

花蕾に発症するブロッコリーべと病の防除

埼玉県農林総合研究センター ^{みねぎし} ^{なおこ} ^{のだ} ^{さとし}
峯岸 直子・野田 聡

はじめに

2002年および03年に、埼玉県北部を中心とした秋冬穫りブロッコリーで、花蕾の黒褐変症状が発生した。発生の当初は原因がわからず、調査が続けられたが、その後、被害株の観察時に特徴的な標徴が検鏡され、通常は下葉や幼苗に発生することが多いブロッコリーべと病の病原菌 (*Peronospora parasitica*) が花蕾に感染して生じた症状であることが判明した。本症状は、黒褐変が軽微な場合は外観からは判別できないため、発病に気付かず出荷して市場や販売店から指摘される場合や、発病が激しく圃場全体が壊滅的被害となる場合などがあり、生産者にとって大きな問題となった。そこで、本病の発生生態および多発生要因を検討し、耐病性品種の利用、肥培管理等の耕種的防除と薬剤散布を組み合わせた総合的な防除体系を確立するため、2005～06年に試験を実施した。本稿では、その概要を紹介する。

I 病徴

花蕾では、初期または発病が軽微な場合、外観では発病していることが見分けられない。花蕾を切断して観察すると、花蕾直下の主茎の部分あるいは多くの分岐した花柄に、水浸状、のちに黒褐色不整形の微小な病斑を生じる。

発病が激しい場合は、黒変部分が拡大し、花柄や主茎の内部まで変色が進んで組織が崩壊し、重症の株では花蕾全体が奇形になったり、花蕾の外側まで変色したりする。

そのほか、花蕾の頭部付近の細かく分かれた花柄や花芽に黒褐変症状が見られることもある。

II 発生消長

ブロッコリーべと病の発生消長を明らかにするため、2005年9月2日定植のブロッコリー（品種：ハートランド）を供試し、9月24日、10月3日および10月14日に分生子懸濁液を株全体に噴霧接種した。10月上旬以降10日間隔に発病葉数を調査した。また、一部株について花蕾を分解し、発病を程度別に調査した。

分生子接種株における葉の発病は、3時期の接種とも、接種7～8日後の下葉に認められた。年内穫りの作型お

よび年内～年明け穫りの作型とも、接種後の発病葉数のピークは接種時期にかかわらず10月下旬～11月上旬であった（表-1, 2）。その後、下葉の脱落により発病葉数は次第に減少した。

花蕾の発病は、年内穫りの作型では接種時期が早いほど発病率および発病度が高かった（表-1）。これは、早い時期の接種株ほど発病葉の病斑面積が大きく、したがって形成される分生子数が多く、花蕾の感染機会が高まるためと推察された。

III 発病の品種間差異

2005年9月2日および9月14日定植のブロッコリーを供試し、9月24日に分生子懸濁液を株全体に噴霧接種した。10月上旬～12月上旬の発病葉数と、収穫期の花蕾の発病を調査した（表-3, 4）。ブロッコリー花蕾への感染源は葉の病斑に形成されたべと病菌の分生子と推察されるが、葉の発病が多い品種・系統と花蕾発病が多いものとは必ずしも一致せず、例えば‘緑嶺’や‘グリーンパール’は葉の発病が比較的多かったが、花蕾の発病は認められなかった。ブロッコリーの本病菌に対する感受性のメカニズムは、葉と花蕾で異なる可能性があるとして推察された。

試験に供試した品種・系統は、JA全農さいたまの品種展示圃に提供されたものの一部とほぼ同じである。ブロッコリーの花蕾は低温などによりアントシアンが強く発現し紫色を呈する場合がある。花蕾発病が多発生して問題になった2003年ごろは、アントシアンが出にくい品種が流通関係者により高く評価されたため、主要品種として栽培される傾向にあった。「アントシアンが出にくい品種群の中に花蕾発病が多いものが含まれる」と言い切ることはできないが、何らかの関連があると考えられ、調査結果を表中に示した（表-3, 4）。

なお、試験種子の供給について種苗メーカー各社およびJA全農さいたまに御協力をいただいた。ここで誌面を借りて関係各位に感謝申し上げる。

IV 発病を助長する要因

1 作物体の濡れ

灌水などで発病を助長した圃場試験（2006年）の結果を表-5に示した。ブロッコリーべと病の葉の発病は③（頭上灌水+被覆）区が最も多く、次いで②（頭上灌水）区が多かった。また、花蕾発病株率も③（頭上灌水+被覆）区が最も高く、次いで②（頭上灌水）区が高

Control of Downy Mildew on Broccoli Heads. By Naoko MINEGISHI and Satoshi NODA

（キーワード：ブロッコリー、ブロッコリーべと病、花蕾、防除、*Peronospora parasitica*）

表-1 年内穫り作型のブロッコリーベと病の発生経過 (2005年)

接種月日	株当たり発病葉数 (月/日)					花蕾発病率 (%)	花蕾発病度
	10/3	10/13	10/28	11/7	11/18		
9月24日	0.4	1.3	2.9	2.9	1.6	30.0	22.2
10月3日	0	1.0	2.8	2.9	1.5	20.0	11.1
10月14日	0	0.1	2.7	3.1	2.1	16.7	7.8

耕種概要 品種：ハートランド。播種：2005年8月9日。定植：9月2日。栽植密度：畝幅65cm×株間35cm。施肥量：N：P₂O₅：K₂O = 1.4：1.1：1.1 kg/a (7割を基肥，3割を10月3日に追肥)。接種方法 ベと病菌分生子懸濁液 (10⁵/ml) を1株当たり5ml (1/10,000 ツイーン20添加) を株全体に噴霧接種した。接種は9月24日，10月3日および10月14日の日没前後に行い，各時期とも30株について行った。調査方法 約10日間隔で，接種した全株について発病葉数を調査した。また，2006年1月6日に接種30株の花蕾を分解し，発病を程度別 (指数0：発病なし。1：花蕾頭部の第二次花柄付近のみ発病。2：第一花柄に発病。3：主枝の内部が腐敗，これ以降の試験も同じ指数を用いた) に調査し，次の式により発病度を求めた。併せて花蕾の発病率について求めた。発病度 = Σ (程度別発病花蕾数×指数) × 100 / (調査花蕾数×3)。

表-2 年内～年明け穫り作型のブロッコリーベと病の発生経過 (2005年)

接種月日	株当たり発病葉数 (月/日)				
	10/3	10/13	10/28	11/7	11/18
9月24日	0	1.5	2.3	2.2	1.9
10月3日	0	0.2	2.9	2.5	2.1
10月14日	0	0	3.0	2.8	2.3

耕種概要 品種：ハートランド。播種：8月18日。定植：9月14日。栽植密度・施肥は表-1と同じ。接種および調査方法 花蕾調査を除き表-1と同様にして実施。

表-3 ベと病に対するブロッコリー品種の発病の差異 I (2005年)

供試品種 供試系統	株当たり発病葉数 (月/日)					花蕾 発病率 (%)	花蕾 発病度	花蕾 アントシアン ^{a)}
	10/3	10/13	10/28	11/7	11/18			
ハートランド	0.6	0.9	3.5	2.0	2.3	25.0	13.4	—
緑嶺	0.9	1.8	3.1	2.1	1.8	0	0	++
沢ゆたか	0	0.1	1.3	1.1	0.5	0	0	+
B-1 ^{b)}	0.4	1.3	2.7	1.9	1.5	60.0	30.0	—
K-1 ^{b)}	0	0.3	2.2	1.7	1.9	25.0	10.0	+
N-1 ^{b)}	0	0.3	2.7	2.6	2.2	55.0	46.7	—
N-2 ^{b)}	0	0.6	1.7	1.8	1.6	65.0	36.7	—
N-3 ^{b)}	0.2	0.9	1.0	1.5	1.5	0	0	—
N-4 ^{b)}	0.6	0.9	3.2	2.4	1.0	55.0	36.7	—
S-1 ^{b)}	0.2	0.3	0.6	1.4	0.7	5.0	3.3	—
T-1 ^{b)}	0.2	0.7	2.6	2.1	2.0	35.0	16.7	—

表中数字は2反復の平均値。^{a)} —：アントシアンなし，+：部分的にアントシアンあり，++：全体にアントシアンあり。^{b)} 系統名は仮名とした。耕種概要 播種：8月9日。定植：9月2日。栽植密度：畝幅65cm×株間35cm。施肥量：N：P₂O₅：K₂O = 1.4：1.1：1.1 kg/a (7割を基肥，3割を10月3日に追肥)。

表-4 べと病に対するブロッコリー品種の発病の差異 II (2005 年)

供試品種 供試系統	株当たり発病葉数 (月/日)					花蕾 発病率 (%)	花蕾 発病度	花蕾 アントシアン ^{a)}
	10/13	10/28	11/7	11/18	12/2			
ハートランド	0.6	2.8	2.5	2.2	2.2	26.7	15.6	—
ほがらか	0	1.0	1.0	0.7	0.7	6.7	2.2	+
グリーンパール	0.7	2.5	2.6	1.8	1.7	0	0	+
直緑 93	0.0	1.5	2.2	1.6	1.5	0	0	+
盛緑 55	1.0	3.3	2.7	1.5	1.4	3.3	1.1	++
K-2 ^{b)}	0.1	2.1	2.0	1.9	1.1	0	0	++
S-2 ^{b)}	0.5	1.8	1.6	1.4	1.6	6.7	3.3	—
TO-1 ^{b)}	0.3	2.3	2.6	1.9	1.9	3.3	1.1	—
TO-2 ^{b)}	0.5	2.0	2.1	1.5	1.4	10.0	7.8	—

表中数字は 3 反復の平均値。a) —: アントシアンなし。+: 部分的にアントシアンあり。++: 全体にアントシアンあり。b) 系統名は仮名とした。耕種概要 播種: 8 月 18 日。定植: 9 月 14 日。栽植密度: 畝幅 65 cm × 株間 35 cm。施肥量: N: P₂O₅: K₂O = 1.4: 1.1: 1.1 kg/a (7 割を基肥, 3 割を 10 月 3 日に追肥)。

表-5 灌水処理とブロッコリーべと病の発病 (2006 年)

試験区	株当たり発病葉数 (月/日)			花蕾発病度 (月/日)			累積花蕾 発病率 (%)
	11/6	11/13	11/20	12/8	12/20	1/15	
①	0.2	0.4	0.6	0	0	0	0
②	0.9	2.7	2.3	0	16.7	6.7	23.3
③	2.1	3.5	2.6	3.3	13.3	16.7	33.3
④	0.1	0.5	0.6	0	0	0	0
⑤	0.3	0.9	0.6	0	0	0	0

耕種概要 品種: ハートランド。播種: 8 月 11 日。定植: 9 月 6 日。栽植密度: 畦幅 60 cm × 株間 33 cm。施肥量 (kg/a): N: P₂O₅: K₂O = 1.52: 1.92: 1.12。試験区の構成 ①雨よけトンネル区, ②頭上灌水区, ③頭上灌水+被覆区 (ブロッコリーを畦単位で不織布で被覆), ④株元灌水区, ⑤株元灌水+排水路遮断区。灌水は頭上または株元に灌水チューブを上向きに設置し, 1 日 4 回 (16:30, 18:30, 21:30, 24:30) 各 5 分間ずつ, 10 月 27 日~11 月 19 日まで (べと病菌の接種日を除く) の 23 日間実施した。試験規模 1 区 90 株 (30 株 × 3 畦), 反復なし。接種方法 べと病菌分生子懸濁液をハンドスプレーを用いて, 各試験区の中央畦の株のみ 3 ml ずつ噴霧接種した。接種は 10 月 30 日の夕方に実施した。調査方法 区内の中央畦の 30 株について 11 月 6, 13, 20 日に発病葉数を調査した。また, 12 月 8 日, 12 月 20 日, 1 月 15 日にはほぼ収穫適期の花蕾を 10 株ずつ分解・細断し, 発病を程度別に調査した。各試験区の中央畦の地上 20 cm 付近の灌水期間中の温湿度を 30 分間隔で測定した。

く, その他の区では花蕾発病が認められなかった。夜間の平均湿度は③ (頭上灌水+被覆) 区が最も高く, 頭上灌水した②区と③区は 94% 以上で, 日中の平均湿度も③ (頭上灌水+被覆) 区は 93% と高く, ② (頭上灌水) 区も 80% を超えた (図-1, 2)。以上の結果から, ブロッコリーべと病による花蕾の黒褐変症状は降雨などにより地上部全体が濡れ, 湿度が 90% 以上の高い状態が長時間続いたときに多発することが明らかとなった。

2 施肥条件

多発生年の現地の聞き取り調査や土壌分析の結果から, 施肥条件と発病との関連 (特に家畜糞堆肥の多施用や窒素およびカリの関与) が疑われたため, 施肥条件を

変えて発病を調べた。2005 年の試験では葉の発病は, 標準施肥, 窒素 3 倍, カリ 3 倍の各区間で明らかなる差は認められなかったが, 花蕾の発病は標準施肥区に比べ, 窒素 3 倍区で明らかに増加した。一方, カリ 3 倍区の発病は, この試験では標準施肥区と同等で差は認められなかった (表-6)。ブロッコリー花蕾への感染源は葉の病斑に形成されたべと病菌の分生子と考えられるが, 各施肥間で葉の発病に差がなく, 感染源量が変わらないにもかかわらず, 窒素 3 倍区で花蕾の発病が助長されたことは, 窒素の影響により本病菌に対する花蕾の感受性が高まったためと推察された。

また, 2006 年の堆肥多投入・緑肥栽培試験では, 葉

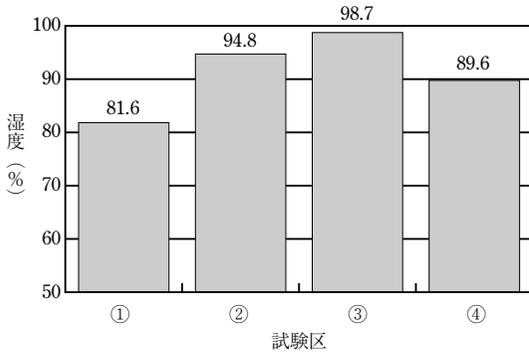


図-1 処理期間中の平均湿度 (夜間)

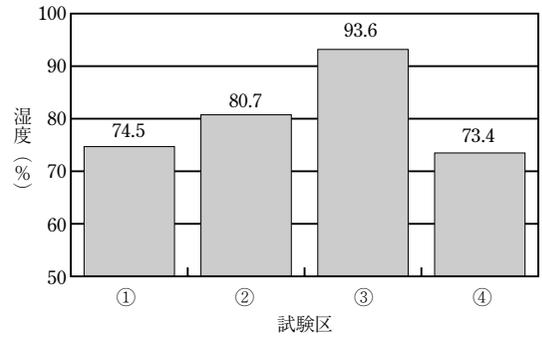


図-2 処理期間中の平均湿度 (日中)

表-6 窒素およびカリ施用量がブロッコリーべと病の発病等に及ぼす影響 (2005年)

試験区	株当たり発病葉数 (月/日)				花蕾 ^{a)}			
	10/13	10/28	11/7	11/18	発病率 (%)	発病度	径 (cm)	重 (g)
標準施肥区	0	2.9	2.7	2.1	17.5	12.5	9.4	267.2
窒素3倍区	0	3.1	2.9	2.7	43.3	32.2	10.3	324.4
カリ3倍区	0	3.0	2.7	2.1	16.7	10.0	9.1	277.2
試験区の構成								
	基肥 (kg/a)			追肥: 10月3日 (kg/a)			合計 (kg/a)	
標準施肥区	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 1:0.8:0.8			N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 0.4:0.3:0.3			N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 1.4:1.1:1.1	
窒素3倍区	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 1:0.8:0.8 N = 2.8 (硫酸アンモニウムとして)			N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 0.4:0.3:0.3			N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 4.2:1.1:1.1	
カリ3倍区	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 1:0.8:0.8 K ₂ O = 2.2 (硫酸カリとして)			N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 0.4:0.3:0.3			N:P ₂ O ₅ :K ₂ O = 1.4:1.1:3.3	

^{a)} 花蕾は2006年2月14日に収穫調査。耕種概要 品種:ハートランド。播種:8月18日。定植:9月14日定植。栽植密度:畝幅65cm×株間35cm。

の発病の傾向は判然としなかったが、花蕾の発病は標準施肥区に比べ堆肥多投入区で2.6倍と多く、一方、堆肥多投入・緑肥栽培区では標準施肥区とほぼ同程度であった(表-7)。堆肥多投入区で花蕾の発病が助長されたことは、堆肥の多施用により、前年の窒素増肥と同様に本病菌に対する花蕾の感受性が高まったためと推察された。他方、ソルゴーを栽培し、ブロッコリー作付け前にすき込む緑肥栽培が花蕾の発病を軽減したのは、堆肥多投入の影響を緩和する効果があったためと考えられ、緑肥栽培により窒素の肥効を抑えることで発病を軽減できる可能性が示唆された。

V 薬剤防除

11～12月に収穫となる作型では、葉の発病の主要な感染時期の10月に薬剤防除を行うと花蕾発病が抑制され、試験に供試した薬剤の中では特にマンゼブ・メタラ

表-7 堆肥多施用および緑肥作物栽培が発病に及ぼす影響 (2006年)

試験区	株当たり発病葉数 ^{a)}	花蕾発病率 ^{a)} (%)
標準施肥区	0.6	20.0
堆肥多投入区	1.2	52.5
堆肥多投入・緑肥栽培区	1.4	22.5

^{a)} 葉の発病は2006年12月5日、花蕾の発病は07年3月14日に分解調査。耕種概要 品種:ハートランド。播種:8月11日。定植:9月22日。栽植密度:畝幅65cm×株間30cm。試験区の構成 標準施肥区:施肥量N:P₂O₅:K₂O = 1.3:1.0:1.0 (kg/a), 堆肥1,200kg/10a。堆肥多投入区:6月2日に堆肥‘そこちから’を4,000kg/10a施用。堆肥多投入・緑肥栽培区:堆肥は同上。8月17日にソルゴーを条播し、定植前にすき込み。

表-8 ブロッコリーべと病の葉および花蕾の発病に対する薬剤防除効果 (2005年)^{a)}

供試薬剤	希釈倍数 (倍)	株当たり発病葉数 (月/日)			花蕾 発病率 ^{b)} (%)	花蕾 発病度	防除価
		10/28	11/7	11/18			
マンゼブ・メタラキシル水和剤	1,000	0.1	0.1	0.2	0	0	100
シアゾファミド水和剤 (フロアブル)	2,000	0.9	0.9	0.6	6.7	2.2	87.6
TPN 水和剤 (フロアブル)	1,000	0.2	0.2	0.4	10.0	3.3	81.5
銅 (塩基性硫酸銅) 水和剤	500	1.2	1.3	1.3	13.3	5.6	68.5
無処理	—	2.2	2.0	2.2	23.3	17.8	—

^{a)} 薬剤防除は10月6日、10月19日および10月28日の計3回。展着剤を添加し、肩掛け噴霧器を用いて行った。散布量は10月6日は10a当たり200l、その他は10a当たり250lとした。^{b)} 花蕾の発病調査は2006年1月4日。防除価は花蕾発病度から算出した。耕種概要 品種：ハートランド、播種：2005年8月9日。定植：9月2日。栽植密度：畝幅65cm×株間35cm。施肥量：N：P₂O₅：K₂O = 1.4：1.1：1.1kg/a (7割を基肥、3割を10月3日に追肥)。

表-9 ブロッコリーべと病の葉および花蕾の発病に対する薬剤防除効果 (2005年)^{a)}

供試薬剤	希釈倍数 (倍)	株当たり発病葉数 (月/日)			花蕾 発病率 ^{b)} (%)	花蕾 発病度	防除価
		10/28	11/7	11/18			
マンゼブ・メタラキシル水和剤	1,000	0.5	0.2	0.5	0	0	100
ノニルフェノールスルホン酸銅水和剤	500	1.9	1.9	0.7	3.3	1.1	89.0
無処理	—	2.9	2.7	2.1	23.3	10.0	—

^{a)} 薬剤防除は10月12日、10月24日および11月3日の計3回。展着剤を添加し、肩掛け噴霧器を用いて行った。散布量は10a当たり250lとした。^{b)} 花蕾の発病調査は2006年2月18日。防除価は花蕾発病度から算出した。耕種概要 品種：ハートランド、播種：8月18日。定植：9月14日。栽植密度・施肥は表-8と同じ。

キシル水和剤散布の防除効果が高かった。ほかにシアゾファミド水和剤、ノニルフェノールスルホン酸銅水和剤、TPN 水和剤、銅 (塩基性硫酸銅) 水和剤の散布も防除効果が認められた (表-8, 9)。マンゼブ・メタラキシル水和剤の多回数使用は耐性菌発現のおそれがあるため連続使用を避け、その他の登録薬剤と組み合わせて使うことが望ましいと考える。

おわりに

花蕾に発症するブロッコリーべと病については、佐古 (2004) が病徴、診断、薬剤防除法等を報告しており、薬剤散布試験の結果から花蕾への感染最盛期は11月であると推察している。また、本間・本宮 (1993) は葉への接種試験で「13.5℃～23℃、濡れ時間12時間で感染した」としている。本県での栽培状況を見ると、立性の品種を用い、栽植距離を詰めて単位面積当たりの収穫数を多くする傾向であるため、作物体が繁茂した後では適切な薬剤散布が困難になる。また、気温が20℃以上の時期でも降雨の条件によっては葉に感染し、この場合病斑の拡大が早いため、薬剤散布は生育の前半から行って葉における発病を抑制することが、伝染源を減らして花蕾発病を防ぐことにつながると考えられる。

その後、県内の主要産地では栽培品種を変えており、また、適正な施肥管理がなされ、花蕾発病の多発は見られていない。しかし、葉におけるべと病の発病は、セルトレイによる育苗中や圃場の下葉に見られ、年によっては花蕾発病も一部で認められている。このため、本病の葉の発病が多く、花蕾肥大期に高湿度条件が続くような年には花蕾にも本病が多発するおそれがあり、発生推移を注意深く観察し対処する必要がある。

施肥条件に関しては、前述した試験と同時期に埼玉農総研では黒褐変症状の原因解明のために施肥試験が実施された。埼玉県でブロッコリーの花蕾黒変症状が問題になったところ、一部の産地では圃場に家畜糞堆肥などを極端に多量に投入していた事例があったためである。施肥試験の結果、家畜糞堆肥中に含まれる窒素やカリ成分が土壌中に非常に多く含まれていたために、塩基バランスをくずし、それが本症状多発の誘因となったことが示唆された。適正な土壌管理による栽培が、病害防除対策の基本であると考えられる。

引用文献

- 1) 佐古 勇 (2004): 植物防疫 58: 335～339.
- 2) 本間宏基・本宮正樹 (1993): 関東病虫研報 40: 73～75.