

カボチャ疫病の発病株率および収穫前降水量に基づく被害解析

三澤 知央*¹

2006～2011年に北海道森町のカボチャ栽培圃場で数種の薬剤を1週間間隔で散布し、疫病の発病程度が異なる111試験区を設け、収穫前日の親づるの発病株率と収穫時収量の関係を解析した。両者の間には負の相関関係（相関係数：-0.918）が認められ、発病株率10%、50%、100%のときの減収率はそれぞれ9.1%、45.3%、90.6%と算出された。また、収穫果実を約2週間キュアリングし、発病果率を求め、収穫前降水量との関係を解析した。各年次におけるキュアリング期間中の発病果率は、0～32.0%であった。発病果率と収穫前4週間の降水量との間には正の相関関係が認められ、両者は以下の式で表すことができた； $y = 0.0003x^2 + 0.039x - 1.946$ （ y = キュアリング期間中の発病果率：%， x = 収穫前4週間の降水量：mm）。すなわち、本病の減収要因である収穫時の減収率とキュアリング中の果実発病は収穫前日の発病株率と収穫前4週間の降水量から予測が可能であった。

緒言

カボチャ疫病は *Phytophthora capsici* による病害であり、我が国では1948年に静岡県で初発生が確認されている⁵⁾。北海道内では、1967年に共和町で初発生を確認後³⁾、1974～75年に上川・十勝支庁管内で多発し、近年は1996年以降、渡島管内森町で多発している¹⁾。

本病は、つるおよび果実に発生する病害である。つるでは、はじめ長さ10～20cm程度の暗緑色で軟化した病斑を形成し、発病部より先が枯死する。果実では、白色のかびが表面を覆い、やがて激しく軟化・腐敗する²⁾。また、ほ場において保菌した果実は収穫時には外観健全であっても出荷後に発病することが多く、市場からのクレームの原因となっている¹⁾。

著者は、これまでに本病に対する薬剤散布において100L/10a散布と比較して200L/10a散布が高い防除効果を示すこと、収穫後14日間のキュアリングにより保菌果実の99%が発病し、保菌果実の除去が可能であることを明らかにしている⁴⁾。しかし、本病に関する研究知見は極めて少なく、発病が収量に与える影響は明らかとな

っていない。また、本病の病原菌の遊走子形成助長要因である降水量が圃場での果実保菌程度に及ぼす影響も不明である。本研究では、疫病の発病株率と収量の関係および収穫前の降水量と果実保菌程度の関係について検討し、本病の被害解析を行ったので、結果を報告する。

試験方法

試験は2006～2011年の6年間、渡島管内森町の同一農家圃場でカボチャ（品種：「みやこ」）をトンネル早熟作型で栽培し実施した。各年次とも3月下旬（3月30～31日）に園芸培土を充填したポットに播種しビニールハウス内で育苗し、4月下旬～5月上旬（4月30日～5月3日）に、畝間320cm・株間60cmで、向かいあわせ植えで定植し（2畦毎に幅380cmの防除通路を設置；栽植密度327株/10a）、親づる一本仕立てで栽培した。定植後6月20日頃までトンネル被覆を行った。摘芯は行わなかった。基肥はN:P2O5:K2O=6:9:7.8kg/10aを施用し、5月下旬にN:P2O5:K2O=4.2:1.2:4.2kg/10aを追肥した。

発病程度の異なる試験区を得るために、6月上・中旬～7月下旬に殺菌剤を約1週間間隔で7～9回散布した。薬剤はつるの伸長に合わせて散布量を増加させ、最大200L/10aを散布した。薬液には展着剤（商品名：グラミンS）を5000倍となるように加用した。2006年の試験では、6種類の殺菌剤をそれぞれ3区に散布し、無

2014年9月10日受理

*¹（地独）北海道立総合研究機構道南農業試験場、041-1201
北斗市

E-mail: misawa-tomoo@hro.or.jp

表2 各試験年次における疫病初発月日・最終発病調査月日・収穫月日およびキュアリング日数

試験年次	初発月日	最終発病調査月日	収穫月日	キュアリング日数
2006年	6/13	8/2	8/3	15日間
2007年	6/22	8/1	8/2	14日間
2008年	7/1	8/5	8/6	14日間
2009年	6/25	8/4	8/5	14日間
2010年	6/22	8/2	8/3	13日間
2011年	7/19	8/1	8/2	14日間

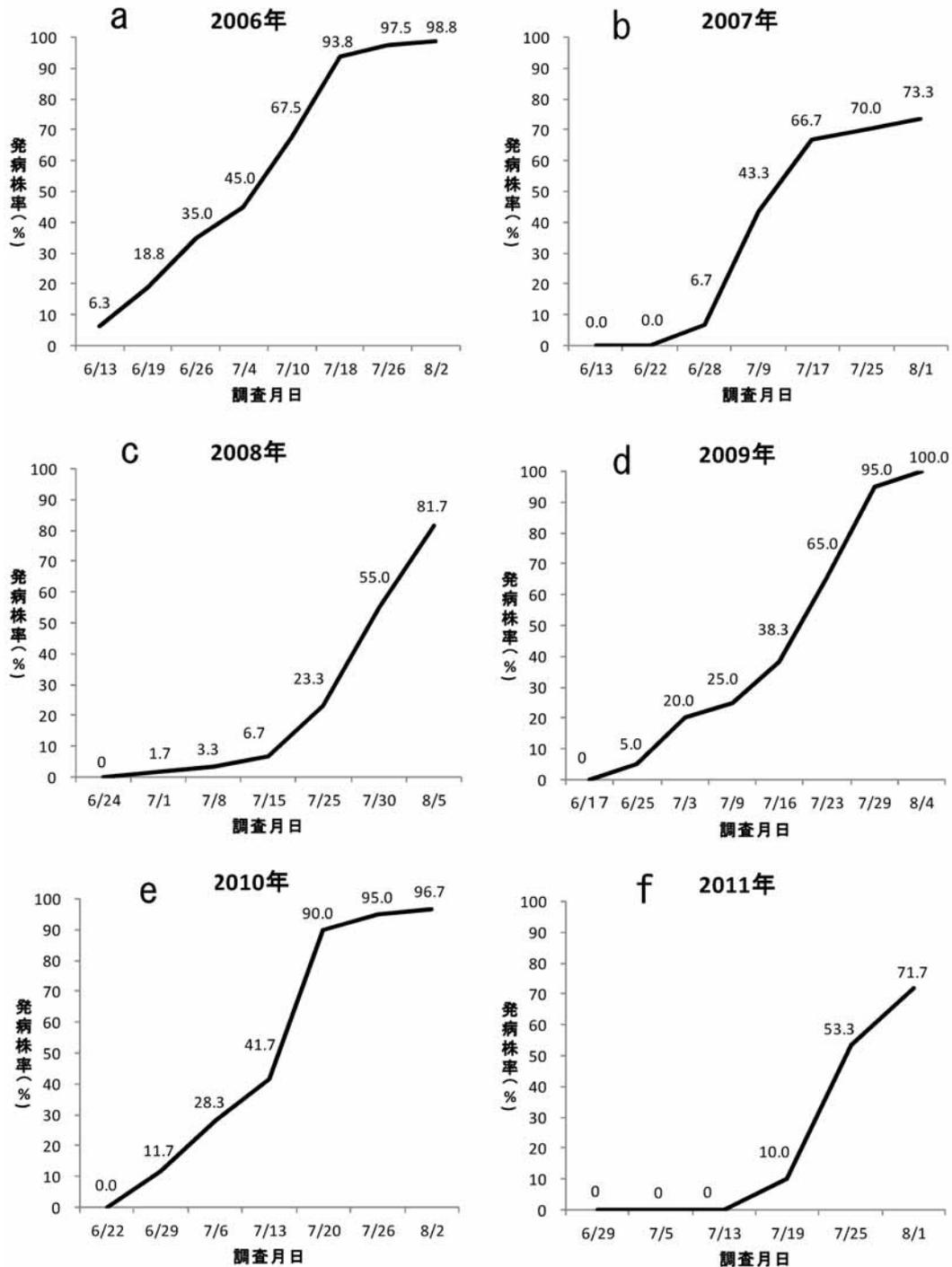


図2 無散布区における発病株率の推移 (2006～2011年：3区平均)

日の割合はそれぞれ21.1～41.7%、1.9～52.2%であった(表3)。2007～2009年および2011年も2006年とほぼ同様の発病傾向であった(データ省略)。2010年はマルチ上の発病割合は7月6日に38.1%と高かったが、それ以外の調査時期(6月22～29日および7月13日～8月2日)では他の年次と比較してマルチ上の発病割合が低かった(9.4～20.0%)。2010年は調査期間を通して、マルチ端から1m以内の発病割合(33.3～60.0%)およびマルチ端から1m以上の発病割合が高かった(20.0～45.3%)。

2006～2011年の6カ年の時期別発病部位をまとめると、概ね6月下旬～7月上旬にはマルチ上の発病割合が高く、7月中旬以降マルチ端から1m以内およびマルチ端から1m以上の発病割合が増加する傾向が認められた。株元の発病割合は、いずれの調査時期においても発病部位別で最も割合が低かった。

調査期間合計では、2006年、2007年および2011年は、マルチ上の発病割合が最も高く(43.5%、40.1%および60.3%)、次いでマルチ端から1m以上またはマルチ端から1m以内の割合が高かった。2008年および2009年は、マルチ端から1m以上での発病割合が最も高く(39.8%および38.3%)、次いでマルチ上またはマルチ端から1m以内の割合が高かった。2010年は、マルチ端から1m以内の発病割合が最も高く(44.6%)、次いでマルチ端から1m以上の割合が高かった。いずれの年次も株元の発病は1.0～9.5%と低かった(表4)。

3. 収穫前日の発病株率と収穫時収量の関係

2006～2011年の収穫前日の発病株率と収穫時収量の関係を図3に示した。

各区の発病株率は2006年は15.0～100%、2007年は25.0～90.0%、2008年は0～100%、2009年は10.0～100%、2010年は0～100%、2011年は0～100%であった(図

3 a - f)

各区の収穫時収量は2006年は0～993kg/10a(平均447kg/10a)、2007年は212～1,087kg/10a(平均536kg/10a)、2008年は331～1,368kg/10a(平均978kg/10a)、2009年は0～1,055kg/10a(平均444kg/10a)、2010年は0～919kg/10a(平均609kg/10a)、2011年は291～1,158kg/10a(平均725kg/10a)であった(図3 a - f)。

2006～2011年の各区の収穫前日の発病株率と収穫時収量との相関係数はそれぞれ-0.878、-0.901、-0.940、-0.926、-0.977、-0.949であり、いずれの年次も統計的に有意な負の相関関係が認められた($p=0.001$)。

各試験年次における収穫前日の発病株率と収穫時収量の回帰式から算出した収穫前日の発病株率が0%のときの収量は、1,024.4kg/10a、1,169.5kg/10a、1,186.2kg/10a、1,006.3kg/10a、1,034.0kg/10a、1,139.9kg/10aであった。

2006～2011年の全111処理区の収穫前日の発病株率と収穫時収量の関係を解析した結果、 $y=-10.30x+1,137.0$ (y =収穫時収量:kg/10a、 x =収穫前日の発病株率:%)という回帰式が得られ、相関係数は-0.918($p=0.001$)と統計的に有意な負の相関関係が認められた(図3)。

4. キュアリング期間中の発病果率

各試験年次における収穫果実数は、224～675果であり、キュアリング期間中の発病果率は1.9%、9.2%、23.0%、32.2%、6.7%、0%であった(表5)。果実発病の最終発病日は収穫9日後、6日後、13日後、14日後、8日後であった。発病果率が高かった2008年と2009年(23.0%、32.0%)は発病期間が長く(収穫後13～14日間)、発病果率が低かった2006年、2007年、2010年(1.9～9.2%)は発病期間が短い傾向があった(収穫後6～9日間:2011年は無発病)。

表3 部位別発病箇所数・割合(2006年:調査時期別)

調査 月日	発病部位:発病箇所数(発病割合)				
	株元	マルチ上	マルチ端から		合計
			1m以内	1m以上	
6/13	0	6 (100%)	0	0	6
6/19	1 (3.3%)	29 (96.7%)	0	0	30
6/26	0	40 (76.9%)	11 (21.2%)	1 (1.9%)	52
7/4	3 (25.0%)	5 (41.7%)	3 (25.0%)	1 (8.3%)	12
7/10	0	9 (47.4%)	4 (21.1%)	6 (31.6%)	19
7/18	1 (1.4%)	18 (24.7%)	24 (32.9%)	30 (41.1%)	73
7/26	4 (5.8%)	13 (18.8%)	16 (23.2%)	36 (52.2%)	69
8/2	0	4 (16.7%)	10 (41.7%)	10 (41.7%)	24
合計	9 (3.2%)	124 (43.5%)	68 (23.9%)	84 (29.5%)	285

表4 部位別発病箇所数・割合(2007～2011年:調査期間合計)

試験 年次	発病部位:発病箇所数(発病割合)				
	株元	マルチ上	マルチ端から		合計
			1m以内	1m以上	
2007年	3 (1.0%)	121 (40.1%)	107 (35.4%)	74 (24.5%)	302
2008年	8 (6.3%)	48 (37.5%)	21 (16.4%)	51 (39.8%)	128
2009年	14 (5.8%)	64 (26.3%)	72 (29.6%)	93 (38.3%)	243
2010年	4 (3.1%)	21 (16.2%)	58 (44.6%)	47 (36.2%)	130
2011年	11 (9.5%)	70 (60.3%)	23 (19.8%)	12 (10.3%)	116

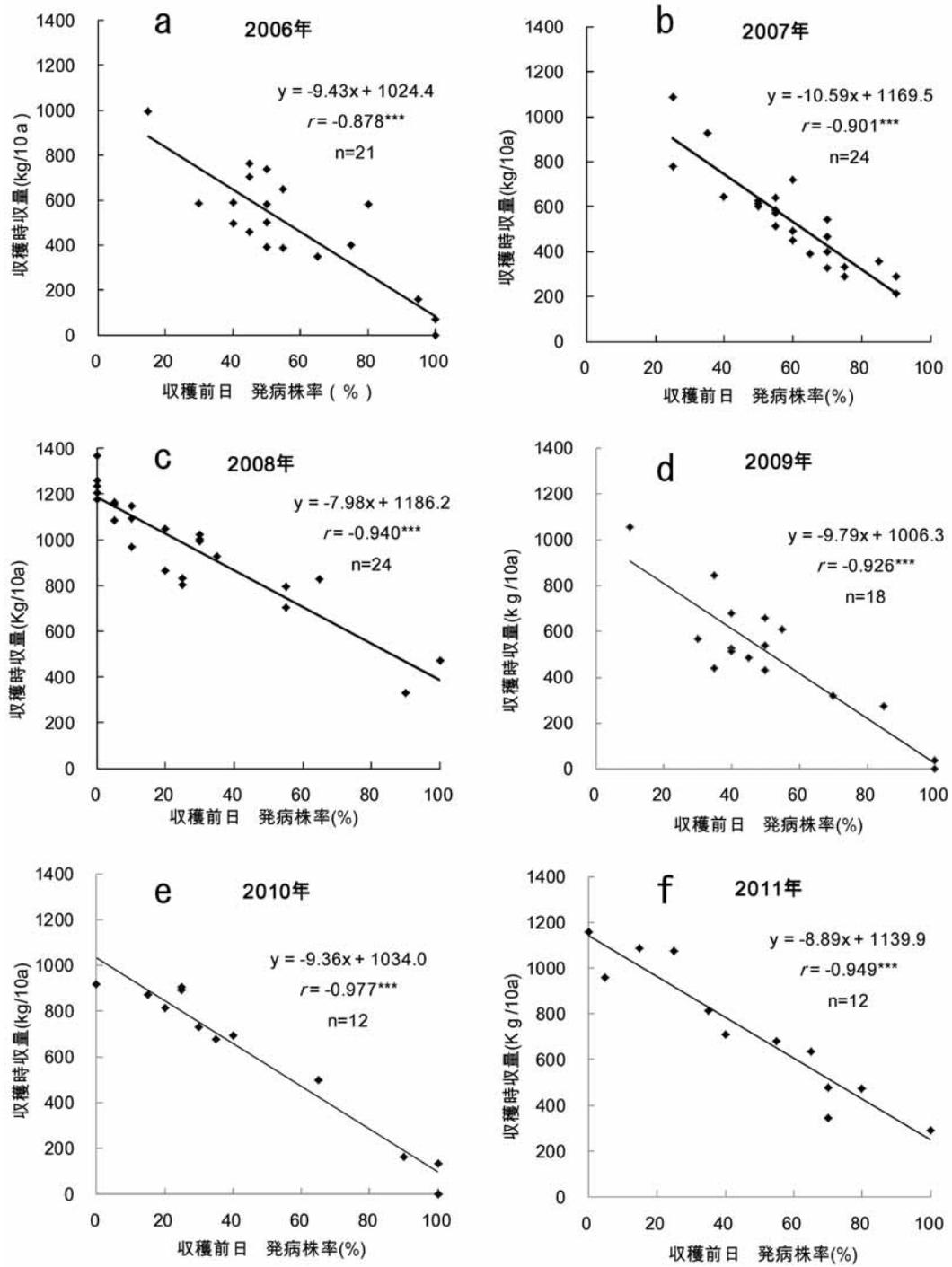


図3 収穫前日の発病株率と収穫時収量の関係 (2006～2011年)

y: 収量, x: 収穫前日の発病株率, ***p = 0.001

2006～2011年の合計111試験区の関係
 回帰式 $y = -10.30x + 1137.0$, 相関係数 -0.918^{***}

2006～2011年の収穫前4週間の降水量は、それぞれ37.0mm, 138.0mm, 208.0mm, 277.0mm, 108.0mmおよび88.5mmであった。キュアリング期間中の発病果率と収穫前の降水量の関係を解析した結果、発病果率との相関係数は収穫前2週間の降水量で0.528, 3週間の降水量で0.707, 4週間の降水量では0.968であり、収穫前4週間の降水量とキュアリング期間中の発病果率の間には正の相関関係が認められた ($p=0.01$)。

キュアリング中の発病果率と収穫前4週間の降水量の関係の回帰式は $y = 0.0003x^2 + 0.039x - 1.946$ (y = キュアリング中の発病果率 : %, x = 収穫前4週間の降水量 : mm) であった (表5)。

5. 収穫前日の発病株率とキュアリング後の収量の関係

2006～2011年の収穫前日の発病株率とキュアリング後収量の関係を表6に示した。

キュアリング期間中の発病果率が23.0%, 32.2%と高かった2008年と2009年は平均収量が収穫時より264kg/10a, 163kg/10a減少した。キュアリング中の発

病果率が1.9%, 9.2%, 6.7%と低かった2006年, 2007年, 2010年はそれぞれ平均収量が収穫時より31kg/10a, 70kg/10a, 69kg/10a減少した。キュアリング中の発病果率が0%であった2011年も含水率の低下により収穫時より28kg/10a収量が減少した。

2006～2011年の収穫前日の発病株率とキュアリング後収量の間相関係数はそれぞれ-0.885, -0.865, -0.879, -0.880, -0.977, -0.946であり、キュアリング中の発病果率が高かった2008年および2009年は収穫時のそれより低下した (2008年: -0.940→-0.879, 2009年: -0.926→-0.880)。いずれの年次も統計的に有意な負の相関関係が認められた ($p=0.001$)。

2006～2011年の全111処理区の収穫前日の発病株率とキュアリング後収量の関係を解析した結果、 $y = -8.39x + 927.6$ (y = キュアリング後収量 : kg/10a, x = 収穫前日の発病株率 : %), 相関係数-0.880という回帰式が得られた。両者の相関係数は、統計的に有意 ($p=0.001$) であったが、収穫時収量との相関係数-0.918より低かつ

表5 キュアリング中の果実発病と収穫前降水量の関係

試験年次	調査果実数 (個)	発病果実数 (個)	発病果率 (%)	最終発病日 収穫後日数	収穫前1～4週間の降水量 (mm)			
					1週間	2週間	3週間	4週間
2006年	268	5	1.9	9日後	0.0	2.0	8.0	37.0
2007年	357	33	9.2	6日後	131.0	135.0	135.0	138.0
2008年	675	155	23.0	13日後	107.0	117.0	183.0	208.0
2009年	267	86	32.2	14日後	13.0	77.0	122.5	277.0
2010年	224	15	6.7	8日後	52.0	65.5	72.0	108.0
2011年	246	0	0.0	-	5.5	5.5	64.0	88.5
収穫前降水量と発病果率の相関係数					-0.561	0.528	0.707	0.968** ^{a)}

a) 回帰式: $y=0.0003x^2+0.039x-1.946$, ** $p=0.01$

y = キュアリング中の果実発病 (%)

x = 収穫前4週間の降水量 (mm)

表6 キュアリング後の収量と収穫前日の発病株率の関係

試験年次	キュアリング後の収量 (kg/10a)			収穫前日の発病株率と キュアリング後の収量	
	最小～最大	平均	差 ^{a)}	相関係数	回帰式
2006年	0～890	416	-31	-0.885*** ^{b)}	$y=-8.86x+957.8$
2007年	205～781	466	-70	-0.865***	$y=-7.95x+941.4$
2008年	89～1097	714	-264	-0.879***	$y=-7.66x+913.5$
2009年	0～834	281	-163	-0.880***	$y=-6.62x+661.4$
2010年	0～876	540	-69	-0.977***	$y=-9.31x+962.8$
2011年	283～1093	697	-28	-0.946***	$y=-8.45x+1091.5$

a) 収穫時収量との差

b) *** $p=0.001$

2006～2011年の合計111試験区の関係

回帰式 $y=-8.39x+927.6$, 相関係数-0.880***

y : 収量, x : 収穫前日の発病株率,

た。

考 察

2006～2011年の収穫前日の発病株率と収穫時収量の関係を解析した結果、 $y = -10.30x + 1137.0$ ($y =$ 収穫時収量: kg/10a, $x =$ 収穫前日の発病株率: %), 相関係数 -0.918 ($p = 0.001$) という回帰式が得られた。本式から導いた減収率は発病株率10%で9.1%, 発病株率50%で45.3%, 発病株率100%で90.6%であり, 本病の発病の増加がカボチャの収量を著しく減少させることが明らかとなった。実際に2006年, 2009年, 2010年には発病株率100%の試験区で収量が0 kg/10aとなった事例があった。

各年次の回帰式から求めた収穫前日の発病株率が0%のときの収穫時収量は, 1,006.3kg/10a (2009年)～1,186.2kg/10a (2008年: 2009年の118%)とカボチャの収量は疫病の発生量のみで決定されるわけではないものの, 発病株率0%のときの年次間の収量差はわずか18%であった。一方, 本病発生圃場での収穫時収量は0～1,368kg/10aであり, 本試験では本病の発生以外の減収要因を排除できたと考えられたことから, 前述の計算式を用いて収穫前日の発病株率から収穫時の収量を推測できると判断した。しかし, 本試験は6ヶ年とも森町の同一圃場で実施したため, 栽培作型・気象条件・地力が異なる他産地においては, 疫病無発生ときの収量が異なるため, 前述の計算式により収穫時収量の予測はできないと考えられる。一方, 親づる1本仕立て栽培では, 他の地域においても本病の発病が収量に及ぼす機作は同様であるため, 減収率は適用できると判断した。

本病は, 6月下旬～7月上旬にはマルチ上の発病が多く, 7月中旬以降マルチ端から1m以内およびマルチ端から1m以上の発病が増加する傾向が認められた。本病の発病部位が株元に近い場合は一番果および二番果ともに収穫不能となるが, 二番果より先端部での発病では, 一番果および二番果ともに収穫可能である。2006年, 2007年および2011年の3カ年は調査期間合計の部位別発病割合において, マルチ上の発病が最も高かった。また, 2007年, 2009年, 2010年はマルチ端から1m以内の発病割合がそれぞれ35.4%, 29.6%および44.6%であり, 株元に近い部位での発病が多かった。さらに, 2011年を除いては, 7月中旬以降にマルチ端から1m以上の発病割合が40%以上に達する調査時期があり, これらのほとんどが二番果の果実腐敗を伴う発病であった(データ省略)。以上のように, 株元付近(マルチ上+マルチ端から1m以内)の発病により株全体が萎凋・枯死することおよび親づるの発病に果実腐敗を伴ったことが, 発病株率の増加が減収につながった要因であると推察され

た。

著者は, 収穫後14日間のキュアリングにより保菌果実の99%が発病し, 保菌果実の除去が可能であることを明らかにしている⁴⁾。同試験は2005年の単年度試験であったため, 本研究では6年間にわたってこの結果を検証した。本研究では15日間以上のキュアリングは実施していないものの, 発病果率が高かった2008年は収穫5日後に発病が最も多く, その後発病が減少し(データ省略), 収穫13日後まで発病した。2009年は収穫3～7日後に発病が多く, 次第に発病が減少し(データ省略), 収穫14日後まで発病し, 収穫後の最終発病日数は13～14日間であり, 既報の結果の妥当性が証明された。一方, 発病果率が低かった2006年, 2007年, 2010年は収穫6～9日後までしか発病しなかった。すなわち, 発病果率が低い年次には, 既報より短いキュアリング日数で保菌果実の発病が終了することが明らかとなった。

本研究では, 収穫1～4週間前の降水量とキュアリング中の果実発病の関係を解析し, 最も相関が高いのは収穫前4週間の降水量であることを明らかにした。キュアリング中の果実発病と高い正の相関関係が認められた降水量の観測期間が収穫前4週間であった原因については, 本研究の結果からは明らかにできなかったが, 本病菌の果実への感染から発病までに要する日数が関与していると推察された。

本病は, 病原菌の遊走子が降雨時に水中を遊泳して感染が拡大する²⁾。そのため, 収穫前の降水量が多いほど果実感染が多くなったと考えられる。本研究では圃場で発病した果実は収穫せず, 外観健全果実のみを収穫しキュアリング中の果実発病を調査した。降雨が多い条件では, 感染果実が増加し, そのうちの一部は圃場で発病し, 残りはキュアリング期間中に発病したため, 収穫前に降雨が多いほど, キュアリング中の発病果率も高くなったと推測された。

本研究では, キュアリング期間中の発病果率と収穫前4週間の降水量の関係は回帰式: $y = 0.0003x^2 + 0.039x - 1.946$ ($y =$ キュアリング中の発病果率: %, $x =$ 収穫前4週間の降水量: mm) で表すことができることが明らかとなった。すなわち, 収穫前4週間の降水量が100mm, 200mm, 300mmのときのキュアリング期間中の発病果率は5.0%, 17.9%, 36.8%であると算出される。2009年の試験では, 収穫果実の32.2%がキュアリング期間中に発病し, 果実発病が大きな減収要因となりうることが明らかとなった。

本研究では発病親づるを切断し発病部より先端部を除去した。生産現場においても発病初期には発病株の除去が行われている。収穫期近くになると株が大きくなるため, 発病株の除去が困難になるため行われていないが,

親づるで発病が認められた株からは果実を収穫しない生産者が多いため、本研究では実際の栽培と同様の結果が得られたと考えられる。

また、トンネル早熟カボチャ栽培においては、7月25日頃から一番果を、8月10日頃から二番果を収穫するが、収穫を2回に分けると発病株率と収量の解析が複雑となるため、本研究では一斉収穫を行った。本研究における収穫時期は標準的な栽培の一番果収穫時期と二番果収穫時期の中間に実施したため、実際の栽培における収量と近いデータが得られたと考えられる。

以上のように本研究において、本病の減収要因が発病株率の増加に伴う収穫時収量の減少とキュアリング中の果実発病であることを明らかにした。さらに、収穫時の減収率については収穫前日の発病株率から算出できること、およびキュアリング期間中の発病果率については収穫前4週間の降水量から予測できることを明らかにした。

収穫後の果実発病については、減収要因の1つであるだけでなく、出荷後に発病すると市場からのクレームの対象となり、産地の信頼を大きく損ねる原因となる。本研究では、キュアリング期間中の発病果率を収穫前4週間の降水量から算出する式を導き出すとともに、収穫前の降雨が多く発病果率が高い年次は、果実の発病期間が長くなることを明らかにした。2006～2011年のキュアリング期間中の発病果率は0～32.2%、果実発病期間は6～13日間といずれも年次により大きく異なった。早期出荷を目指すカボチャ産地ではキュアリングが徹底されない傾向があるが、本研究では収穫前4週間の降水量が多い年次は14日間のキュアリングが必要であるが、少雨の年次にはキュアリング期間を1週間程度に短縮できる可能性が示唆された。収穫時に出荷可能な収量およびキュアリング必要期間を予測できることは、出荷計画を立てるうえで非常に有益である。

引用文献

- 1) 北海道植物防疫協会. “北海道病害虫防除提要”. 2014. 418p.
- 2) 川越 仁. カボチャ疫病. 日本植物病害大辞典 (岸國平編). 全国農村教育協会, 東京, pp374-375. (1998)
- 3) 真野 豊. “昭和49年の発生にかんがみ注意すべき病害虫”. 北農. 42 (3), 21 (1975)
- 4) 三澤知央, 萩田孝志, 小林靖幸. カボチャ疫病に対する薬剤の散布適量と保菌果実の出荷前選別法. 北海道立農試集報 90, 65-69 (2006)
- 5) 田中彰一. “南瓜の新病害疫病”. 農業及び園芸. 23 (5), 316 (1948).

Damage analysis of Phytophthora rot of pumpkin based on the disease incidence and the accumulated rainfall before harvest

Tomoo MISAWA ^{*1}

Summery

From 2006 to 2011, we conducted damage analysis of pumpkin Phytophthora rot based on the incidence of this disease. We sprayed several fungicides at 1-week-intervals and obtained 111 experimental plots, where the disease occurred in various severities. The occurrence of the disease on vine exerted severe damage on yield. When the incidence of diseased vine in one day before harvest were 10% , 50% and 100% , the yield, which was measured in immediately after harvest (kg/10a) , were 9.1% , 45.3% and 90.6% , respectively, less than that of non-infested plot.

We also analyzed relationship between disease incidence of harvested fruits during the curing period (0-15 days after harvest; Diseased fruits : %) and accumulated rainfall (mm) for 4 weeks before harvest (Rainfall) . There was significant correlation between 'Diseased fruits' and 'Rainfall' and the relationship between both factors were represented as follows: $y=0.0003x^2 + 0.039x-1.946$ (y = Diseased fruits, x = Rainfall) . Thus, in this study, we enabled the calculation of two important factors for decline of pumpkin yield.

^{*1} Donan Agricultural Experiment Station, Hokkaido Research Organization, Hokuto, Hokkaido 041-1201, Japan
E-mail : misawa-tomoo@hro.or.jp