしている。本研究における子のう盤の形成および子のう胞子の飛散が認められた温度範囲は、おおむね 5～20℃で、既報と同様の結果であった。

平均気温の平年値を考慮すると、作期前半は 10 月中旬頃から、作期後半は 3 月上旬頃から子のう盤の形成が起り得ると考えられた。また、2016 年作 (菱池, 2018)、2017 年作の子のう盤の形成および 2018 年作、2019 年作の子のう胞子の飛散を見ると、作期前半は 12 月下旬頃に、作期後半は 5 月下旬頃に子のう胞子の飛散は収束するものと考えられた。以上のことから、子のう胞子の飛散時期は、10～12 月と 3～5 月と考えられた。ただし、子のう盤の形成には、土壤水分が飽和状態もしくはそれに近い状態であることが必要とされている (Abawi and Grogan, 1975, 1979; Clarkson et al., 2004)。すなわち、少雨による低土壤水分は子のう盤形成の抑制要因になるため、実際の子のう胞子の飛散時期は、降雨の時期や量により変動するものと考えられた。2019 年作では、作期前半の子のう胞子の飛散が 12 月上旬から始まり、1 月下旬に収束した。この冬は記録的な暖冬で、平均気温が 15℃以下になるのが遅かったことに加え、その後のまとまった降雨が 11 月下旬までなかったことから、子のう胞子の飛散開始が遅くなったと考えられた。また、長井・深津 (1970) は、子のう盤の生存期間を 10℃で 20～30 日としている。2020 年 1 月は月平均気温が平年より 2.6℃高く、平均気温が 10℃前後の日が数日あったため、1 月に入っても子のう胞子が飛散し続けたものと考えられた。

次に、主要薬剤の残効期間を調べた。菌核病の防除は、子のう胞子の飛散時期を狙って殺菌剤を散布することが重要である (Clarkson et al., 2014)。薬剤の効果が途切れないように防除を行うには、子のう胞子の飛散時期を把握することに加えて、薬剤の残効期間を考慮する必要がある。ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤およびボスカリド水和剤は、35 日後接種でも防除効果が認められ、5 週間以上の長い残効期間が期待できると考えられた。両剤に含まれるボスカリドは、菌核

病菌に対する活性が高く、植物体内に浸透するため、耐雨性および残効性に優れるとされ（伊藤，2006），今回はこれを支持する結果となった．ピリベンカルブ水和剤は，14 日後接種では防除効果が認められたが，35 日後接種では認められなかった．この間の散布間隔は 21 日と長かったため，防除効果が認められなくなった時期は把握できなかったが，14 日以上と比較的長い残効期間が期待できると考えられた．ピリベンカルブは茎や根からの浸透移行性，葉における浸透性を有しており（高垣ら，2014），このことが比較的長い残効期間の要因と考えられた．イプロジオン水和剤は，14 日後接種では防除効果が認められたが，19 日後接種では 14 日後接種に比べて極端に防除価が低下しており，残効期間は 14 日程度と考えられた．

最後に，子のう胞子の飛散時期を考慮した体系防除の防除効果を検証した．子のう胞子の飛散時期（10～12 月および 3～5 月）から，春どりキャベツの菌核病の防除時期は，定植直後から 12 月までと，3 月以降であると考えられた．このことを考慮して，定植直後の 11 月下旬～12 月上旬に 1 回，2 月下旬～3 月上旬に 1 回の計 2 回，残効期間の長い薬剤で防除することにより，4 月収穫の作型のキャベツ菌核病に対して防除効果を得ることができた．2018 年作試験は少発生，2019 年作試験は中発生と発病程度は異なったが，2 か年とも 2 回散布区と 3 回散布区で同程度の防除効果であったことから，2 回散布で十分な効果が得られると判断した．

一般に，キャベツ菌核病は結球期以降に発病し始め，本県の春どりキャベツでは 3 月や 4 月に発病することが多い．作付け前半の 10～12 月に飛散している子のう胞子が感染源になっているとすれば，数か月の間キャベツ上で生存していることになる．室内試験において，5℃もしくは 10℃の低温，80%以下の低相対湿度で，子のう胞子は植物体上で最長 21 週間生存すると報告されており（Clarkson et al., 2003），低温，乾燥条件の冬を子のう胞子がキャベツ上で生存し続ける可能性はあると考えられる．また，筆者は，11 月または 12 月に防除することで，ある程度の防除効果が得られることを確認している（菱池，2018）．これらのことから，10～12 月に飛散した子のう胞子はキャベツ上で生存し，3～4 月にキャベツを発病させる可能性があることが示唆された．このため，定植直後から 12 月に飛散している子のう胞子も防除対象とするべきであると考えられた．

2 か年の体系防除試験において，発病程度に差が認められたが，これには子のう胞子の飛散量の差が関係していると考えられた．子のう胞子の飛散量が多いと発病程度が高まることが報告されており（Harikrishnan and del Rio, 2006; Gutierrez and Shew, 2000; Parker et al., 2014），本研究でも子のう胞子の飛散量が多かった 2019 年作で発病が多く，既報と同様の結果であった．

2019 年作の子のう胞子の飛散時期は，それまでの 3 か年の傾向と異なった．2019 年作の体系防除試験の 1 回目の散布薬剤であるピラジフルミドについては，散布処理の残効期間の検討を行っていない．しかし，ピラジフルミド水和剤は優れた耐雨性および残効性を有するとされる（伯野，2018）ため，子のう胞子の飛散時期が 1 月下旬まで続いても，防除効果が得られたと推察された．

近年，キャベツ菌核病に対して，ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注が適用拡大された．2019 年作の体系防除試験において，定植前のセルトレイ灌注と 2 月下旬の 1 回散布で防除効果が得られた（表 6）．ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注処理の効果持続期間は定植後 5 週間とされ（西村・山下，2020），本研究におけるボスカリド水和剤やピラクロストロビン・ボスカリド水和剤の散布処理と同等の残効期間が期待できる．このため，定植直後の 1 回目の散布をピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注に置き換えることで，ほ場における散布回数が削減でき，省力化につながると考えられた．

本研究では，子のう胞子の主な飛散時期が 10～12 月と 3～5 月であり，この時期に薬剤防除する

ことで、春どりキャベツの菌核病に対して防除効果を得ることができることを明らかにした。通常、低温期の1~2月は子のう胞子の飛散がほとんどなく、防除は不要であると考えられた。本研究における体系防除の有効性は11月定植、4月収穫の作型で検討した。本県における春どりキャベツのうち一つの主力の作型で、菌核病の発生が多い10月定植、3月収穫の作型では未検討であるため、さらなる検討が必要であるが、子のう胞子の飛散時期や収穫時期を考慮すると、定植直後の10月中下旬と12月上中旬、3月上旬の計3回の防除が必要と推察された。春どりキャベツ栽培においては、慣行の結球期防除から菌核病菌子のう胞子の飛散時期を考慮した防除に転換することで、キャベツ菌核病を効率的に防除できるものと考えられた。

摘 要

春どりキャベツの菌核病に対する効率的な防除体系を確立するため、子のう胞子の飛散時期、薬剤の残効期間および子のう胞子の飛散時期を基にした体系防除の防除効果を検証した。

1. 本県における菌核病菌子のう胞子の飛散時期は10~12月と3~5月であった。
2. 主要薬剤の残効期間は、ボスカリド水和剤およびピラクロストロビン・ボスカリド水和剤が35日以上、ピリベンカルブ水和剤が14日以上、35日未満であった。
3. 11月定植、4月収穫の作型において、11月下旬~12月上旬と2月下旬~3月上旬に1回ずつの計2回防除することで、キャベツ菌核病に対して高い防除効果を得ることができる。
4. 1回目の散布は、ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注で代替することができる。

引用文献

- Abawi, G. S. and Grogan, R. G. 1975. Source of primary inoculum and effects of temperature and moisture on infection of beans by *Whetzelinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 65:300-309.
- Abawi, G. S. and Grogan, R. G. 1979. Epidemiology of diseases caused by *Sclerotinia* species. *Phytopathology*. 69: 899-904.
- Almqvist, C., and Wallenhammar, A.-C. 2015. Monitoring of plant and airborne inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum* in spring oilseed rape using real-time PCR. *Plant Pathol.* 64: 109-118.
- Ben-Yephet, Y. and Bitton, S. 1985. Use of a selective medium to study the dispersal of ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytoparasitica*. 13: 33-40.
- Clarkson, J. P., Staveley, J., Phelps, K., Young, C.S. and Whipps, J.M. 2003. Ascospore release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Mycol. Res.* 107: 213-222.
- Clarkson, J. P., Whipps, J. M., Phelps, K. and Young, C. S. 2004. Forecasting sclerotinia disease on lettuce: towards developing a prediction model for carpogenic germination of sclerotia. *Phytopathology*. 94: 268-279.
- Clarkson, J. P., Fawcett, L., Anthony, S. G. and Young, C. 2014. A model for *Sclerotinia sclerotiorum* infection and disease development in lettuce, based on the effects of temperature, relative humidity and ascospore density. *PLoS ONE*. e94049.

- Foster, A. J., Kora, C., McDonald, M. R. and Boland, G. J. 2011. Development and validation of a disease forecast model for *Sclerotinia* rot of carrot. *Can. J. Plant Pathol.* 2011. 33:187-201.
- Freeman, J., Ward, E., Calderon, C. and McCartney. 2002. A polymerase chain reaction (PCR) assay for the detection of inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Eur. J. Plant Pathol.* 108 : 877-886.
- 古木市重郎・斎藤恒雄・小野好正. 1969. 畑作レタス菌核病の生態と防除. 関東東山病虫研報. 16 : 40.
- Gutierrez, W. A., and Shew, H. D. 1998. Identification and quantification of ascospores as the primary inoculum for collar rot of greenhouse-produced tobacco seedlings. *Plant Dis.* 82 : 485-490.
- Gutierrez, W. A., and Shew, H. D. 2000. Factors that affect development of collar rot on tobacco seedlings grown in greenhouses. *Plant dis.* 84 : 1076-1080.
- 伯野史明. 2018. 新規殺菌剤ピラジフルミドの特性. 植物防疫. 72 : 686-689.
- Harikrishnan, R. and del Rio, L. E. 2006. Influence of temperature, relative humidity, ascospore concentration, and length of drying of colonized dry bean flowers on white mold development. *Plant Dis.* 90 : 946-950.
- 菱池政志. 2018. 和歌山県における春どりキャベツの菌核病の防除適期. 植物防疫. 72 : 554-557.
- Hudyncia, J., Shew, H. D., Cody, B. R. and Cubeta, M. A. 2000. Evaluation of wounds as a factor to infection of cabbage by ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis.* 84 : 316-320.
- 伊藤学. 2006. 新規殺菌剤ボスカリド水和剤の特性. 植物防疫. 60 : 43-47.
- 加部武・日戸正敏・木村康夫. 2012. 夏秋キャベツにおける菌核病の発生生態と防除法. 群馬農技セ研報. 9 : 51-58.
- 小芦健良. 1978. 鹿児島県におけるキャベツの病害虫 第5報 菌核病. 九州病虫研報. 24 : 46-47.
- 草野尚雄・小河原孝司・小西博郷・鹿島哲郎. 2014. 茨城県におけるナシ黒星病子のう胞子の飛散消長と重要防除時期. 茨城農総セ園研研報. 21 : 15-20.
- 長井雄治・深津量栄. 1968. そさいの菌核病に関する研究 第2報 レタス菌核病の感染発病と防除. 千葉農試研報. 8 : 65-82.
- 長井雄治・深津量栄. 1970. そさいの菌核病に関する研究 第3報 キュウリ菌核病の発生と防除. 千葉農試研報. 10 : 73-90.
- 西村昭・山下真生. 2020. 新規SDHI殺菌剤ピラジフルミドの葉菜類セルトレイ灌注処理による病害防除. 植物防疫. 74 : 224-230.
- 野村康弘・足立昌俊・渡辺秀樹・杖田浩二. 2017. 薬剤散布を抑制した条件下での効果的なカキ円星落葉病防除法の検討. 岐阜農技セ研報. 17 : 13-23.
- Parker, M. L., McDonald, M. R. and Boland, G. J. 2014. Evaluation of air sampling and detection methods to quantify airborne ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Dis.* 98 : 32-42.
- Rogers, S. L., Atkins, S. D. and West, J. S. 2009. Detection and quantification of airborne inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum* using quantitative PCR. *Plant Pathol.* 58 : 324-

331.

- 高垣真喜一・尾崎正美・藤本修一・福本俊一郎. 2014. 新規殺菌剤「ピリベンカルブ」の開発. 日本農薬学会誌. 39 : 121-126.
- 梅本清作・竹内妙子・長井雄治. 1984. 千葉県銚子地方におけるキャベツ菌核病の発生と防除. 千葉県農試研報. 25 : 9-17.
- Yin, Y., Ding, L., Liu, X., Yang, J. and Ma, Z. 2009. Detection of *Sclerotinia sclerotiorum* in Planta by a real-time PCR assay. J. Phytopathol. 157 : 465-469.
- 米山伸吾・根本久・上田康郎・都築司幸. 2005. 図説野菜の病気と害虫 伝染環・生活環と防除法. pp. 128-129. 農文協. 東京.

