北海道のスイートコーンにおける トウモロコシ褐色腐敗病の防除対策

小澤　徹[*1]　相馬　潤[*2]

トウモロコシ褐色腐敗病はBurkholderia gladioli による細菌病で2012年にスイートコーンで新たに報告された病害である。本病の薬剤防除法を確立するために，本病の雌穂における発生時期，有効薬剤の探索および効果的な散布時期について検討した。雌穂での発生は絹糸抽出始以降に認められ収穫期にかけて増加した。オキソリニック酸水和剤が本病に対して防除効果を示した。最も効果的な散布時期は，絹糸抽出始とその10日後の2回散布であった。

緒　言

1990年代から後志地域の産地において，スイートコーンの雌穂の包皮が褐変する症状が多発し（写真1），商品価値が損なわれることにより大きな被害となっていた。発生当初から20年近くその原因は不明であったが，2012年に本病がBurkholderia gladioliによる細菌病であることが明らかにされた。本菌によりとうもろこしの雌穂包皮が褐変する病害として，ブラジルと米国でEar soft rotが報告されている[2)]。病徴と病原の一致から，本病は本邦未発生のEar Soft Rot と考えられ，病名をトウモロコシ褐色腐敗病とした[3)]。

写真1　褐色腐敗病の発生雌穂

生産現場からは本病に対する防除技術の確立が強く求められた。しかしながら，本病に関する試験事例はこれまで報告がなく，有効な防除薬剤や効果的な防除体系に関する情報もない。そこで本研究では，褐色腐敗病の発生時期の解明，有効薬剤の探索および薬剤散布適期について検討し，本病の防除対策確立を目指した。

試験方法

1　発生時期

2014年に北海道立総合研究機構中央農業試験場（長沼町，以下中央農試）および現地圃場（留寿都村），2016年に中央農試で実施した薬剤防除試験の無散布区で一番穂の発生時期を調査した。品種は2014年の中央農試では「味来早生130」を，2014年の現地試験および2016年の中央農試の試験では「味来390」を供試した。中央農試の試験では27 ～ 33穂×3か所，現地試験では29 ～ 46穂×3か所を調査した。

2　有効薬剤の探索

2013 ～ 2014年は中央農試および現地圃場で，2015年は中央農試で行った。供試品種は2013 ～ 2014年の中央農試では「味来390」を2015年の中央農試および現地試験は「味来早生130」を供試した。薬剤散布月日は表1に示した。薬剤は背負式動力噴霧器を用い，150L/10a散布した。供試薬剤については表2に示した。なお，散布薬液には展着剤としてポリオキシエチレンノニルフェニル

令和7年10月30日受理

*1　（地独）北海道立総合研究機構中央農業試験場（現：同北見農業試験場　099-1496　常呂郡訓子府町）
E-mail：kozawa-toru@hro.or.jp
*2　同上（現：同十勝農業試験場　082-0081　河西郡芽室町）

エーテル・ポリナフチルメタンスルホン酸ナトリウム・ポリオキシエチレン脂肪酸エステル5000倍を添加した。銅剤には炭酸カルシウム水和剤100倍を添加した。中央農試は1区11.6㎡の3反復で栽植密度は畦幅75cm株間35cm，現地圃場は1区12㎡の3反復で栽植密度は畦幅60cm，株間40cmで試験を行った。中央農試の試験では接種区も設けた。接種は絹糸抽出始前後に病原細菌の懸濁液（約8×108cfu/ml）を株全体に120L/10a噴霧接種した。発病調査は各区18 ～ 40株の雌穂の発病を以下の基準に基づき実施し，発病度を次の式で算出した。指数0：病斑なし，指数1：病斑長5cm未満，指数2：病斑長5cm以上10cm未満，指数3：病斑長10cm以上15cm未満，指数4：病斑長15cm以上。発病度=Σ（発病指数×指数別雌穂数）×100/4×調査雌穂数。発病調査月日は表1に示した。

表1　薬剤試験の散布月日および調査月日

試験内容	試験年次	試験場所		散布月日	発病調査月日
有効薬剤探索	2013年	中央農試		7/1, 8, 13, 23	8/27
		現地		6/25, 7/4, 14	8/12
	2014年	中央農試		6/25, 7/7, 18	8/18
		現地		6/21, 7/1, 13, 22	8/13
	2015年	中央農試		7/9, 17, 24, 8/4	8/18 ～ 19
散布時期	2013年	中央農試		7/1, 13, 23, 8/2	8/20
		現地		6/25, 7/4, 14, 26	8/12
	2014年	中央農試		6/25, 7/7, 18, 28	8/18
		現地		6/21, 7/1, 13, 22	8/13
	2015年	現地		7/3, 10, 21, 29	8/12
	2016年	中央農試	試験A	7/11, 18, 30, 8/3, 8/9	8/23
			試験B	7/25, 8/2, 9, 13, 19	8/31
			試験C	8/3, 10, 19, 24, 29	9/12
		現地		7/6, 15, 26, 31, 8/5	8/16

3　散布時期および回数の検討

試験は2013 ～ 2016年に中央農試および留寿都村の現地圃場で実施した。品種は2013年および2014年の中央農試では「味来390」を，2014年および2016年の中央農試ならびに現地圃場は「味来早生130」を用いた。薬剤はオキソリニック酸水和剤（1,000倍）を用い有効薬剤の探索と同様の展着剤を添加し，背負式動力噴霧器で150L/10a散布した。2013 ～ 2015年の散布時期は9葉期，雄穂形成始，絹糸抽出始および絹糸抽出始薬10日後の4時期とした。また2016年は4時期に絹糸抽出始5日後も加えた。各試験における散布月日を表1に示した。1区面積および栽植密度は2有効薬剤の探索と同様である。2016年の中央農試の試験では播種時期を変えて3つの作期で試験を行い，それぞれ試験A，B，Cとした。各試験のは種月日は試験Aでは5月10日，Bは5月23日，Cは6月24日であった。発病調査は各区18 ～ 40株の雌穂について有効薬剤の探索と同様の調査基準で実施した。調査月日は表1に示した。

4　調製後の廃棄株率に対する効果の推定

2014 ～ 2016年に実施した薬剤散布時期と回数を検討した試験で包皮3枚を剥いた雌穂を調製後として発病の有無を調査し，調製後に発病が認められる雌穂を販売できないものとして廃棄雌穂率とした。7試験事例についてメタ・アナリシスによりデータを統合し防除効果の評価を行った。解析はRを用いDerSimonian-Laird法で行い，薬剤散布区の廃棄雌穂率の割合と無散布区の廃棄雌穂率の割合（リスク比＝（散布区の廃棄腐敗数/散布区の調査雌穂数）/（無散布区の廃棄雌穂数/無散布区の調査雌穂数））を求めて評価した。

結　果

1　発生時期

発病雌穂率の推移を図1に示した。絹糸抽出始後から2週間の間に雌穂に褐色の病斑が認められたが，2016年の中央農試Aおよび同年の現地圃場を除き2%程度と低かった。これ以降収穫期にかけて発病雌穂率がに増加する傾向を示した。

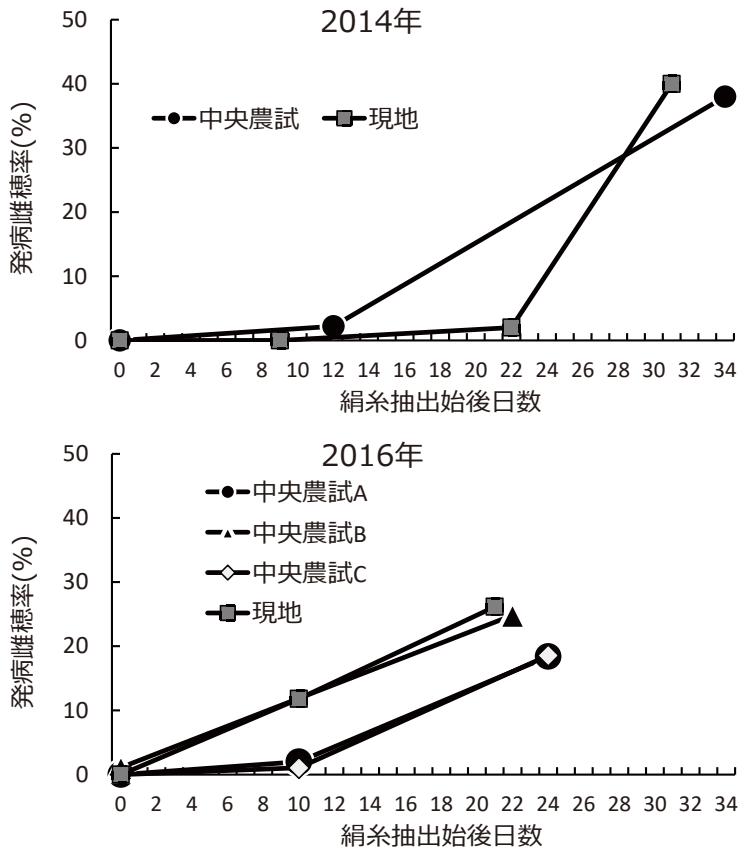

図1　無防除区における絹糸抽出後日数と発病雌穂率の推移

2　有効薬剤の探索

2013～2015年に実施した試験の結果を表2に示した。2014年の現地ではいずれの薬剤とも防除効果が認められなかった。これを除くとオキソリニック酸水和剤（1,000倍）は6試験事例のうち，防除価20前後と効果がやや低かった試験が2事例，4事例では防除価31～44と防除効果が確認された。これに対し，バリダマイシン液剤（500倍）は防除価が20～25と効果は認められたもののオキソリニック酸に比べ低かった。シュードモナス・フルオレッセンス水和剤（1,000倍）は防除価34と効果が認められた事例はあるものの他の試験では防除価12～18と低かった。また，銅剤やカルシウム葉面散布剤およびシュードモナス・ロデシア水和剤は防除効果が低かった。

表2　各種薬剤の防除効果

供試薬剤	希釈倍数	2013年			2014年		2015年	
		中央農試		現地	中央農試	現地	中央農試	
		自然発病	接種	自然発病	接種	自然発病	自然発病	接種
オキソリニック酸水和剤	1,000倍	23.2（31）[1)]	36.7（19）	11.3（44）	29.9（43）	12.8（0）	7.5（34）	26.3（21）
塩基性塩化銅水和剤(Cu40%)	1,000倍	31.7（ 6）	32.8（28）	20.5（ 0）				
塩基性塩化銅水和剤(Cu40%)	2,000倍	32.5（ 4）	41.5（ 9）	18.2（10）				
銅・ストレプトマイシン水和剤	600倍	42.5（ 0）	42.3（ 7）					
バリダマイシン液剤	500倍				40.4（23）	14.1（0）	8.6（25）	26.8（20）
カルシウム葉面散布剤	300倍				58.2（ 0）	15.4（0）	9.4（17）	30.5（ 9）
シュードモナス　フルオレッセンス水和剤	1,000倍				43.1（18）		7.5（34）	29.4（12）
シュードモナス　ロデシア水和剤	1,000倍						13.4（ 0）	31.1（ 7）
無散布		33.8	45.5	20.4	52.5	11.2	11.4	33.4

1）数値は発病度を示し，括弧内の数値は無散布区に対する防除価を示す。
　防除価＝100－（処理区の発病度／無処理区の発病度）×100

3　散布時期および回数の検討

2013 ～ 2015年に中央農試および現地圃場で実施した試験結果を表3に示した。無散布区における発病雌穂率は，14 ～ 68%と中～甚発生条件の試験であった。いずれの試験でも全期間散布区の防除効果が高く，防除価は43 ～ 85であった。晩期散布区は，2014年の現地試験を除き全期間散布区とほぼ同等の防除効果を示し，防除価は47 ～ 80であった。一方，早期散布区と中期散布区では防除効果が認められる事例もあるものの効果が低い事例も多く防除効果は不安定であった。早期散布区は，2015年の現地試験では防除価60と全期間散布区（防除価85）に比べやや低いが防除効果が認められたが，他の試験では防除価は0 ～ 39と低かった。中期散布区も同様な傾向を示し，2013年の現地試験では52と全期間散布区に比べやや低いものの防除効果が認められが，他の試験では防除価0 ～ 29と全期間散布区より低かった。

2016年の試験結果を表4に示した。2013 ～ 2015年に実施した試験と同様に生育後半に散布した試験区で防除効果が高い傾向を示した。中央農試試験Aでは晩期，晩期集中および全期間散布区の防除価はそれぞれ65，62，54とほぼ同等の防除効果を示した。試験Bでは中期，晩期，晩期集中および全期間散布区の防除価は63 ～ 84と防除効果が認められた。試験Cでは晩期集中区の防除価が80と最も高く，次いで全期間散布区の防除価は66と防除効果が認められた。これに対し晩期散布区では防除価39と低かった。現地試験ではいずれの散布時期とも防除価が52 ～ 65と防除効果が認められ散布時期の差は認められなかった。

2016年に中央農試で異なる播種時期で実施した薬剤散布試験A ～ Cの散布時期と降水量を図2に示した。試験期間中はにまとまった降雨が認められたのは，7月17 ～ 19日に18.5mm，7月27 ～ 29日に76.5mm，8月8 ～ 9日に89mm，8月16日 ～ 23日に225.5mmおよび9月6 ～ 9日に87.5mmであった。試験Aでは雌穂形成始の散布直前，絹糸抽出始および絹糸抽出始約10日後の散布時期にまとまった降雨があった。試験Bでは9葉期の散布後，絹糸抽出始の散布時期および絹糸抽出始約10日後の散布後，試験Cでは雌穂抽出始の散布直前および絹糸抽出始の散布直前から絹糸抽出始約5日後の散布時期の期間にまとまった降雨があった。

表3　散布時期ごとの防除効果の比較

処理区	散布時期				発病度				
					2013年		2014年		2015年
	9葉期	雌穂形成始	絹糸抽出始	絹糸抽出始約10日後	中央農試	現地	中央農試	現地	現地
早期	○	○	－	－	32.2（20）[1)]	15.9（39）	28.5（ 0）	12.4（24）	3.0（60）
中期	－	○	○	－	30.7（23）	12.4（52）	19.5（ 8）	23.1（ 0）	5.2（29）
晩期	－	－	○	○	20.7（48）	9.5（63）	11.1（47）	14.9（ 9）	1.4（80）
全期	○	○	○	○	23.0（43）	6.9（74）	10.8（49）	4.0（75）	1.1（85）
無散布	－	－	－	－	40.1	25.9	21.2	16.4	7.3

1）括弧内の数値は無散布区に対する防除価を示す。

表4　異なる播種期における散布時期ごとの防除効果のの比較（2016年）

処理区	散布時期					発病度			
						中央農試			現地
	9葉期	雌穂形成始	絹糸抽出始	絹糸抽出始約5日後	絹糸抽出始約10日後	試験A	試験B	試験C	
早期	○	○	－	－	－	4.7（31）[1)]	5.1（37）	4.9（22）	4.2（65）
中期	－	○	○	－	－	6.6（ 4）	2.4（71）	4.3（31）	5.2（57）
晩期	－	－	○	－	○	2.4（65）	1.3（84）	3.8（39）	5.6（54）
晩期集中	－	－	○	○	○	2.6（62）	3.0（63）	1.3（80）	4.9（60）
全期	○	○	○	○	○	3.2（54）	1.8（78）	2.1（66）	5.9（52）
無散布	－	－	－		－	6.9	8.2	6.2	12.1

1）括弧内の数値は無散布区に対する防除価を示す。

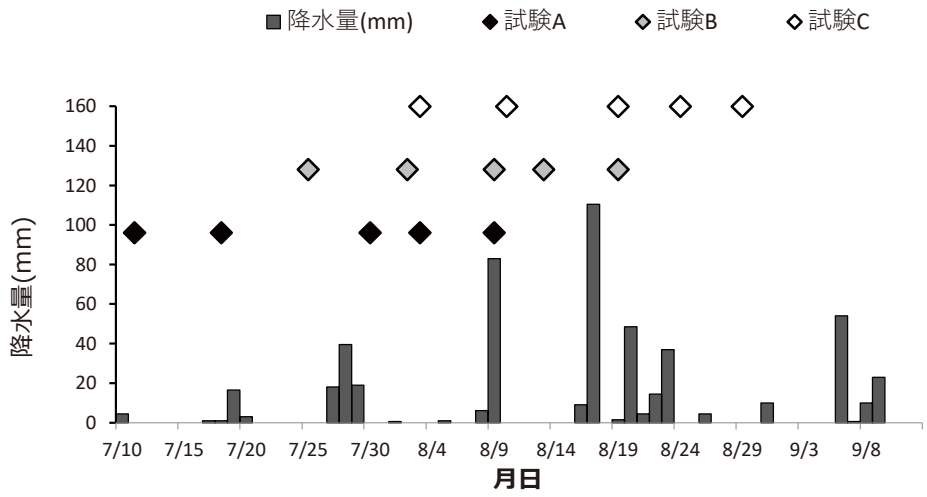

図2　2016年中央農試の薬剤散布試験における散布月日と降水量

4　調製後の廃棄株率に対する効果の推定

メタ・アナリシスに用いたデータを表5に示し，これらのデータをメタ・アナリシスにより統合したリスク比を表5に示した。晩期2回散布区および全期散布区の統合リスク比は0.56および0.55であり，有意な差が認められた。これに対し早期2回散布区および中期2回散布区の統合リスク比はそれぞれ0.70および0.81と高く有意な差は認められなかった。

表5　薬剤散布時期ごとの調製後廃棄雌穂率に対する統合リスク比

散布時期	統合リスク比[1)]	95%信頼区間[2)]	p値[3)]	
早期2回散布	0.70	(0.47-1.06)	0.092	
中期2回散布	0.81	(0.45-1.45)	0.476	
晩期2回散布	0.56	(0.36-0.89)	0.013	*
全期間散布	0.55	(0.35-0.86)	0.009	*

1）リスク比=(散布区の廃棄雌穂数/散布区の調査雌穂数)/(無散布区の廃棄雌穂数/無散布区の調査雌穂数)。リスク比が1より小さい場合は，無散布区に比べ散布区の廃棄雌穂率が低いことを示す。
2）95%信頼区間が1を含んでいる場合は無散布区と有意差がないことを示す。
3）*は5%で有意差があることを示す。

考　察

本研究では本病の防除に有効な薬剤の探索を行い，オキソリニック酸水和剤が有効であることを明らかにした。本剤は細菌病の防除に広く用いられており，同じ病原菌によるたまねぎのりん片腐敗病防除にも用いられている。一方，Burkholderia属による病害であるイネ苗立枯細菌病(B. glumae)で本剤に対する耐性菌が報告されている[1)]。本病でも耐性菌が出現するリスクはあると考えられることから作用機作の異なる薬剤を組み合わせた体系防除が望ましい。しかし，本研究では細菌病防除で広く用いられている銅剤および微生物農薬で十分な効果を示す薬剤を見いだすことができなかった。なお，供試薬剤のうち本病に対して農薬登録を有するのはオキソニリック酸水和剤のみであるので，本病に有効な薬剤の探索が必要と考えられる。

本病に対する効果的な散布時期を検討した結果，絹糸抽出始以降の散布で防除効果が高い傾向が認められた。この結果は本病が絹糸抽出始以降に雌穂に病徴が認められ収穫期にかけて増加した発生時期の結果と合致する。2016年に実施した試験で絹糸抽出始からの2回散布と3回散布で防除効果に大きな差が認められなかった。このことから絹糸抽出始とその10日後の2回散布が合理的と考えられた。

本試験では晩期散布区で比較的安定して防除効果が高かったが，早期および中期散布区でも効果が認められる試験事例があり，効果の高い散布時期はとうもろこしの生育ステージだけではなく気象条件などの他の要因によっても異なることが示唆された。そこで2016年に同一の圃場で播種時期の異なるとうもろこしで実施したA～Cの薬剤散布試験で効果の高かった散布時期を推定し，降雨との関係について検討を試みた。試験Aでは早期と中期散布区では効果が低く，晩期，晩期集中および全期間散布区で効果が高かった。効果の低かった早期および中期散布区には散布しておらず，効果の高かった晩期，晩期集中および全期間散布区で共通して散布していた時期が効果の高い散布時期とした場合，絹糸抽出始約10日後すなわち8月9日の散布の効果が高いと推定される。同

様に試験Bでは早期散布区以外で防除効果が認められたことから絹糸抽出始すなわち8月9日の効果が高く，試験Cでは晩期集中と全期間散布区で効果が高かったことから絹糸抽出始約5日後すなわち8月24日の効果が高かったと推定できる。試験期間中の降雨を見ると8月8～9日に89mm，8月16日～23日に225.5mmとまとまった降雨があり，効果が高いと推定した散布時期と合致した。このことから散布適期は絹糸抽出始以降でまとまった降雨のある時期であると推察された。しかし，試験Cでは絹糸抽出始の8月19日に散布した試験区で防除効果が低く，必ずしも効果の高い散布時期と降雨が一致していなかった。散布適期は降雨以外の要因も関与していると考えられる。

包皮3枚を剥いた調製後の雌穂の廃棄株率に対する防除効果を評価した7試験の結果をメタ・アナリシスにより統合した結果，晩期2回散布の統合リスク比は0.56であった。この結果は無散布区に比べ調製後の廃棄株率が約40%程度低下することを示しており，調製後の雌穂に対しても有効であると考えられる。

引用文献

1）清田裕司．福島県におけるイネもみ枯細菌病とイネ苗立枯細菌病の薬剤防除効果．北日本病虫研報 67：24-27（2016）

2）S. E. Lu, R. A. Henn, and D. H. Nagel. First report ofear soft rot of corn（Zea mays）caused by Burkholderia gladioli in the United States. Plant Dis. 91, 1514-1514（2007）

3）相馬潤．Burkholderia gladioliによるトウモロコシ褐色腐敗病(新称)の発生．日本植物病理学会報．79，64（2013）

Chemical Control of Sweet Corn Ear Soft Rot Caused by Burkholderia gladioli in Hokkaido

Toru KOZAWA*1 and Jun SOUMA*2

Summary

Ear soft rot of maize, caused by Burkholderia gladioli, was newly reported in 2012 in Hokkaido, and its effective chemical control method has not yet been established. To develop a practical control strategy, we investigated the timing of disease occurrence on maize ears, evaluated the efficacy of several chemical agents, and determined the optimal timing of application. Disease symptoms appeared on ears after the beginning of silk emergence and increased toward the harvest period. Among the tested chemicals, oxolinic acid exhibited the highest control efficacy. The most effective control was achieved with two applications of the chemical: the first at the onset of silk emergence and the second 10 days later. These results provide a basis for establishing an effective chemical control program for maize ear soft rot in Hokkaido.

*1 Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station (Present; Hokkaido Research Organization Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu, Hokkaido, 099-1496 Japan)
E-mail:kozawa-toru@hro.or.jp

*2 ditto. (Present; Hokkaido Research Organization tokachi Agricultural Experiment Station Memuro, Hokkaido, 082-0081 Japan)