

ブロッコリーべと病の発生と防除

鳥取県農政課普及技術指導室 佐 古 勇

はじめに

ブロッコリー (*Brassica oleracea* L.var. *italica* Plen) は、カリフラワーと同じ種類の野菜でキャベツの変種である。ビタミンC、カロチン、ビタミンB₂、カリウム、カルシウムなどが豊富で、食物繊維が多いので健康野菜として関心が高い。

栽培面積は、鳥取県においても最近増加傾向にある。周年栽培の傾向が強まり、圃場では初夏どりおよび秋冬どりの年2回の栽培が行われるようになるとともに、作型が多様化し収穫期間が長くなっている。特に秋冬どり栽培では早生栽培、中生栽培、中晩生栽培へと収穫期間が広がってきた。早生栽培は7月上旬から下旬に播種、8月中旬から下旬に植付け、10月上旬から11月中旬までに収穫する。中生栽培では7月中旬から下旬に播種、8月中旬から下旬に植付け、10月下旬から12月中旬までに収穫する。中晩生栽培では、8月上旬から中旬に播種、9月上旬から中旬に植付け、12月下旬から3月まで収穫する作型である。

これまで葉にべと病が発生することは知られていたが、鳥取県においては花蕾頭部および花柄（主枝）に黒褐色変の症状は認められていなかった。しかし、中晩生品種の栽培が拡大してきた1999年頃から花蕾にべと病が多発するようになった。葉に発生するべと病を対象とした無機銅剤、有機銅剤などによる防除を行っているにもかかわらず、12～3月に収穫する中晩生品種の花蕾の頭部および主枝に黒褐色変症状が発生し、商品とされない花蕾が多発するようになった。発生花蕾率は平均20～30%にもなり、2000年、および2001年には壊滅的な被害を受けて全滅する圃場もみられた。発病した花蕾は出荷できないため被害は極めて甚大であり、産地からは早急な防除対策が強く求められた。そこで、最重要病害の一つに挙げられている花蕾に発生するべと病の防除対策に取り組み、その成果の一部は既に発表してきた（佐古ら、2003）。その後いくつかの試験を試みることで

防除法を明らかにすることができた。ここではその概要を記することとする。

I 病 徴

葉に発生するべと病は育苗期間中からみられる。育苗中の下葉からの発生は、葉表面に黄褐色の病斑を形成する。葉裏には汚斑白色、霜状のかびを密生する（佐藤ら、1991）。育苗はビニルハウス内で行われる場合が多いが、3～4月および9月に多雨のとき発生しやすい。ひとたび発生すると激発することが多く、被害は感染苗が本圃に持ち込まれるために大きくなる。本圃では3～5月および10～11月に葉表面に黄褐色の病斑を形成する。病斑形成とともに葉裏にかびが霜状に生じるのがみられる。9月中下旬以降に発病の適温となるが、株の生育が進んでいるため葉に発病するだけでは被害は少ない。

一方、花蕾に発生するべと病の初期病徴は、初め水浸状、後に黒褐色不整形の斑点を生じるようになる。発生する部位は、花蕾直下の主枝の部分に発生する場合、あるいは多くの側性花序を形成するブロッコリーの第一次花序の花柄に発生する（口絵写真①）。これらの黒褐色変症状は、収穫時に初めて症状に気づくことが多い。症状が激しいと花蕾の奇形、褐変がみられる。その他に花蕾の頭部付近の二次花序の花柄、花芽に発生する黒褐色変症状もある（口絵写真②）。花蕾に症状が認められる時期であっても葉の発病は下位の1～3葉位に限られ、上位葉に症状は認められない。花蕾に発生するべと病の発生は、鳥取県においては12月および3月に収穫する花蕾に多発する。その間、1月から2月中旬までに収穫する花蕾への発生は比較的少ない。

II 花蕾に発生するべと病の診断

花蕾に発生する黒褐色変症状の診断には、花蕾主枝（または花柄）の黒褐色変部を水平に切断し、ビニール袋に入れ、袋の上部を封じて湿室に保ち15℃、蛍光灯照明された恒温室に置く。4～5日後に切り口から分生胞子が多数形成しているのが観察される。黒褐色変した主枝表面に比べて切断面の褐変部分から分生胞子が多数形成され、純白の霜状のかびを密生したようにみえる。分生胞子梗は数回又状に分岐し、その先端に分生胞子を形成す

Ecology and Fungicidal Control of Downy Mildew on Broccoli Heads. By Isamu SAKO

(キーワード: ブロッコリー, べと病, 花蕾, 防除, *Peronospora parasitica* (Persoon : Fries) Fries)

表-1 ベと病に対する防除薬剤の選定^{a)}

供試薬剤	希数倍数	散布7日後				散布14日後				薬害
		調査葉数	発病率(%)	発病度	防除価	調査葉数	発病率(%)	発病度	防除価	
メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000	300	4.0	1.4	95.0	310	0.8	0.3	99.2	—
ジメトモルフ・塩基性塩化銅水和剤	600	200	29.0	12.3	55.9	300	17.7	6.1	82.1	±
シアゾファミド水和剤 (フロアブル)	2,000	300	33.7	17.4	37.6	280	54.0	22.2	34.8	—
シモキサニル・マンゼブ水和剤	1,000	300	20.3	7.6	72.8	460	42.2	16.8	50.7	—
カスガマイシン・塩基性塩化銅水和剤	1,000	300	21.3	10.8	61.3	240	57.1	24.0	29.7	±
塩基性硫酸銅水和剤	500	300	32.7	18.1	35.1	300	62.6	29.7	12.9	±
有機銅水和剤 (フロアブル)	1,000	300	50.7	27.8	2.5	170	64.9	28.4	16.5	±
無処理		300	51.3	27.9		360	69.7	34.1		

^{a)} 調査葉数は3区合計値、ほかは3区平均値。

る。分生胞子は円形、楕円形で大きさ22～30×21～28μmであった(口絵写真③)。

また、罹病部組織の黒褐変部を顕微鏡観察すると、褐変細胞近傍に貫入菌糸および吸器が観察される(口絵写真④)。細胞内吸器の特徴は(OHGUCHI and ASADA, 1991)、若い吸器は徳利形で、頸部が細く、胴の部分が広がっている。成熟すると先端で二つに分岐する。アブラナ科に寄生するべと病菌の細胞内吸器の特徴と一致していた。

以上の分生胞子、分生胞子梗の形態および吸器の特徴などから、本症状はべと病菌 *Peronospora parasitica* (Persoon : Fries) Fries によると診断された。

なお、べと病と類似している花蕾の主茎、あるいは頭部にみられる症状にホウ素欠乏症および黒腐病がある。ホウ素欠乏症状は葉柄、主枝に赤褐色のかさぶた症状がみられる。また、酒井(1998)の報告した黒腐病は *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* による花蕾の主枝に淡黒色の小斑点を生じる細菌病であり、黒変は皮層部の浅い部分にとどまることが多い。べと病では両者と異なり、主枝の黒褐変部から分生胞子が形成されること、褐変細胞近傍に貫入菌糸およびアブラナ科べと病菌特有の吸器が観察されることから明瞭に判別できる。

III 薬剤防除法

1 防除薬剤の選定

ブロッコリーべと病を対象にした登録適用薬剤は現在ないので、登録適用拡大のために準備をする必要がある。そこで、べと病の防除薬剤として広く用いられている薬剤およびブロッコリーに適用のある薬剤について、葉に発生するべと病に対する発病抑制効果を検討した。

試験は2002年3月23日、品種‘ピクセル’を植え付け

た圃場を用い、5月9日、5月16日、5月23日の合計3回、各種薬剤を散布した。発病調査は、発病初期から3回散布した後に各区中央の10株について下位から中位葉の発病の有無を調査し発病率を算出した。なお、以下の薬剤試験も含めて散布葉量は10a当たり250lとし、各薬液には展着剤ミックスパワー2,000倍を加用した。

薬剤はメタラキシル10%・マンゼブ55%水和剤、ジメトモルフ15%・塩基性塩化銅58.8%水和剤、シアゾファミド9.4%水和剤(フロアブル)、シモキサニル12%・マンゼブ65%水和剤、カスガマイシン5.7%・塩基性塩化銅75.6%水和剤、塩基性硫酸銅58%水和剤、および有機銅35%水和剤(フロアブル)の合計7薬剤について比較した(表-1)。

その結果、メタラキシル・マンゼブ水和剤、ジメトモルフ・塩基性塩化銅水和剤、シモキサニル・マンゼブ水和剤、およびカスガマイシン・塩基性塩化銅水和剤の4薬剤には発病抑制効果が認められた。この中でメタラキシル・マンゼブ水和剤が最も発病抑制効果が高く、残効性のある薬剤であると考えられた。

一方、発病後の散布試験の条件下で、シアゾファミド剤、塩基性硫酸銅剤および有機銅剤の予防が効果主体の薬剤については、発病低減効果が劣っていた。なお、表に示す4薬剤には葉に褐色小斑点の生じる軽微な薬害がみられた。

2 花蕾に発生するべと病の薬剤防除適期

葉に発生するべと病に有効な薬剤を、いつ散布すれば花蕾に発生するべと病の発生を抑制できるかを検討した。

試験は2002年9月8日、品種‘ゆめ’を植え付けた圃場を用い、10月または11月に各4回散布した。発病調

表-2 花蕾に発生するべと病の薬剤防除適期^{a)}

供試薬剤	希数倍数	10月散布	11月散布	発病業率 (%)	防除価	調査花蕾数	発病花蕾率 (%)	防除価
メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000	○ ^{b)}		2.8	93.5	20	0.0	100
メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000		□ ^{c)}	5.0	88.5	20	0.0	100
シアゾファミド水和剤 (フロアブル)	2,000	○		40.0	7.6	20	80.0	5.9
シアゾファミド水和剤 (フロアブル)	2,000		□	16.8	61.2	20	50.0	41.2
シモキサニル・マンゼブ水和剤	1,000	○		26.7	38.3	20	50.0	41.2
シモキサニル・マンゼブ水和剤	1,000		□	5.0	88.4	20	15.0	82.3
塩基性硫酸銅水和剤	500	○		46.7	—	20	55.0	35.3
塩基性硫酸銅水和剤	500		□	38.3	11.5	20	25.0	70.6
シモキサニル・マンゼブ水和剤 + 塩基性硫酸銅水和剤	1,000 500	△ ^{d)}	△	11.4	73.7	40	10.0	88.2
無処理				43.3		20	85.0	

^{a)} 調査花蕾数は2区合計値, ほかは2区平均値. ^{b)} 表中○の10月散布は10/4, 10/11, 10/18, 10/28の合計4回. ^{c)} 表中□の11月散布は11/4, 11/13, 11/20, 11/27の合計4回. ^{d)} 表中△は10/11, 10/18, 10/28, 11/20, 11/27, 12/5の合計6回散布.

査は、収穫時の2003年2月20日、各区中央の10株について下位から中位葉の発病の有無を調査し発病業率を算出した。また、花蕾の黒褐色斑点の有無を調査し発病花蕾率を算出した。

無処理区では2月から高率に花蕾の発病がみられたが、葉に発生するべと病に対して最も有効であったメタラキシル・マンゼブ水和剤は、10月、11月のいずれの散布時期においても収穫時まで葉の発病を抑制し、その後、収穫時まで花蕾の発病は全く認められなかった(表-2)。

一方、予防を主体とするシアゾファミド水和剤、シモキサニル・マンゼブ水和剤、および塩基性硫酸銅水和剤の各薬剤は、散布期間中の花蕾部に発病は認められない試験条件下で11月散布は、10月散布に比較して収穫時の葉の発病および花蕾の発病は少なかった。このことは10月に比べて11月は感染の機会が多いことを意味すると思われる。さらに、シモキサニル・マンゼブ水和剤を10月に散布後、塩基性硫酸銅水和剤を11月に散布した場合には、花蕾の発病をかなり低率に抑制できたことから、花蕾への感染最盛期は11月であると推察された。

3 亜リン酸肥料による発病抑制

育苗期の薬剤散布は苗に葉害が発生しやすいこと、登録適用拡大を予定している薬剤の残留農薬基準値を配慮し使用回数を制限する必要がある。また、登録適用拡大にはある程度の期間を必要とすることなどから、その間に使用可能な資材として亜リン酸肥料の発病抑制効果についても検討した。

試験は、初夏どりブロッコリー栽培のセルトレイ育苗

表-3 亜リン酸肥料による育苗期間中に発生するべと病の防除^{a)}

資材名	希数倍数	調査葉数	発病業率 (%)	胞子形成業率 (%)	防除価	葉害
亜リン酸肥料 (4-30-16)	1,000	60	33.3	18.3	66.7	—
亜リン酸肥料 (3-19-20)	1,000	60	18.3	5.0	81.7	—
亜リン酸肥料 (0-28-26)	1,000	60	13.3	5.0	86.7	—
無処理		60	100.0	100.0		

^{a)} 発病初期から2回散布。調査葉数は3区合計値。ほかは3区平均値を示す。防除価は発病業率から算出した。

(32×62 cm, 220穴)した苗に発生したべと病を対象に行った。品種として‘緑帝’を用い、ビニルハウス内の育苗床に2003年2月6日播種した。亜リン酸肥料は3月18日(初発生)、および3月22日の合計2回、所定濃度の液を散布した。調査は2回目散布4日後の3月26日、各区中央の20株、1株当たり2葉の上位葉について発病および葉裏の分生胞子形成の有無を調査した。

その結果を表-3に示した。N-P-K成分比率の異なる3種類のうち、亜リン酸肥料(0-28-26)が発病を最も抑制し、新葉へのまん延および胞子形成を抑制した。N-P-K成分と発病抑制効果には明瞭な関係は認められなかったが、N成分が少なく、K成分の多い亜リン酸肥料が発病抑制効果が高い結果となった。葉害は散布4日前後の肉眼による葉の調査を実施したが、いずれの肥

表-4 亜リン酸肥料を組み入れた防除体系による花蕾に発生するべと病の防除効果^{a)}

No.	育苗期散布剤	植付け圃場散布剤	希釈 倍数	圃場散布時期	調査 花蕾数	発病 花蕾率 (%)	防除価
1	亜リン酸肥料 (0-28-26)	メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000	10/16, 10/25, 11/6	30	0.0	100
2	亜リン酸肥料 (0-28-26)	メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000	10/16, 10/25	30	0.0	100
3	亜リン酸肥料 (0-28-26)	メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000	11/6, 11/16	30	3.3	87.6
4	亜リン酸肥料 (0-28-26)	メタラキシル・マンゼブ水和剤 +亜リン酸肥料 (0-28-26)	1,000	10/16 10/25, 11/6	30	10.0	62.5
5	メタラキシル・マンゼブ水和剤	メタラキシル・マンゼブ水和剤	1,000	10/16, 10/25	30	0.0	100
6	メタラキシル・マンゼブ水和剤	メタラキシル・マンゼブ水和剤 +亜リン酸肥料 (0-28-26)	1,000	10/16 10/25, 11/6	30	10.0	62.5
7	メタラキシル・マンゼブ水和剤	亜リン酸肥料 (0-28-26)	1,000	10/16, 10/25, 11/6, 11/16	30	0.0	100
8	無処理	無処理			30	26.7	

^{a)} 調査花蕾数は3区合計値, 発病花蕾率は3区平均値。

料についても認められなかった。

4 薬剤および資材による体系防除

中晩生品種を栽培する作型では、育苗の後期にはべと病の発生がみられることが多い。そこで、メタラキシル・マンゼブ水和剤、または亜リン酸肥料 (0-28-26) を育苗期間および植付け本圃のプロッコリー茎葉に散布し、花蕾に発生するべと病に対する発病抑制効果を検討した。また、発病前からの亜リン酸肥料散布がべと病の発生を抑制する効果があるか否かは、体系防除の中で検討することにした。

試験は2003年8月7日、品種‘エンデバー’を播種し、セルトレイ育苗した後、9月13日に植え付けた圃場を用いた。育苗期間中にメタラキシル・マンゼブ水和剤は9月12日、亜リン酸肥料 (0-28-26) は8月30日、9月6日の2回散布した。植付け後は10月から11月にメタラキシル・マンゼブ水和剤または亜リン酸肥料 (0-28-26) を散布する体系防除区を設けた。発病調査は、収穫時の2003年12月14日、各区中央の10株について、花蕾の黒褐色斑点の有無を調査し発病花蕾率を算出した。

本試験において、育苗期間中の葉にべと病の発生は認められなかった。また、10月中旬まで葉にべと病の発生を認められなかった。したがって、メタラキシル・マンゼブ水和剤、および亜リン酸肥料 (0-28-26) の育苗中の発病前からの散布効果については評価できなかった。

本圃での散布試験において、無処理区では12月から高率に花蕾への発病がみられたが、メタラキシル・マンゼブ水和剤の10月中旬からの2~3回の散布によって

収穫時の花蕾に発病はまったく認められなかった (表-4)。しかしながら、10月中旬の1回散布、あるいは11月の2回散布では十分な発病抑制効果は得られなかった。

一方、亜リン酸肥料 (0-28-26) の2回散布は、メタラキシル・マンゼブ水和剤の1回散布との組み合わせ散布では十分な発病抑制効果は認められなかった。しかし、亜リン酸肥料 (0-28-26) を10月中旬から連続して4回散布すると、発病は全く認められなかった。発病前から発病適期に連続した散布をすることで、高い発病抑制効果が得られた。

IV 発生生態と薬剤防除

1 花蕾への感染・発病

本間・本宮 (1993) によるとプロッコリー葉の場合は15℃、45時間以内の濡れ時間で感染、発病することが報告されている。また、葉上の分生胞子の発芽適温は7~13℃で、病気の進展は10~15℃の比較的低温のときに最も激しい。

秋期の10月から11月は葉の場合と同様に、花蕾への感染時期と考えられる。鳥取県の秋期の気象条件をみると、11月は10月に比べて降雨が多く、また、夜露で植物体が濡れている時間が長い。また、11月の最低気温は7℃前後、最高気温15℃であり発病適温の範囲にあることなどから、花蕾の感染・発病条件として11月は10月に比べて好適と考えられる。

葉に形成された分生胞子は風に運ばれて上位葉表面に到達すると、茎葉の形状から雨水は花蕾の主枝に流れるため、分生胞子は花蕾および近傍の主枝に到達しやすい。

感染には植物体の濡れ時間が重要な要因となり、分生胞子は水分を得て発芽し、表皮細胞の縫合部から侵入して花蕾の主枝に感染・発病すると推察される。生育初期～中期にかけて外葉の葉身部には病徴はそれほどみられないことが多いにもかかわらず、花蕾に発生する黒褐色部位は、花蕾直下の主枝で葉柄に水滴が流れるような部分、あるいは第一次花序の花柄部など濡れ時間が長い部分に発生しているのが観察されると符合しているように思われる。

感染後は茎の組織内へ菌糸が侵入して花蕾あるいは主枝表面に黒褐色症状が現れるまでの潜伏期間には、気温による差異があると考えられる。12月収穫の作型では収穫時まで病斑が急激に拡大するが、1～2月および3月収穫の作型では病徴が発現するまでに時間を要すると思われる。

2 薬剤防除の考え方

薬剤防除では農薬をそれほど頻繁に使用して防除する必要はないことが明らかになった。10月に葉の発病を低率に抑制して分生胞子の飛散を抑制しながら、11月には花蕾の主枝表面で分生胞子の発芽、感染を抑制することを目的に薬剤散布を行うことが必要であると考えられる。

効率的に防除するためには、10月の生育初期からの葉に対する発病抑制効果の高い薬剤の散布が適当と考えられた。栽培はセルトレイで育苗、圃場では株間は35 cm、畦幅70 cmの栽植密度で栽培される。栽植密度が高い状態で外葉、下葉が互いに重なり合うために薬剤が十分に株元および下葉に到達しにくい。また、花蕾の直下の主枝部は薬剤が付着しにくい部分である。このような条件下では、感染前からメタラキシル・マンゼブ水和剤による予防散布が効率的である。メタラキシル・マンゼブ水和剤は予防効果および治療効果を併せもち、植物の茎葉部から速やかに吸収されて新葉へ移行し、処理後伸長した茎葉部への菌の侵入も阻止する。植物体内に急速に浸透し、上方および下方へも移行し、長期間効果を持続させることができる。ただし、予防効果および治療効果（浸透移行性）に優れる薬剤であっても、11月散布では花蕾、および主枝に多少の発病がみられることがある。べと病に対して病原菌が侵入、感染後では十分な効果は期待できない。

一方、予防防除を主体とした薬剤を利用するとき、無機銅剤による防除効果は、生育初期からの散布回数が多くなれば発病程度は低くなる。しかし、連続散布では銅

剤の特有の薬害症状が認められ、ブロッコリーの商品性に影響を及ぼす。そこで、シモキサニル・マンゼブ水和剤を10月に散布後、塩基性硫酸銅水和剤を11月に散布した場合、あるいは亜リン酸肥料を10月から11月に連続散布すると花蕾の発病を低率に抑制でき、薬害の発生も認められない。

鳥取県では農薬の適正使用のために経過措置承認され、本圃でメタラキシル・マンゼブ水和剤が使用可能であり、さらに、農薬以外の資材を用いた防除についても検討し、育苗期間は亜リン酸肥料を散布することを指導した。その結果、2003年度産のブロッコリーには花蕾に発生するべと病は全く問題とならなかった。現在、メタラキシル・マンゼブ水和剤の登録適用拡大に向けてメーカーなどの協力を得ながら準備を進めているところである。

おわりに

ブロッコリーべと病は、鳥取県と同様にほかの主要な産地においても花蕾の黒褐色変症状の発生が重要問題となっている。中晩生品種の栽培は季節的には比較的低温・多湿のときであり、べと病の多発しやすい条件にある。産地に適合した耐病性品種の育成・導入も必要である。また、薬剤だけに頼った防除対策は耐性菌の発達などの懸念もある。降雨後に速やかに圃場に入れるように排水対策を行い、肥料が切れると発病しやすくなるので、肥培管理に注意するなどの耕種的な防除対策が必要不可欠である。

花蕾の主枝への病徴再現試験の実施、花蕾への感染と発病の条件、花蕾の主枝に発生するべと病の潜伏期間など不明な点が多い。本病の発生生態について明らかにすることは、病原菌の伝染源密度を低下させて薬剤の使用回数を必要最小限にするなどの効率的な防除、環境保全型農薬管理技術の確立のために重要な課題である。

なお、薬剤試験の実施に当たり圃場を提供していただいた鳥取県大山町および中山町の生産者にはご理解とご協力をいただいた。また、薬剤試験の一部は鳥取西部農協、鳥取県西伯農業改良普及所、および鳥取県園芸試験場の職員に協力を得た。ここに厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 本間宏基・本宮正樹 (1993) : 関東病虫研報 40: 73 ~ 75.
- 2) OHGUCHI, T. and Y. ASADA (1991) : Ann. Phytopath. Soc. Jpn. 57 : 1 ~ 8.
- 3) 酒井和彦 (1998) : 関東病虫研報 45: 51 ~ 55.
- 4) 佐古 勇ら (2003) : 日植病報 69(3) : 272 (講要).
- 5) 佐藤 衛ら (1991) : 関西病虫研報 33: 67 ~ 68.