

ダイコン白さび病・わっか症の特徴と薬剤防除

神奈川県農業技術センター 植 草 秀 敏

はじめに

海洋性の温暖な気候に恵まれた神奈川県三浦半島は、江戸時代より冬ダイコンの全国有数の産地である。1980年代に入って、それまで長年栽培されていた在来の三浦ダイコンから急速にとって代わって青首ダイコンの栽培が始まり、89年以降には栽培された冬ダイコンの99%以上が青首ダイコンになっている。

この変遷とともに三浦半島の冬ダイコン（12～1月収穫の作型）の根部に直径5～10mm程度の黒色のリング状斑紋が発生し問題となった。また、全国的にも同様な症状の発生が問題視され、1995年には本症状をダイコンわっか症と呼称することが提案された（わっか症検討会：野菜・茶業試験場主催）。その後、小林ら（1997）はダイコン白さび病菌がわっか症の原因菌と推察し、葉に形成した白さび病菌分生子を根部へ接種することで、白さび病菌の根部感染が本症を引き起こすことを明らかにした。

わっか症の防除対策に関しては、原因が白さび病菌とされる以前より、ジチアノン・銅水和剤（本病害に農薬登録はない）やTPN水和剤の散布が有効であることが知られていた（金磯，1995；1996；布川ら，1997）。原因が明らかとなった後は、卵菌類に効果のある薬剤を中心に選抜が行われ、近年は白さび病とわっか症に対し有効な農薬の適用が拡大されつつある。しかし、わっか症は出荷品質への影響が大きく、年により大きな被害が発生することから、現在も重要な病害の一つとなっている。そこで、引き続き様々な防除薬剤の選抜やそれら薬剤の使用適期の検討を行い、さらに種子伝染の防除や害虫との同時防除を目的にした検討も行っている。これらについていくつかの知見が得られたので紹介する。

I ダイコン白さび病とわっか症の薬剤による防除

1 各種農薬の防除効果

現在（2011年3月）、ダイコン白さび病とわっか症に登録のある農薬を表-1に示した。これら登録のための

薬効・薬害試験の一部を行い、現在もいくつかの農薬について試験を継続中である。これまで行った試験結果を簡単にまとめると、散布剤ではシアゾファミド水和剤、アゾキシストロビン水和剤、アゾキシストロビン・TPN水和剤、メタラキシル・TPN水和剤、メタラキシルM・TPN水和剤、メタラキシル・マンゼブ水和剤、シモキサニル・ファモキサドン水和剤、アミスルプロム水和剤およびトルフェンピラド乳剤が白さび病とわっか症ともに高い防除効果を示し、水酸化第二銅水和剤およびノニルフェノールスルホン酸水和剤も有効な薬剤と考えられた（植草ら，2007）。これらの農薬の効果は後章で詳しく述べる防除適期と判定された時期に散布することで評価を行った結果である。

一方、播種時の土壤施用農薬はメタラキシル粒剤とメタラキシル・アゾキシストロビン粒剤の薬効・薬害試験を行った。すでにメタラキシル粒剤は白さび病に登録があり、メタラキシル・アゾキシストロビン粒剤も白さび病の防除効果は高い結果であった。

一方、メタラキシル粒剤およびメタラキシル・アゾキシストロビン粒剤の播種時土壤施用による薬効・薬害試験では、両剤とも白さび病の防除効果は高かったが、わっか症に対する効果は年により大きく変動し、ほとんどの場合は散布剤よりも効果が劣っていた。これらの剤は後章で述べる本病の種子伝染の防除にも関係があると考えられ、わっか症に対する効果の変動についてはさらに検討する必要がある。

2 わっか症防除のための農薬散布適期

わっか症は葉の白さび病菌分生子が根部へ感染することで生じると推察され（小林・植草，1997）、葉に発生する白さび病を完全に防除できれば、わっか症を予防できると考えられる。しかし、ダイコンは葉菜類と違い、葉の白さび病は完全に防除されなくとも出荷品質には大きな影響がないので、栽培全期間で白さび病を防除するのは効率的ではない。また、省農薬防除法を確立するうえで、処理適期を明らかにすることは重要である。そこで、わっか症の発生抑制に有効な薬剤散布の適期を検討した。

3 方法

1998年～2003年の6年間にわたり9月上中旬播種の年内収穫作型のダイコンについて、TPN水和剤（1,000

Characterization and Chemical Control of White Rust and Black Ring Spot Symptom on Japanese Radish. By Hidetoshi UEKUSA

(キーワード：ダイコン、白さび病、わっか症、種子伝染、薬剤防除、防除適期)

表-1 ダイコン白さび病とわか症に登録のある農薬 (平成23年3月現在)

対象病害名	一般名	農薬名	使用時期・回数	使用量・使用倍率	使用法
白さび病	メタラキシル粒剤	リドミル粒剤2	播種時, 1回	9 kg/10 a	作糸土壌混和
	ノニルフェノールスルホン酸水和剤	ヨネボン水和剤	7日, 4回	500倍	散布
わか症	カスガマイシン・銅水和剤	カスミンボルドー カップパーシン水和剤	14日, 3回	1,000倍	散布
白さび病 わか症	TPN水和剤	ダコニール1000	45日, 3回	1,000倍	散布
	トルフェンピラド乳剤	ハチハチ乳剤	14日, 2回	1,000倍	散布
	アゾキシストロピン水和剤	アミスター20フロアブル	14日, 3回	2,000倍	散布
	シアゾファミド水和剤	ランマンフロアブル	3日, 3回	2,000倍	散布

表-2 ダイコンわか症に対する TPN 剤の散布時期による防除効果 (2003年)

散布薬剤 希釈倍率	間引き後薬剤処理までの日数 (月日)						白さび病		わか症	
	4日 (10/11)	7日 (10/14)	17日 (10/24)	28日 (11/4)	31日 (11/7)	38日 (11/14)	発病度*	防除値	発症数/本*	防除値
TPN 水和剤 1,000倍	TPN 剤	—	—	—	—	—	49.2	8.8	0.8	39.8
	—	TPN 剤	—	—	—	—	40.8	24.2	0.5	61.2
	—	—	TPN 剤	—	—	—	35.0	35.1	0.2	73.7
	—	—	—	TPN 剤	—	—	16.3	69.9	0.2	85.0
	—	—	—	—	TPN 剤	—	23.3	56.7	0.8	43.6
	—	—	—	—	—	TPN 剤	37.9	29.7	1.8	—
—	TPN 剤	TPN 剤	TPN 剤	—	—	8.3	84.5	0.0	100	
無処理	—	—	—	—	—	—	53.9	—	1.3	—

*: 白さび病発病度およびわか症の数/株の数値は1区30株3反復の平均値。

播種: 2003年9月16日 間引き: 10月7日。

倍)を間引き直後～40日後の間に1回だけ散布することで、どの時期の散布が発症抑制に最適となるかについて調査した。

4 結果と考察

わか症が一定以上発生した1998, 99, 2002, 03の4作の結果をまとめると、わか症はTPN水和剤を間引き7日後から30日後の間に相当する10月中旬～11月上旬に1回散布することで効果的に防除でき、特にこの間に3回散布を行った場合には、発生をほとんど抑制できる。このように、3回散布した場合は白さび病に対して防除効果は高いが、わか症に対しては初回散布よりも2, 3回目の散布が有効であった(2003年の結果を表-2に示す)。

本試験の冬ダイコン栽培における白さび病の初発生は10月中旬ごろに確認されることが多かった。TPN剤は

感染を予防する効果であると考えられるので、葉に白さび病の病徴が生じた後に散布するほうが、病徴発生以前に散布するよりもわか症には高い防除効果が得られるはずである。本試験の結果は、間引き後7日以降(10月中旬)に散布すると、間引き直後や間引き4日後(10月上旬)に散布した場合より高い防除効果が認められた。このことは、葉に形成された分生子の根部への感染阻止がわか症の防除に有効であることを示す。

小林・植草(1997)は白さび病の分生胞子を人工的にダイコン根部へ接種した場合、接種から発症まで少なくとも20～30日程度が必要であること、また、肥大が不十分なダイコンでは発症しないことを報告した。このことから現地で12月上旬の早期穫りダイコンに発生するわか症では11月中旬までには既に根部への白さび病菌の感染が生じていると考えられるため、わか症防除

にはこれよりも早い11月上旬（間引き後30日以前）にTPN剤を処理する必要があると考えられる。本試験の結果も、11月上旬（間引き後30日以前）の散布は11月中旬（間引き後30～40日ごろ）に散布した場合より高い防除効果が得られた。

以上の結果、わかか症の発症は、薬剤を間引き7～30日後（10月中旬～11月上旬）の間に散布することで、大きく低下することが明らかとなり、本症の防除のためにはこの時期を集中的に防除する必要性が考えられた（植草ら、2007）。

一方、TPN剤以外のいくつかの農薬を用いて防除適期検討を行ったところ、アゾキシストロピン水和剤とシアゾファミド水和剤についてはTPN剤の試験で示された適期を過ぎた後の使用でも収穫1か月程度前（11月中旬）であれば、わかか症の防除に一定の効果があつた（データ省略）。したがって、気象条件などにより予防の適期を逃した場合でも、わかか症の発生が懸念される場合には、治療的効果のある農薬を使用することである程度回避できる可能性はある。

II ダイコン白さび病の種子伝染

農薬による白さび病とわかか症の薬剤防除と防除適期について述べてきたが、今後さらにこれら病害を根本的に防ぐためには、圃場において初発を引き起こす1次感染源を絶つ方法も考えられる。

収穫期を過ぎた在圃のダイコンにおいて花茎や莢は大量の卵胞子を形成するが、葉の病斑やわかか症の根部組織では卵胞子の形成は確認されない。生産現場においては花茎の出ないうちに収穫や片付けが行われる。それゆえ、白さび病の1次感染は圃場に残された感染源よりも種子伝染による可能性が高いと考えられる。そこで本病

の防除に資する目的で、種子からの菌の検出と定量を試みた。

1 方法

(1) 白さび病菌検出PCRおよび定量PCR用プライマーの設計

卵菌類検出用の特異プライマー（杉村ら、2003）を用いて、葉の白さび病斑から採種した分生子から核rDNA領域の塩基配列を解析して（表-3）、ITS2の部分にダイコン白さび病菌検出用の特異プライマーALmFとALRを設計した。

(2) 市販種子からのDNA抽出と白さび病菌の検出

市販のダイコン種子を用いて、DNA抽出キット（Nucleon Phytopure GEヘルスケアバイオサイエンス社）に付属の抽出緩衝液5mlにダイコン種子を20粒浸漬し、振盪機で60分間攪拌後、種子を除いて緩衝液から定法でDNAを抽出し、PCRによる検出に用いた。

(3) 市販種子1個からのDNA抽出と白さび病菌の検出

種子を種皮と胚および胚乳に分けて、種皮のみビーズ破砕機（植物破砕用に5mmビーズ、菌類破砕用に0.8mmビーズ）では処理後、全DNAを前出のキットを用いて抽出し、PCRによる検出に用いた。

(4) 定量PCR

検出に用いたと同様のプライマーを用いて、インターカラー法（SYBR Green I）により定量PCRを行った。

2 結果と考察

プライマーの設計にあたり、葉の病斑より採集した分生子のrDNAのITS領域遺伝子（部分）の塩基配列を解析した。各種アブラナ科より分離された白さび病菌のものと比較したところ、韓国においてダイコンから分離された白さび病菌の配列と一致していた。また、わかか

表-3 ダイコン白さび病の病斑より採種した分生子から抽出した全DNAから卵菌類特異プライマーによりPCRで増幅したrDNA塩基配列と既報告の各種アブラナ科白さび病菌rDNA遺伝子（ITS1-5.8S-ITS2部分）塩基配列の比較

発生地	宿主	塩基配列の相同性 (%)	配列登録番号
英国	(キャベツ) <i>Brassica oleracea</i>	99.1	AF241768
韓国	(ダイコン) <i>Raphanus sativus</i>	100	AY929843
韓国	ナタネ <i>Brassica campestris</i>	98.6	DQ418495
韓国	ムラサキナズナ <i>Aubrieta deltoidea</i>	99.4	DQ418500
韓国	ウスユキナズナ <i>Berteroa incana</i>	99.4	DQ418495
韓国	ルッコラ <i>Eruca sativa</i>	98.6	DQ418503
平塚	根部（わかか症組織） <i>Raphanus sativus</i> var. <i>horensis</i>	100	—
平塚	葉（病斑分生子） <i>Raphanus sativus</i> var. <i>horensis</i>	—	—

症の病斑部組織から抽出した全 DNA から PCR により増幅した rDNA の ITS 領域遺伝子の塩基配列は葉の病斑から採集した分生子の配列と一致していた (表-3)。

核酸抽出キット緩衝液中で種子を振盪して抽出した DNA からの PCR 検出を行ったところ、供試した‘青さかり’、‘耐病総太り’、‘龍神三浦二号’3 品種すべてから目的の DNA 断片が増幅された (図-1)。

‘青さかり’と‘耐病総太り’の種子それぞれ8粒を1粒ずつ別々に種皮から全 DNA を抽出して、検定を行ったところ、‘青さかり’はすべての種子から‘耐病総太り’は2粒から白さび病菌が検出された (図-2)。

‘青さかり’と‘耐病総太り’(平成18年採種)2 品種と‘健志総太り’、‘YR てんぐ’、‘早太り聖護院’、‘秋いち’、‘YR くらま’、‘龍神三浦二号’、‘おこのみ’、‘あきしの’8 品種 (平成8年採種、小林らが1998年に報告した品種の白さび病感受性試験に用いたのと同じロットの種子) を用いて、種子の白さび病菌の定量 PCR による検出を行った。

‘秋いち’、‘青さかり’、‘YR てんぐ’の順で白さび病菌の DNA 量が多かった。この3品種以外は、種子1個あたりの DNA 量 (4 個の種子の平均) は分生子に換算して1個前後であり、検出の有無は誤差範囲であるかもし

れない。

白さび病に対する各品種の感受性 (小林ら, 1998) と比較した場合、感受性の高かった‘秋いち’と‘YR てんぐ’については白さび病菌の DNA 量が多かった。感受性が中程度以下の品種ではいずれも DNA 量が少ないグループであった (表-4)。白さび病菌に対する感受性とその種子から検出される白さび病菌の DNA 量については相関が認められた。

III 薬剤による種子伝染の防除

圃場のダイコンで発生する白さび病のすべての1次感染源とは限らないが、本病が種子伝染していることは間違いないと思われる。メタラキシル粒剤やメタラキシル・アゾキシストロピン粒剤の効果は、播種時に土壌処理することで種子伝染を防いでいるのかもしれない。しかし、これらの剤は茎葉に浸透移行して風媒・水媒伝染からの感染を防ぐこともできる。そこで、浸透移行しな

表-4 異なるダイコン品種の種子から抽出した全 DNA を鋳型にした定量 PCR による白さび病菌 DNA 量と白さび病感受性

品種名	種子1個あたりの DNA 量を分生子数に換算 ²⁾	栽培試験による白さび病に対する感受性程度 ³⁾
健志総太り	1.1	中
YR てんぐ	5.4	高
早太り聖護院	1.2	低
秋いち	32.7	高
YR くらま	1.2	低
龍神三浦2号	0.7	低
おこのみ	0.5	低
あきしの	0.9	低
-----	-----	-----
青さかり	10.3	—
耐病総太り	1.1	—

²⁾ : DNA 量は分生子 1.33×10^5 から DNA を抽出して 1 ml に懸濁し、この濃度から検量線を作成した。

³⁾ : 「ダイコン白さび病およびわか病に対する感受性の品種間差」(小林ら 1998) から引用。

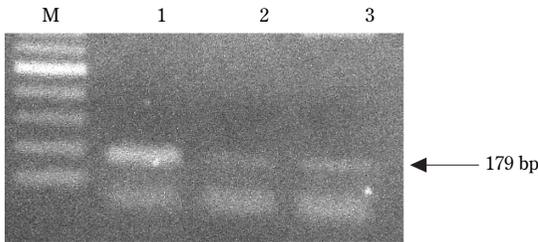


図-1 3 品種の購入ダイコン種子 (20 粒) を DNA 抽出緩衝液で洗浄して抽出した全 DNA を鋳型にし、白さび病菌特異プライマーを用いて行った PCR の増幅 DNA 産物

1: ‘青さかり’(みかど種苗), 2: ‘龍神三浦’(サカタのタネ), 3: 耐病総太り (タキイ種苗), M: 100 bp ラダーマーカー。

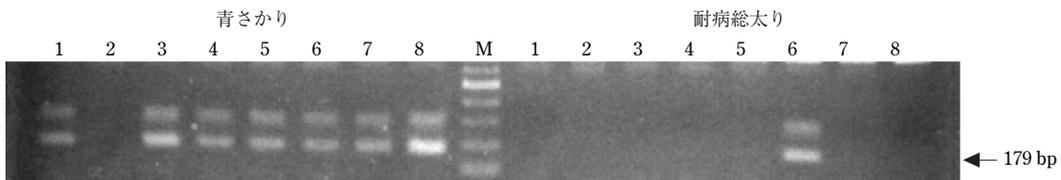


図-2 ダイコン市販品種 (‘青さかり’, 耐病総太りの8粒ずつ) 種子1粒の種皮から抽出した全 DNA を鋳型にし、白さび病菌特異プライマーを用いて行った PCR の増幅 DNA 産物
M: 100 bp マーカー。

表-5 アミスルブロムコーティング種子のダイコン白さび病とわっか症に対する防除効果

区	10月25日調査			11月16日調査					12月10日収穫調査						
	白さび病			白さび病					白さび病			わっか症			
	発病度	平均	防除価	(古い病斑)*		全病斑			発病度	平均	防除価	個数/株	平均	防除価	
				発病度	平均	発病度	平均	防除価							
アミスルブロム コーティング種子	I	2.5										2.5			
	II	0.0	1.3	93.2	(37.5)	(30.5)	78.4	68.4	21.6	53.4	64.7	13.7	1.9	1.5	78.3
	III	1.3			(15.0)		52.8			73.4			0.2		
無処理 種子	I	15.0			(37.8)		80.0			65.6			10.2		
	II	27.5	19.2	—	(70.0)	(61.3)	87.5	87.2	—	65.6	75.0	—	2.7	6.8	—
	III	15.0			(75.9)		94.2			93.7			7.7		

*：参考に古い病斑の測定を行った（表皮が破れ分生子が飛散した後の古いと思われる病斑）。

2010年9月13日播種 間引き10月4日。

発病指数 0：病斑なし，1：4葉全体で1～5個病斑が認められる，2：4葉全体で6個以上～局部的に多数の病斑が認められる，3：2～3葉に多数の病斑が認められる，4：4葉とも多数の病斑が認められる。発病度 = $100 \times \Sigma$ （程度別発病株数×発病指数）/（4×調査株数）。

いと考えられているアミスルブロムを種子コーティングして白さび病・わっか症の防除試験を行った。

1 方法

2009年採種の‘青さかり’種子を用いて，一部種子にアミスルブロムを50%含む種子処理専用製剤を，5 ml/100 g 種子の割合で，専用の処理装置にて均一にコーティング処理した。同ロットの無処理種子を対照とし，圃場で白さび病とわっか症に対する薬剤試験を行った。

2 結果と考察

無処理区を含む狭い区画で試験を行ったため，葉の病斑の分生子による2次感染の影響は解析できないが，少なくとも卵菌類に有効な薬剤を種子コーティングすることで，初期の白さび病の発生と初期病斑分生子の感染によって生じるわっか症を抑えることができた（表-5）。この結果は圃場における白さび病の初発生が種子伝染により発生する可能性並びに，種子伝染を抑え圃場全体の菌密度を減らすことで，白さび病とわっか症を防除できる可能性を示唆した。

おわりに

これまでの試験事例に加えて，トルフェンピラド乳剤

を用いて白さび病・わっか症とナモグリバエの同時防除を目的とした散布適期についても検討している（大矢ら，2010）。年内どり作型のダイコンでは散布時期やその他の農薬との体系化も出来上がりつつある。近年，三浦半島地域のアブラナ科野菜で防除対策が欠かせなくなっているナモグリバエの防除と同時にわっか症防除もできれば省力・省農薬になる。種子消毒や同時防除等の様々なアプローチで本病害の対策にあたることでダイコンの生産安定に役立てたい。

引用文献

- 1) 金磯泰雄 (1995)：四国植防 30：57～63.
- 2) ——— (1996)：植物防疫 50：417～421.
- 3) 小林正伸ら (1997)：関東病虫研報 44：49～52.
- 4) ———ら (1998)：同上 45：57～59.
- 5) ———・植草秀敏 (1997)：植物防疫 51：557～559.
- 6) 布川美紀ら (1997)：関東病虫研報 44：53～55.
- 7) 大矢武志ら (2010)：同上（要旨）57：144.
- 8) 杉村輝彦ら (2003)：奈良農技セ研報 34：25～30.
- 9) 植草秀敏ら (2007)：神奈川農技セ研報 149：23～33.