

EBC(Evidence-based Control)研究会誌 第17号

-EBC ワークショップ 2022 (オンライン開催) 講演要旨集-

第一部 近年問題となっている重要病害の最新研究

1. コシヒカリマルチラインにおけるいもち病菌レース頻度の変化 1
石川 浩司 【新潟県病害虫防除所】
2. 青森県におけるリンゴ黒星病 DMI 耐性菌対策のその後の状況と新たな強化策について 9
赤平 知也 【(地独) 青森県産業技術センターりんご研究所】

第二部 一般化線形混合モデルの活用とその方法

3. ダイズ栽培における黒根腐病の発生リスク要因解析 14
越智 直 【(国研) 農研機構・植物防疫研究部門】
4. 一般化線形混合モデルを用いた防除試験データの解析 21
池田 健太郎 【群馬県農業技術センター】

第三部 ショートトーク 生産現場での実用例

5. 千葉県のナバナ圃場における根こぶ病菌のレース分布に及ぼす温度の影響 27
久保 周子 【千葉県農林総合研究センター暖地園芸研究所】
6. 一般化線形モデルによるハクサイ黄化病の発病に影響を及ぼす要因の解析 28
星野 啓佑 【群馬県農業技術センター】
7. ナシの病害虫防除暦のエビデンス ～茨城県における黒星病・輪紋病の事例から～ 29
小河原 孝司 【茨城県農業総合センター園芸研究所】

本誌に掲載されている要旨の無断転載を固く禁じます

日本植物病理学会 EBC(Evidence-based Control)研究会

PSJ EBC Workshop

Japanese Journal of Evidence-based Control for Plant Protection

CONTENTS

- ISHIKAWA, K.: Temporal changes in race frequency of *Pyricularia oryzae* on leaves during multiline cultivation of rice cultivar Koshihikari with its isogenic lines 1
- AKAHIRA, T.: Subsequent situation of a non-DMIs control system for apple scab and new enhancement measures in Aomori Prefecture 9
- OCHI, S.: Factors analysis of red crown rot caused by *Calonectria ilicicola* in soybean cultivation ... 14
- IKEDA, K.: Data analysis for developing plant disease control methods with the generalized linear mixed model 21
- KUBO, C.: Effect of temperature on race distribution of *Plasmodiophora brassicae* in Nabana fields in Chiba Prefecture 27
- HOSHINO, K.: Analysis of factors influencing the development of Chinese cabbage yellow by generalized linear model 28
- OGAWARA, T.: Evidence of the spray calendar for diseases and pests on Japanese pear ~ Case of pear scab and ring rot in Ibaraki Prefecture ~ 29

コシヒカリマルチラインにおけるいもち病菌レース頻度の変化

Temporal changes in race frequency of *Pyricularia oryzae* on leaves during multiline cultivation of rice cultivar Koshihikari with its isogenic lines

新潟県病害虫防除所 石川 浩司

E-mail: ishikawa.koji2@pref.niigata.lg.jp

Abstract

The Koshihikari Multiline (94,000 ha at the time of introduction) introduced in Niigata Prefecture in 2005 still maintains a high disease-suppressing effect. It is necessary to predict the race frequency for continuous use. Therefore, we tested the hypothesis that the simulation model fits the change in race frequency of *Pyricularia oryzae* on leaves. As a result, the race frequency predicted by our simulation model was similar to the results of trials.

1 はじめに

マルチライン（多系品種：一つの原品種に対し抵抗性遺伝子のみが異なる複数の同質遺伝子系統の混植栽培）はイネの持つ真性抵抗性を利用したいもち病の防除技術であり、新潟県は 2005 年にコシヒカリマルチライン「コシヒカリ新潟 BL」（石崎，2010）を約 9.4 万 ha に導入した。

イネの持つ真性抵抗性を利用したいもち病の防除は 1960 年代以降に行われ、真性抵抗性を導入し育成・普及された品種は導入当初は極めて高い発病抑制効果を示したが、数年後には親和性を示す新レースのいもち病菌が出現し、抵抗性が無効となった（岩野，1987）。そこで、欧米においてムギの病害などで効果が確認されていたマルチラインがその欠点を補う真性抵抗性の利用法として期待され、イネいもち病防除への利用に向け試験が行われてきた（小泉・谷，1996；進藤・堀野，1989）。

いもち病菌のレース頻度は地域におけるイネの真性抵抗性遺伝子型別の作付率と関連があり、作付け品種の変更に伴い変化する（本田ら，1998；岩野・山田，1983）。このため、マルチラインを継続的に利用するにはマルチライン導入に伴うレース頻度の変化に対応して、非親和性品種の割合を 70~80%に維持し慣行の薬剤防除体系と同等の発病抑制効果（石川，2004；小泉・谷，1996）が得られるようにする必要がある。しかし、国内で行われたマルチラインの圃場試験は発病抑制効果の確認や発病抑制機構を解明するために行われた単年度の試験であり、継続利用に必要なマルチラインにおけるいもち病菌レースの動態（＝レース頻度の変化）は未解明であった。

レース頻度の変化を制御してマルチラインを継続利用する方法について、理論研究が行われ国内では清沢が理論モデル（Kiyosawa and Yabuki, 1976）を用い解析を行っている（清沢，1982, 1983；清沢，1995）。しかし、マルチラインにおけるレース頻度の変化の詳細は明らかとなっていないため、それらのモデルがどの程度現実を説明できているかは不明であった。また、理論研究では一定の前提条件を設定して利用方法を比較しているが、前提条件の違いで推定結果が大きく異なる可能性がある。

そこで、コシヒカリマルチラインでは、理論研究や先行事例のササニシキマルチラインを参考にしながら、新潟県内のレース頻度の解析、マルチラインにおけるレース頻度の変化の解明、発病抑制効果の確認試験等を根拠に利用方法を決定した。

また、マルチラインでは葉いもち病斑の分布割合が単植栽培に比べ上位葉で低く下位葉で高い（芦澤ら，2000；堀ら，2003）、圃場試験の発病抑制効果が理論的な発病抑制程度より低い（芦澤，2007）など、要因が未解明な現象が残っていた。マルチラインによる発病抑制効果といもち病菌レース頻度の変化は、同一の現象であるいもち病菌の動態を異なる基準で評価しており両者には密接な関係があり、未知の発病抑制効果があればレース頻度にも影響するため、これらについての解析も行った。

本講演では、これらの解析についてコシヒカリマルチラインにおけるレース頻度の変化を中心に紹介する。

2 マルチラインの発病抑制の仕組み

(1) 葉もち

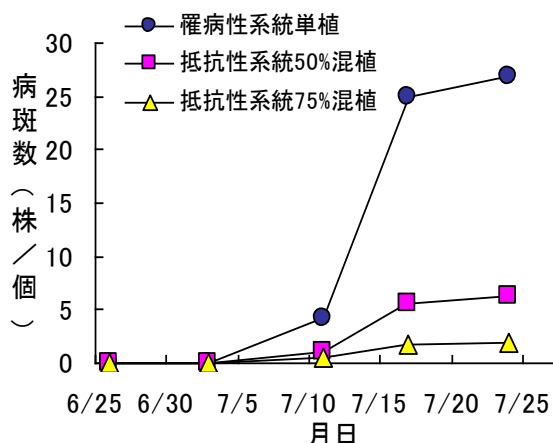
混植栽培では、ほ場周辺に存在するレースに対して非親和性の系統は発病しないため、親和性系統の単植栽培に比べて感染可能なイネ（親和性系統）が減少し、その結果として病斑数が少なくなる。この病斑は次世代の伝染源となるので、感染に好適な条件が現れ発病が進展するたびに単植との発病程度の差が大きくなり、発病が抑制される (Mundt, 2002)。

非親和性菌によって誘導されるイネの抵抗性 (大畑ら, 1967) も混植における発病抑制の1つの要因であると考えられていた (Nakajima, T. et al., 1996)。しかし、イネ葉身での誘導抵抗性の発現は非親和性菌の侵入部位周辺に限られ (大畑ら, 1967)、発病抑制効果を得るには非親和性菌の密度が高い必要がある (藤田ら, 1990) が、実用的な発病抑制効果が期待できる混植比率では病斑数が少なく推移することなどから、現在では発病抑制への影響は少ないと考えられている。また、菌の安定化選択 (病原性の獲得に伴う適応度の低下等による菌の競合現象) も発病抑制に寄与するのではと考えられているが、まだ明らかになっていない。病原性の広いレースのいもち病菌によって発病したほ場において、発病進展が遅かったり被害の発生が少ないなどの現象は認められないので、安定化選択の1作期中の発病抑制への影響は小さいと思われる。しかし、安定化選択の有無や適応度の低下程度は、新たに発生した病原性の広いレースの定着やその後の頻度に影響するため、解明が待たれる重要な問題である。

非親和性系統によるバリアー (障壁) としての効果を発病抑制要因の1つとする考えもある。しかし、清沢 (1995) も指摘しているように、同じ草型の系統を混植するマルチラインではバリアーの効果を考慮する必要は無いと思われる。

(2) 穂もち

混植では、①穂もち伝染源となる葉もちの発生が抑制される (第1図)、②非親和性系統は完全ではないが穂もち感染が抑制される (堀ら, 2006)。その他、上記に比べ影響は小さいながら、③混植では病斑の垂直分布が中～下層中心になり、上位葉における病斑の分布割合が単植より低くなる現象 (芦澤ら, 2000; 堀ら, 2003) も関与していると考えられている。



第1図 感受性系統と抵抗性系統の混植による葉もち病斑数の推移
(平成14年, 新潟農総研作物研究センター)
(注) 現地試験 (小千谷市真人) における調査結果

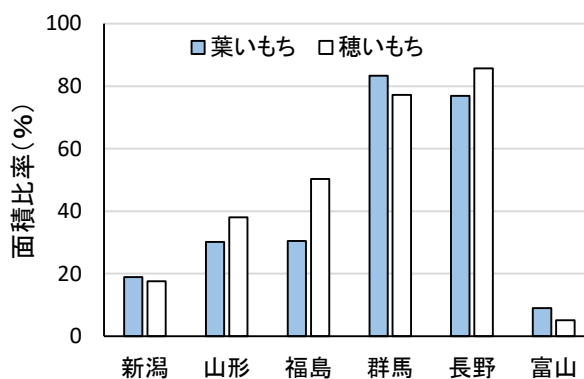
3 コシヒカリマルチラインの導入によるいもち病発生面積、薬剤使用量の変化

(1) 農薬の使用量

いもち病防除薬剤の出荷量は、導入前の2004年を100とすると、直近の5カ年平均で33.5%となりマルチライン導入により1/3に減少している。

(2) いもち病の発生量

穂もちの発生面積率は、農薬の出荷量が減少したにもかかわらず導入前の2割弱となっており、富山県を除く近隣県より低いレベルで推移しており、コシヒカリマルチラインの高い発病抑制効果が発揮されている (第2図)。

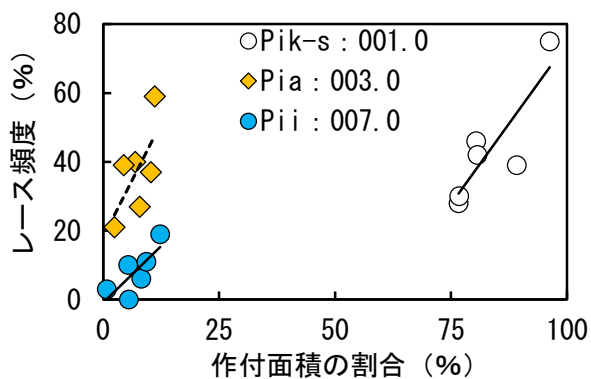


第2図 マルチライン導入前に比べた導入後のいもち病発生面積割合 (面積はJPP-NETより)
導入前: 1990~2004年, 導入後: 2005~2020年

4 新潟県におけるいもち病菌のレース頻度

1965年から2002年までの新潟県におけるレース頻度は、品種の作付け面積割合の変化に数年遅れて変化していた。1960年代に *Pik* を持つ品種が栽培されると、それに対応したレース 03X (旧判別体系の C 群レース) の頻度が高まり 1968~1973 年頃優先レースとなった。 *Pik* 品種の栽培は 1966 年をピークに減少し、レース 03X の頻度は 1974 年頃から低下した。 *Pik* 品種に代わり 1970 年頃から *Pii* を持つ品種の栽培面積が増加すると、それに対応したレース 007 (旧判別体系の N 群レース) の頻度が 1974 年頃から高まった (岩野・山田, 1983)。このように、新潟県におけるレース頻度は、抵抗性を持つ品種の導入によってその品種の真性抵抗性に対応した新たなレースが優先となる方向性選択と考えられる現象と、品種の栽培が減少すると優先レースが病原性のより単純なレースに置き換わり、最も増殖に有利と考えられる病原性の広いレースが必ずしも優先とっていない安定化選択によると考えられる現象が認められた。

1998~2002 年の新潟県では、品種の作付け面積割合の変化が少なく、この間のレース頻度の変化も小さかった。県内の 6 地域では品種の作付け面積割合が異なり、 *Pia* 型や *Pii* 型の真性抵抗性を持った品種の作付率が高い地域では、その品種から多く分離されるレース 003.0 や 007.0 の分離率が高まる傾向が認められた (第 3 図)。しかし、その関係は抵抗性遺伝子型と菌株のレースとの組合せで異なり、 *Pik-s* 型品種の作付率が約 60% を超えないとレース 001.0 の分離率が高まらないのに対し、 *Pia* および *Pii+Pia*、 *Pii* では作付率が 20% 未満でもレース 003.0、007.0 の分離率は急激に増加した (石川ら, 2005)。このように、より病原性の幅の広いレースが感染可能な品種の存在は地域のレース分布に大きく影響すると考えられた。



第 3 図 1998~2002 年の新潟県内 6 地域における作付け面積割合とレース頻度

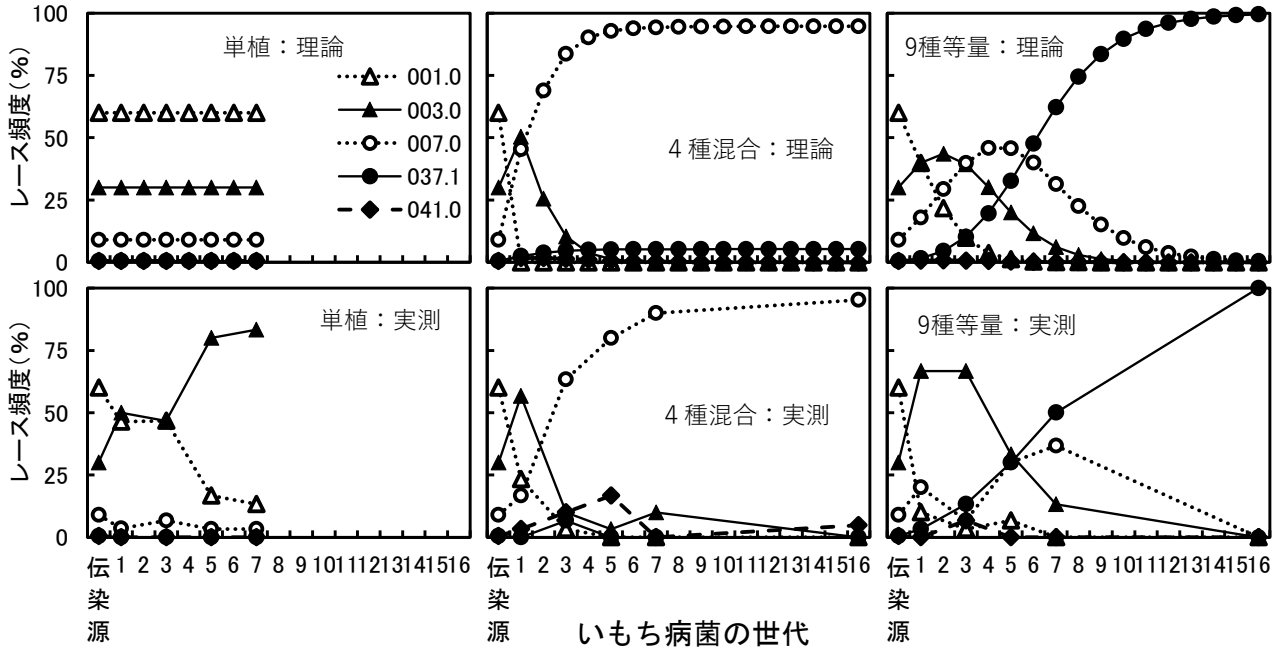
(石川ら, 2005 を転載)

5 マルチラインにおけるレース頻度の変化

マルチラインの葉いもちにおけるレース頻度の変化は Kiyosawa and Yabuki (1976) の理論モデルが適合するとの仮説を設け試験を行った (石川ら, 2021a)。

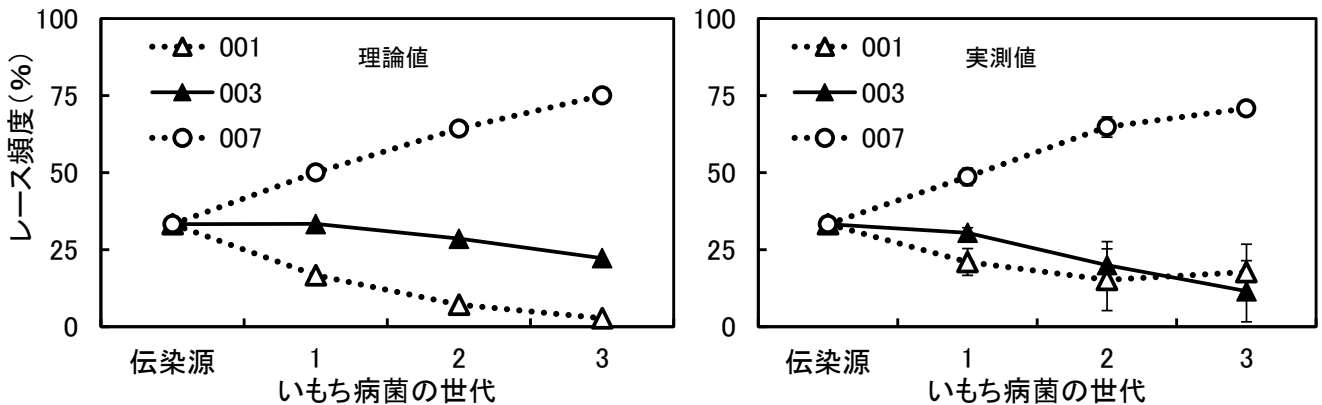
まず、自然光形人工気象室において 4~5 葉期のイネを用い、構成品種および構成比の異なる *Pik-s* (コシヒカリ) 単植区、4 種混合区 (*Pia* : *Pii* : *Pita-2* : *Piz* = 1 : 2 : 5 : 2)、9 種等量混合区 (*Pik-s*, *Pia*, *Pii*, *Pita-2*, *Piz*, *Pik*, *Pik-m*, *Piz-t* および *Pib* の等量混合) の 3 区を設けた。2002 年頃の新潟県内のレース頻度を模した初期伝染源を与え、発病イネを伝染源とした継代接種を 16 回行い、レース頻度の変化を調査した (第 4 図)。

単植区で世代が進むに従い 003.0 の頻度が高くなり、理論値と異なる推移となったが、供試したレース 003.0 の菌株の中に増殖力が高い菌株が存在した可能性を示唆している。そのような条件下でも 4 種混合区と 9 種等量混合区で世代が進むに従い最も頻度の高いレースが交代しながら、第 16 世代には 4 種混合区ではレース 007.0、9 種等量混合区ではレース 037.1 が優占化し、理論値と実測値のレース頻度はほぼ同様な推移を示した。



第4図 異なる品種構成における16世代までのレース頻度の変化 (石川ら, 2021a を一部改変して転載)
 4種混合 $Pia : Pii : Pita-2 : Piz = 1 : 2 : 5 : 2$
 9種等量混合 $Pik-s, Pia, Pii, Pita-2, Piz, Pik, Pik-m, Piz-t$ および Pib の等量混合
 理論値は Kiyosawa and Yabuki (1976) を用い算出した。

次に、圃場で $Pik-s : Pia : Pii = 1 : 1 : 1$ の区を設け、伝染源のレース構成比を $001.0, 003.0, 007.0 = 1 : 1 : 1$ とし、自然感染条件下でのレース頻度の変化を調査した (第5図)。レース頻度の理論値と実測値の推移は、 001.0 や 003.0 の頻度の低下程度が理論値とやや異なったものの、レース 007.0 の頻度が次第に高まり、全体としては同様な推移をしていたと考えられた。



第5図 圃場の葉いもちにおけるいもち病菌レース頻度の変化 (石川ら, 2021a を転載)
 コシヒカリ, コシヒカリ新潟 BL1 号及び2号を $Pik-s : Pia : Pii = 1 : 1 : 1$ で種子混合し、栽培した。
 理論値は Kiyosawa and Yabuki (1976) を用い算出した。
 エラーバーは標準偏差。

さらに、各構成品種別のレース頻度についてガラス温室内でポット試験を行った。 $Pik-s : Pia : Pii = 1 : 1 : 1$ の試験区を設け、レース $001.0 : 003.0 = 1 : 1$ の伝染源を設置し、品種・世代別にレース頻度の変化を調査した (第1表)。コンタミによると考えられる 007.0 の分離が認められたものの、影響は小さいと考え検討の対象から除外した。各品種の病斑数とレース頻度から推定したコシヒカリにおけるレース $001.0, 003.0$ の病斑数、BL1 号における 003.0 の病斑数についてカイ二乗検定を行ったが、第1世代病斑数、第2世代病斑数ともに理論値と実測値には有意な差が認

められず、実測値は理論値に適合していた。

第1表 品種・世代別の病斑数およびレース頻度の理論値との比較 (石川ら, 2021aを転載)

		第1世代			第2世代			
		コシヒカリ	BL1号	BL2号	コシヒカリ	BL1号	BL2号	
理論値 ^{a)}	病斑数	001.0	12.2	0	0	42.9	0	0
		003.0	12.2	12.2	0	85.8	85.8	0
		007.0	0	0	0	0	0	0
		合計	24.4	12.2	0	128.7	85.8	0
レース頻度	001.0	50.0	0	0	33.3	0	0	
	003.0	50.0	100	0	66.7	100	0	
	007.0	0	0	0	0	0	0	
	合計	50.0	100	0	66.7	100	0	
実測値	病斑数 ^{b)}	001.0	11.4	0.5	0	46.5	2.8	0.1
		003.0	10.6	12.8	0	80.2	76.3	0.1
		007.0	0.7	0.5	0.2	0	5.7	2.8
		合計	22.7	13.7	0.2	126.7	84.8	3.0
レース頻度	001.0	50.0	3.3	0	36.7	3.3	3.3	
	003.0	46.7	93.3	0	63.3	90.0	3.3	
	007.0	3.3	3.3	100	0	6.7	93.3	
	合計	46.7	93.3	100	63.3	90.0	93.3	

a) 理論値は Kiyosawa and Yabuki(1976)を用い算出した。

b) 各レース別の病斑数は、各品種の病斑数とレース頻度から算出した。値は25株の平均値。

c) 伝染源のレース頻度は、レース 001.0 : 50%, レース 003.0 : 50%。

このように、イネ群落全体および品種内のレース頻度のいずれにおいても、一部一致しない点も認められたが、レース頻度の理論値と実測値の推移は近似しており、マルチラインの葉もちにおけるレース頻度の推移には Kiyosawa and Yabuki の理論モデルが適合すると考えられた。

6 要因未解明の現象の解析

(1) 病斑の垂直分布

マルチラインでは、分布する病斑の高さを調べると、親和性品種の単植栽培（以下、単植栽培）に比べ群落上層に存在する病斑の割合が低くなることが報告されている（芦澤ら, 2000 ; 堀ら, 2003）。この現象について、マルチラインによって病勢進展が抑制される以外に垂直進展を抑制する別の要因が関与している可能性があるが、その要因は不明（芦澤, 2007）とされていた。

そこで、この現象が生じる要因を、生育中の下位葉の病斑が伝染源となり上位葉に感染する簡易な発病進展モデルを作成し、葉位別病斑数で解析した（第6図）。モデルで、親和性 : 非親和性 = 1 : 0, 1 : 1, 1 : 3 の条件を設け、各区の1病斑あたりの病斑増加量は親和性品種の混植割合に比例するとして演算すると、葉位別病斑数の分布割合は親和性 : 非親和性 = 1 : 0 では上位葉で高く、1 : 3 では下位葉で高くなった。1 : 1 では1 : 0 に比べ、病斑数の分布割合が下位葉で高くなった。モデルに組み込んだ発病抑制効果は希釈の効果のみであり、マルチラインでは希釈の効果によって親和性品種の単植栽培に比べ、群落上層に存在する病斑の割合が低くなることが示された（石川ら, 2021b）。

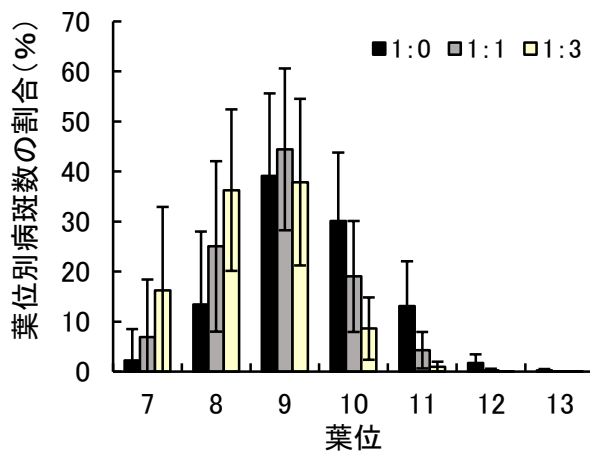
(2) 発病抑制効果の理論値と圃場試験の違い

小規模な圃場試験で評価されたマルチラインの発病抑制効果は理論値よりも低いと報告されている（芦澤, 2007 ; 石川ら, 2021b）。これは解析に使用した理論モデルで考慮されていない要因があるためで、Mundt (2002) はマルチラインの圃場試験では比較の為に設置された単植区の影響で発病抑制効果が低下すること、その程度は試験区の大きさや風の状況により変動することを指摘している。

そこで、隣接試験区からの移入の影響について、葉いもちが伝染勾配 (石川ら, 2008) に従い菌が拡散しながら発病進展する格子モデルを用い検討した結果、小規模試験では隣接試験区からの移入の影響で発病抑制効果が低く評価され、その影響は効果の高い試験区ほど大きいことが明らかとなった (石川, 未発表)。

また、発病抑制効果の理論値はいもち病菌の世代毎に算出されるのに対し、圃場試験では世代別の調査は行われておらず、より発病抑制効果の低い前の世代の発病も含め調査されている。さらに、生育後半には生育が進みイネ葉身がいもち病に抵抗的になるとともに、梅雨明けなどにより感染好適条件が現れにくくなり病勢が停滞する。このため、新しい世代の病斑が群落全体の病斑に占める割合が低くなることも発病抑制効果が低く評価される要因となっていると考えられる。

このように、病斑の垂直分布は希釈の効果、発病抑制効果の理論値との違いは隣接試験区からの移入の影響と後半の病勢進展の停滞によって説明が可能で、マルチラインの菌動態に大きく影響する未知の要因は存在しないと考えられる。



第6図 葉位別病斑数の割合 (石川ら, 2021b を転載)

- 7葉から13葉までの総病斑数に対する、各葉位の病斑数の割合を求めた。
- 1:0, 1:1, 1:3は、親和性品種：非親和性品種の混植比を示す。
- 病勢進展経過の異なる1000回の演算結果の平均値。
- エラーバーは標準偏差。

7 利用方法

新潟県内のレース頻度の解析、マルチラインにおけるレース頻度の変化の解明、発病抑制効果の確認試験等から、コシヒカリマルチラインの基本的な利用方法を下記のとおりとした。また、導入から2020年までの構成品種とその構成割合を第2表に示した。

- 親和性：非親和性系統の割合は3：7とし、非親和性系統として2品種を混植する。

発病抑制効果の試験 (石川, 2004 ; 小泉・谷, 1996) から、慣行の防除体系と同等の発病抑制効果を得るには、非親和性系統の割合が7～8割必要。

- 計画的に非親和性系統を変更する。

レースのモニタリングにより新レースの発生を確認してからの構成変更では、採種圃場での増殖を経るため最低でも1年間のタイムラグが発生し、その間に新レースの頻度が高くなるとともに、分布が拡大する懸念がある。

非親和性系統を連続して栽培する年数をなるべく短く (新レースを発生させない・頻度を高めない)、使用しない年数をなるべく長く (安定化選択による頻度低下又は淘汰を期待) する。

第2表 コシヒカリマルチラインの構成品種と構成割合

品種	真性抵抗性	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
コシヒカリ新潟BL1号	<i>Pia</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
コシヒカリ新潟BL2号	<i>Pii</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
コシヒカリ新潟BL3号	<i>Pita-2</i>	50	50	50			35				35	35				35	35
コシヒカリ新潟BL4号	<i>Piz</i>	20	20	20	20	20		35	35	35			35	35	35		
コシヒカリ新潟BL10号	<i>Pib,i</i>				50	50	35										
コシヒカリ新潟BL11号	<i>Piz-t,i</i>							35	35	35	35	35				35	35
コシヒカリ新潟BL13号	<i>Pit</i>												35	35	35		

8 導入後のいもち病菌レース

(1) コシヒカリマルチライン導入によるレース構成の変化

モデルによる演算でコシヒカリマルチラインの導入により県内のレース分布は大きく変化すると予想されていた。県内主要レース 001.0, 003.0, 007.0, 037.1 の分離頻度は導入前の2004年のそれぞれ42.3, 24.5, 19.6, 4.9%に対し、導入後の2005年は5.1, 16.4, 55.4, 16.0%, 2006年は1.5, 1.3, 54.0, 29.4%となり、速やかに県内の優占レースが001.0, 003.0から*Pii*に病原性を持つ007.0, 037.1に交代するレース構成の急激な変化が認められ(石川ら, 2007), このレース頻度の推移は幼苗を用いた試験における4種混合区の結果に近かった。

(2) 新レース (BL 侵害菌) の発生

2008年以降、県内の一部地域で真性抵抗性*Pita-2*, *Piz*, *Pib*を持つ品種に感染可能な何種類かの新レースが確認され、局地的に優先レースとなる事例も確認された。新レースの地理的分布の年次推移をみると、新レースが確認された地域では翌年以降も同じレースの菌が確認された。種類の異なる新レースが高頻度で確認された5地区を対象に、レース頻度の年次推移を調査した。その結果、新レースが感染可能なイネの構成割合が低下した年次には、レースの分離頻度は著しく低下し、逆の場合はレースの分離頻度が高まり、構成品種の変更がレース頻度に大きな影響を与えることが明らかとなった。これらの菌の分離頻度は構成品種の変更等により低下し、現在では全く分離されないか、一部のレースが低頻度ながら分離されている状態が維持されている(石川ら, 2013; 堀ら, 2019)。

9 おわりに

新潟県で2005年に導入したコシヒカリマルチラインは現在も高い発病抑制効果を維持している。しかし、非親和性を期待して導入した真性抵抗性を侵害する種類の異なる新レースが複数の地域で発生し、発生ほ場周辺では一時的に新レースの分離頻度が高くなった。出現した新レースの中には*Pita-2*と*Pib*, *Piz*と*Pib*の2種類の真性抵抗性に対する病原性を獲得した菌が確認され、このようなレースは1つの真性抵抗性を侵害するレースが発生しある程度の頻度になってから発生するのではないかと予測に反する事態であった。幸いなことに構成品種の変更等によりこれらの菌の分離頻度は低下したが、この現象がどのような要因によるものなのか解明し、普遍的に期待できる現象なのかを確かめる必要がある。

引用文献

- 芦澤武人・善林 薫・藤 晋一・小泉信三(2000). 抵抗性ササニシキ同質遺伝子系統の混植がイネ群落内における葉いもち病斑の分布と穂いもちの発病に及ぼす影響. 日植病報 66:109(講要).
- 芦澤武人(2007). マルチラインにおけるイネいもち病の発病抑制機構とシミュレーションモデルによるその解析. 東北農研報 108:1-46.
- 藤田佳克・園田亮一・八重樫博志(1990). 病斑型を異にする非親和性いもち病菌の前接種による葉いもち発病抑制. 日植病報. 56:273-275.
- 本田浩央・本間隆・佐藤智浩・内藤秀樹(1998). 山形県におけるイネいもち病菌レースの近年の分布推移. 北日本病虫研報 49:5-7.

- 堀 武志・石川浩司・佐々木行雄・芦澤武人(2003). コシヒカリとその抵抗性同質遺伝子系統の混植栽培での穂いもち発病抑制に関する要因. 日植病報 69:268(講要).
- 堀 武志・黒田智久・石川浩司(2006). 非親和性イネいもち病菌に対するいもち病抵抗性同質遺伝子系統の穂いもち抵抗性の変動要因. 日植病報 72:219(講要).
- 堀 武志・黒田智久・松澤清二郎・小瀧慶・石川浩司(2019). 新潟県においてコシヒカリマルチライン普及後に分布したイネいもち病菌レースの推移. 日植病報 85:268(講要).
- 石川浩司(2004). 新潟県におけるイネいもち病防除対策としてのマルチラインの利用. 農業技術 59:72-76.
- 石川浩司・小瀧慶司・堀 武志・原澤良栄・佐々木行雄(2005). 新潟県において1998~2002年に分布したイネいもち病菌のレース. 北陸病虫研報 54:1-6.
- 石川浩司・黒田智久・堀 武志・佐々木行雄(2007). 新潟県のコシヒカリ同質遺伝子系統において2005~2006年に分布したイネいもち病菌のレース. 日植病報 73:203(講要).
- 石川浩司・堀 武志・黒田智久・佐藤秀明・原澤良栄(2008). 葉いもち感染時に観察される伝染源からの4種類の伝染勾配. 日植病報 74:209(講要).
- 石川浩司・黒田智久・岩田大介・小瀧慶司・堀 武志(2013). 新潟県のコシヒカリ同質遺伝子系統において2007~2012年に分布したイネいもち病菌のレース. 日植病報 79:196(講要).
- 石川浩司・堀 武志・黒田智久(2021a). レース頻度変化の理論モデルのコシヒカリマルチライン葉いもちへの適合性の検証. 日植病報 87:222-230.
- 石川浩司・堀 武志・黒田智久・佐々木行雄(2021b). マルチラインで葉いもち病斑の垂直分布割合が上位葉で低くなる要因. 北陸病虫研報 70:27-31.
- 石崎和彦(2010). 新潟県における「コシヒカリ新潟 BL シリーズ」の開発と普及. 育種学研究 12:160-164.
- 岩野正敬(1987). 稲作における新品種導入・普及と病原菌レースの変動. 農林水産技術研究ジャーナル 10:23-28.
- 岩野正敬・山田昌雄(1983). イネいもち病菌レースの分布とその変動要因に関する研究. 北陸農試報 25:1-64.
- Kiyosawa, S. and Yabuki, S.(1976). Modeling On the Race Frequency Change in a Host Pathogen System with Genes for Resistance and Avirulence. J.Breed.26:237-246.
- 清沢茂久(1982,1983). 今後の病害抵抗性育種と関連する諸問題. 農業技術 37:444-448,500-505,538-542, 38:20-24.
- 清沢茂久(1995). 多系品種利用・研究への提言. 農業技術 50:108-113, 159-163,210-212.
- 小泉信三・谷 俊男(1996). いもち病の発病抑制効果におけるササニシキ多系品種と圃場抵抗性強品種及び薬剤散布の比較. 愛知農総試研報 28:53-68.
- Mundt, C.C.(2002). Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. Annu.Rev.Phytopaol.40:381-410.
- Nakajima, T., Sonoda, R., Yaegashi, H. and SAITO.H. (1996) . Factors related to suppression of leaf blast disease with a multiline of rice cultivar Sasanishiki and its isogenic lines. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 62:360-364.
- 大畑貫一・高坂淩爾(1967). いもち病病斑形成に対する race 間の局所的干渉作用と病斑部に見られる蛍光物質について. 農技研報 C21:111-132.
- 進藤敬助・細野 修(1989). 多系品種の利用によるいもち病の発病抑制. 東北農試研報 79:1-13.

青森県におけるリンゴ黒星病 DMI 耐性菌対策のその後の状況と新たな強化策について

Subsequent situation of a non-DMIs control system for apple scab and new enhancement measures in Aomori Prefecture

地方独立行政法人 青森県産業技術センター りんご研究

赤平知也

tomoya_akahira@aomori-itc.or.jp

Abstract

In 2016, outbreak of apple scab occurred in Aomori prefecture. The factor of the outbreak was a decrease in the sensitivity of *Venturia inaequalis* to DMI fungicides used to control the disease. In 2017, introducing a non-DMI control system (without using DMI fungicides) has decreased occurrence of scab compared to the previous year. However, in 2018, it occurred again due to the favorable weather conditions for scab, and the damage was more severe than in 2016. At the same time, QoI-resistant apple scab was occurred, and apple scab was detected in the stored fruits produced in 2017. Therefore, in 2018, we had to change to a non-QoI control system (without using QoI fungicides). In order to deal with problems, we constructed a new control system that placed multiple types of fungicides including those with curative effects during the primary control period

はじめに

青森県では 2016 年にリンゴ黒星病が多発し、その要因は黒星病に対して治療効果を示すステロール脱メチル化阻害 (DMI) 剤耐性菌の顕在化であった。2017 年は DMI 剤を使用しない予防剤主体の防除を実施し、一定の効果が得られたものの、2018 年は黒星病の発生に好適な気象条件が続いたことで再び多発し、2016 年を上回る激しい被害となった。また、DMI 剤耐性菌の顕在化とほぼ同時期にユビキノール酸化 QoI 阻害 (QoI) 剤に対しても耐性を示す黒星病菌が広域で確認され、2018 年には前年産の貯蔵リンゴに黒星病が発生し、大きな問題となった。被害果からは高頻度で QoI 剤耐性菌が確認されたことから、2018 年度途中で急遽 QoI 剤を使用しない防除体系へ変更した。この一連の問題に対応するため、青森県では DMI 剤に替わる治療的効果を示す複数系統の殺菌剤を検索し、それらを春季の重点防除時期に配置した新しい防除体系を構築し、2021 年より普及に移した。ここでは、青森県におけるリンゴ黒星病の状況と普及に移した新しい防除体系について紹介したい。

1. 発生生態

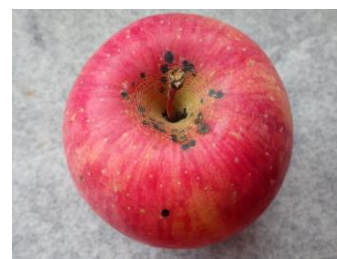
リンゴ黒星病は *Venturia inaequalis* によって引き起こされる病害であり、葉、果実、枝に円形～不整形で褐色～暗褐色の病斑を形成する(図-1)。果実では幼果期に生じた病斑がかさぶた状となり肥大とともに裂果し、商品価値を失うため、経済的被害が大きくなる。リンゴ黒星病菌は主に前年の被害落葉で越冬し、春になると地表面の落葉上で一次伝染源となる子のう胞子が成熟する。子のう胞子は4月上中旬～6月上中旬にかけて降雨に伴い飛散し、葉や果実に感染するが、飛散量は4月下旬～5月中下旬が最も多くなる。葉での発病は5月中旬ころから認められ、病斑には二次伝染源となる多量の分生子が形成され、降雨に伴って他の葉や果実に感染する。この二次感染は秋まで繰り返されて被害が増加し、被害葉は秋から冬にかけて落葉して翌年の伝染源となる。また、果実では樹上で感染しても収穫時までには発病せずに、貯蔵後に発病することがある(杉木ら、1984;図)。このため、青森県では「ふじの展葉1週間後頃」～「ふじの落花20日後頃」を黒星病の重点防除時期(平山ら、2019)とし、最終散布の「8月末」までは防除対象と捉えて期間中の防除を指導している。



被害葉



被害果



貯蔵果の被害

図1 リンゴ黒星病の病徴

2. 青森県における耐性菌の顕在化と多発要因

(1) 耐性菌(DMI 剤・QoI 剤)の顕在化

1980年代に登場したステロール脱メチル化阻害(DMI)剤は黒星病に対して安定的に高い防除効果を発揮していたこと、治療的な効果を有していたことから、これまでリンゴ産地では主に開花期から落花期の重点防除時期に使用されてきた。ところが、全国の生産量の半分以上を占める青森県において 2016年に黒星病が大発生し、発生面積(12,418ha)は結果樹面積(19,910ha)の6割を占め、被害果率80%を超える園地もみられるなど甚大な被害を受けた(赤平ら, 2017)。このような状況は翌年少し落ち着くものの、2018年まで続いた。その後の調査で長年使用されてきた DMI 剤の耐性菌が顕在化したことが主要因であることが明らかとなった(赤平ら, 2017; 平山ら, 2017a)。このため、2017年からは DMI 剤の使用を中止し、コハク酸脱水素酵素阻害(SDHI)剤を主体とした防除体系を実施した。これによりその年の発生は前年よりも少なく抑えられ(平山, 2018)、一定の効果を収めることが出来たかにみえたが、2018年は黒星病の発生に好適な気象条件が続いたことで再び多発し、発生面積(14,584ha)が結果樹面積(19,809ha)の7割を超え、2016年を上回る激しい被害となった(赤平, 2019; 図-2)。また、時を同じくしてユビキノール酸化Qo阻害(QoI)剤の耐性菌も津軽地方の広域で確認され(平山ら, 2017b; 雪田, 2017)、その対策を検討していた矢先の2018年には前年産の貯蔵果実に黒星病が発生し、消費地市場や流通現場を中心に大きな問題となった(赤平, 2019)。被害果からも高頻度でQoI剤耐性菌が確認されたことから、年度途中でQoI剤を使用しない防除体系への変更を余儀なくされた。

生産現場では、2016年の多発を受けて散布間隔を短くするなどして対応してきたにもかかわらず、再び多発したことから、DMI 剤を使用しない新たな防除体系が有効であっても、菌密度が高まっている状況下ではその効果が十分に発揮されない可能性がある。このような状況下では耕種的防除を積極的に取り入れて菌密度の低下を図る必要がある。

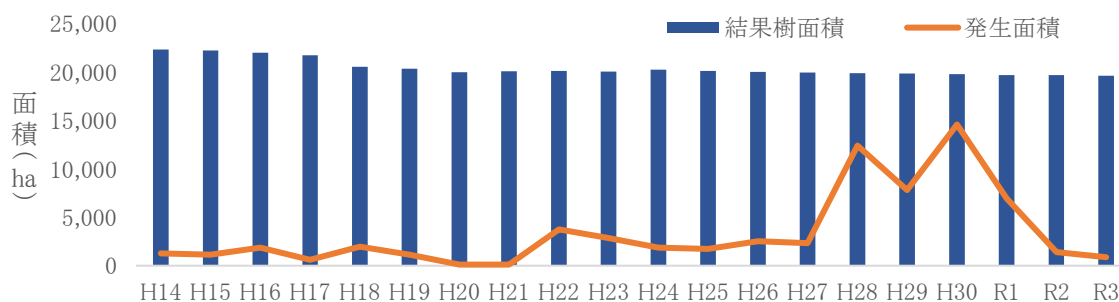


図2 青森県におけるリンゴ黒星病の発生推移 (青森県有害動物発生予察年報)

(2) 多発要因

青森県で数年に渡って多発した黒星病は耐性菌の顕在化が主要因ではあったが、この他の要因としては重点防除時期にあたる4月中下旬～6月上旬に断続的あるいは連続した降雨にみまわれるなど、黒星病の発生に好適な条件に遭遇したことで被害が拡大した。被害が大きかった園地では前年の発生率が高く、被害落葉の処理や被害葉・被害果の摘み取りといった耕種的防除も実施されず、菌密度を高めている傾向にあった。また、リンゴではスピードスプレーヤ(以下SS)を利用した防除が一般的であるが、多発生園では重点防除時期における散布量が標準散布量に比較して少ない、園地の周縁部や道路際等SSの散布しにくい場所で発生が目立つ、枝量が多く葉が混雑している園地で発生が多い、といったことが共通していた(赤平ら, 2021)。

3. 耐性菌を考慮した新たな防除体系の構築

前述のように黒星病の被害を受けて、青森県ではDMI 剤及びQoI 剤の使用を中止し、耐性菌に対しても効果の高いSDHI 剤や保護殺菌剤等の予防剤を主体とした防除体系に切り替えて対応してきた(赤平ら, 2017; 平山ら, 2017a)。しかし、重点防除時期にあたる4月中下旬～6月上旬は予期せぬ低温や長雨に遭遇することがあり、適期散布ができずに防除の失敗を招くこともある(雪田, 2019)。また、生産現場では予防剤の特性から降雨前散布を重視し、散布間隔を短縮するなどの負担が増えたにもかかわらず、黒星病の発生がみられるなど防除に苦慮していた。そこで、重点防除時期の再検討を皮切りに DMI 剤の

ような治療効果を有する薬剤を検索し、これら治療剤を重点防除時期に配置した新たな防除体系の構築を試みた。

(1) 防除時期の再検討

黒星病の防除は予防的防除が基本であり、一次感染の防除が最も重要である。これまで子のう胞子の飛散は 4 月中旬～6 月上旬頃であり、5 月中旬頃が最も飛散量が多くなることから(新谷, 1996), 青森県では重点防除時期を「開花直前」(5 月上旬頃)から「落花 15 (20) 日後頃」(5 月下旬～6 月上旬頃)として対策を講じてきた。しかし、黒星病の発生増加に伴い、防除時期を再検討したところ、子のう胞子の飛散は 4 月上旬頃から 6 月上旬中頃であり、4 月下旬頃に最も飛散量が多くなった(平山ら, 2019)。このことから、黒星病の重点防除時期を早め、「展葉 1 週間後頃」(4 月下旬頃)から「落花 20 日後頃」(6 月上旬頃)とした。

(2) 治療効果を有する薬剤の検索

複合耐性菌(DMI 剤, QoI 剤および β-チューブリン重合阻害(MBC)剤)が存在する園地から採集した黒星病菌を供試して試験を実施した結果, SDHI 剤やメチオニン合成阻害(AP)剤のほか, ジチオカーバメート剤等の多作用点接触活性剤はいずれも高い予防効果を示すことが明らかとなった(平山, 2018;表-1)。次に黒星病菌の接種 3 日後または 5 日後に薬剤を散布する方法で治療効果を検討したところ, 程度に差はあるもののイミノクタジン酢酸塩液剤, SDHI 剤のインピルフルキサム水和剤とフルオピラム水和剤(雪田, 2019;平山, 2020;Hirayama, 2022), イプフルフェノキン水和剤およびシプロジニル水和剤は効果が認められた(図-3)。このことから、黒星病の重点防除時期にこれらの薬剤を選択することで、より安定した防除効果が期待できると考えられた。

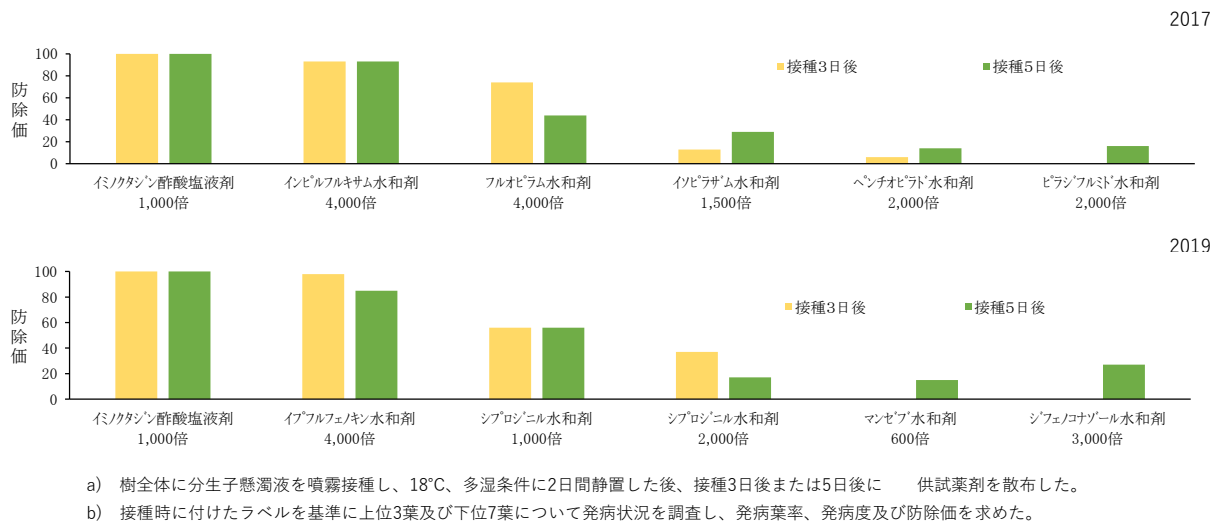
表 1 りんご研究所内ほ場から採集した黒星病菌に対する各種薬剤の防除効果

グループ	供試薬剤	有効成分	希釈倍数	発病葉率	発病度	防除価
MBC	ベノミル水和剤	50.0 %	3,000倍	54.2 %	26.1	31
	チオファネートメチル水和剤	70.0	1,500倍	75.8	45.5	0
SDHI	フルオピラム水和剤	41.7	4,000倍	13.1	4.4	89
	イソピラザム水和剤	18.7	1,500倍	12.5	4.2	89
	ベンチオピラド水和剤	15.0	2,000倍	21.4	7.1	81
QoI	クレンキシムメチル水和剤	50.0	3,000倍	71.4	34.6	9
	トリフロキシストロピン水和剤	25.0	3,000倍	64.2	33.1	13
	ピリベンカルブ水和剤	40.0	3,000倍	15.6	5.5	86
AP	シプロジニル水和剤	50.0	1,000倍	5.8	1.9	95
	マンゼブ水和剤	80.0	600倍	0.7	0.2	99
ジチオカーバメート	プロピネブ水和剤	70.0	500倍	3.1	1.0	97
	チウラム水和剤	40.0	500倍	15.1	5.0	87
フタルイミド	キャプタン水和剤	80.0	800倍	0.0	0.0	100
クロロニトリル	TPN水和剤	72.0	1,000倍	9.2	3.1	92
ビスグアニジン	イミノクタジン酢酸塩液剤	25.0	1,500倍	0.0	0.0	100
	イミノクタジンアルベシル酸塩水和剤	40.0	2,000倍	3.3	1.1	97
キノン	ジチアノン水和剤	42.0	1,000倍	7.3	2.4	94
マレイミド	フルオリミド水和剤	75.0	1,500倍	0.0	0.0	100
	有機銅水和剤	80.0	1,200倍	11.5	3.8	90
混合剤	ピラクロストロピン・ボスカリド水和剤	6.8・13.6	2,000倍	39.6	14.4	62
	キャプタン・ホセチル水和剤	40.0・40.0	800倍	4.0	1.3	97
	キャプタン・有機銅水和剤	20.0・30.0	500倍	2.2	0.7	98
	イミノクタジンアルベシル酸塩・キャプタン水和剤	20.0・45.0	1,000倍	0.8	0.3	99
無散布			—	46.7	38.0	

- a) ポット植え「ふじ」を1区3樹, 2~5本/樹の新梢を供試し, 各新梢先端部の未展開葉と展開葉の間にラベルを付けた。樹全体に供試薬剤を散布・風乾した後、樹全体に分生子懸濁液を噴霧接種し、18°C、多湿条件に2日間静置した。接種源はりんご研究所内ほ場由来の個体群とした。
- b) 接種時に付けたラベルを基準に下位10葉について発病指数別に発病の有無を調査し、発病葉率、発病度及び防除価を求めた。

(3) 耐性発達の回避を考慮した防除体系

治療効果を有する薬剤を利用した防除体系を作成するに当たっては耐性発達の回避を考慮する必要がある。特に青森県の場合は DMI 剤を重点防除時期に連続散布してきた経緯があるため、同一系統の薬剤を連続散布することは避けなければならない。そこで、系統の異なる薬剤の配置を念頭に防除体系を構築した。殺菌剤耐性菌対策委員会 (FRAC) の作用機構による分類によると前節で評価した薬剤のうち、SDHI 剤、イプルフエノキン水和剤及びシプロジニル水和剤は耐性リスクが高い薬剤(中～高)となる(表 2)。そのため、新たな防除体系は系統の異なる治療薬剤を配置するように考慮し、耐性発達を回避しながらも黒星病に対して安定した防除効果を維持できる体系とした(表 3)。



a) 樹全体に分生子懸濁液を噴霧接種し、18°C、多湿条件に2日間静置した後、接種3日後または5日後に 供試薬剤を散布した。
 b) 接種時に付けたラベルを基準に上位3葉及び下位7葉について発病状況を調査し、発病率、発病度及び防除値を求めた。

図3 各種薬剤のリンゴ黒星病菌に対する治療効果 (Hirayama(2022)一部改変)

表2 重点防除時期に使用する各種薬剤の耐性リスクと効果

薬剤名	希釈倍数	FRACコード	耐性リスク	予防効果	治療効果
イミノクタジン酢酸塩液剤	1,000倍	M7	低	○	○
フルオピラム水和剤	4,000倍			○	○
イソピラザム水和剤	1,500倍			○	
SDHI剤		7	中～高	○	
ベンチオピラド水和剤	2,000倍			○	
インピルフルキサム水和剤	4,000倍			○	○
ピラジフルミド水和剤	2,000倍			○	
イプルフエノキン水和剤	4,000倍	52	中～高	○	○
シプロジニル水和剤	2,000倍	9	中	○	○
チウラム水和剤	500倍	M3	低	○	
マンゼブ水和剤	600倍	M3	低	○	
ジチアノン水和剤	1,500倍	M9	低	○	

a) ○：効果あり、空欄：効果なし

(4) 新たな防除体系の実証試験

黒星病対策を強化した防除体系の実用性を検証するため、2020年に表-3の防除体系に準じてスピードスプレーヤ(SS)による大規模試験を実施した。その結果、無散布における黒星病の発生が中発生条件のなか、新たな防除体系区は黒星病の発生はもちろんのこと、うどんこ病やモニリア病等春季の病害の発生は全くみられず、薬害もみられなかった(データ省略)。このことから「展葉1週間後頃」から「落花10日後頃」まで黒星病に対して治療効果を有する薬剤を配置した新たな防除体系の実用性は高いと判断し、2021年からこの防除体系を普及に移した。現在までのところ、新たな防除体系の慣行防除園で黒星病の発生はほとんど確認されていない。

表3 黒星病対策を強化した新たな防除体系とこれまでの防除体系

新たな防除体系(2021～)				DMI剤を利用しない防除体系(2017～)				DMI剤を利用した防除体系(～2016)			
回数	散布時期	基準薬剤(殺菌剤)	希釈倍数	回数	散布時期	基準薬剤(殺菌剤)	回数	散布時期	基準薬剤(殺菌剤)		
1	展葉1週間後頃	イミノクタジン酢酸塩液剤	1,000倍	1	展葉1週間後頃	イミノクタジン酢酸塩液剤	1	展葉1週間後頃	イミノクタジン酢酸塩液剤		
2	開花直前	フルオピラム水和剤	4,000倍	2	開花直前	SDHI剤 ベンチオピラド水和剤	2	開花直前	DMI単剤		
		イノピラザム水和剤	1,500倍								
		ベンチオピラド水和剤	2,000倍								
		インピルフルキサム水和剤	4,000倍								
ピラジフルミド水和剤	2,000倍										
3	落花直後	イブフルフェノキン水和剤	4,000倍	3	落花直後	シプロジニル水和剤 + チウラム剤 又はマンゼブ剤	3	落花直後	DMI混合剤		
		+ ジチアノン水和剤	1,500倍								
		又はチウラム水和剤	500倍								
		又はマンゼブ水和剤	600倍								
4	落花10日後頃	シプロジニル和剤	2,000倍	4	落花10日後頃	チウラム剤 又はマンゼブ剤	4	落花15日後頃	DMI混合剤		
		+ チウラム水和剤	500倍								
		又はマンゼブ水和剤	600倍								
5	落花20日後頃	ジチアノン水和剤	1,500倍	5	落花20日後頃	チウラム剤 又はマンゼブ剤	5	落花20日後頃	DMI混合剤		
		又はチウラム水和剤	500倍								
		又はマンゼブ水和剤	600倍								

a) 新たな防除体系の中のゴシツは黒星病に対して治療効果を有する薬剤

おわりに

2016～2018年の黒星病の多発から一転、2019年以降は重点防除時期が好天に恵まれたことも相まって黒星病の発生は抑えられ、沈静化の様相を呈している。生産者をはじめとしたこれまでのりんご生産に携わる関係者の努力が実を結んだように思う。一方で、2021年の新防除体系を生産現場に提示して以降、「ここ数年、黒星病の発生が少ない」ことを理由に「治療効果のある薬剤は黒星病が発生してから散布する」という考え方が諸所から聞こえてくる。喉元過ぎれば熱さを忘れるのか、甚だ残念で仕方がない。りんご黒星病に限らず、発病後の薬剤散布は十分な防除効果が得られないばかりか、耐性の発達を助長する。今後も高品質りんごの安定生産を維持していくためには、新たな防除体系を持続可能な防除体系として大事に活用していかなければならない。そのためには、殺菌剤使用ガイドライン(殺菌剤耐性菌研究会)に沿った適正使用や耕種的防除の実施を促進するように現場指導していく必要がある。また、今後も各種薬剤に対する感受性のモニタリングを実施し、引き続き耐性菌の発生状況を注視しながら、さらなる技術開発を進めていきたい。

なお、これまでに述べた成果の一部は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化推進事業」、農林水産省「病害虫の効率的防除体制再編委託事業」の支援を受けて実施した。

引用文献

- 1) 赤平知也(2019):果実日本 74(4):38～42.
- 2) 赤平知也・平山和幸・花岡朋絵(2017):植物防疫 71:604～609.
- 3) 赤平知也・平山和幸・花岡朋絵・十川聡子(2021):植物防疫 75:242～247
- 4) 新谷潤一(1996):植物防疫 50:325～328.
- 5) 平山和幸(2018):第28回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集. 60～69.
- 6) 平山和幸(2020):日植病報 86:72～73(講要).
- 7) 平山 和幸・花岡 朋絵・新谷 潤一・對馬 由紀子・赤平 知也(2017a):北日本病虫研報 68:108～114.
- 8) 平山 和幸・赤平 知也・花岡 朋絵(2017b):北日本病虫研報 68:115～119.
- 9) 平山 和幸・十川 聡子・赤平 知也(2019):日植病報 85:42(講要).
- 10) Hirayama K. (2022):J. Gen. Plant Pathol. 88:264～269.
- 11) 杉木 隆・藤田 孝二・松中 謙次郎(1984):青森畑園試報 5:1～7.
- 12) 雪田金助(2017):北日本病虫研報 68:102～107.
- 13) 雪田金助(2019):北日本病虫研報 70:84～89.

ダイズ栽培における黒根腐病の発生リスク要因解析

Factors analysis of red crown rot caused by *Calonectria ilicicola* in soybean cultivation

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 植物防疫研究部門

越智 直

sunaochi@affrc.go.jp

Abstract

Red crown rot of soybean is becoming more serious in the Tohoku and Hokuriku region, but it has not been controlled because it is difficult to detect the disease and because low-cost cultivation of soybean is required. Based on the analysis of damage in fields and the cultivation environment, we have clarified the factors related to this disease and developed a countermeasure manual for red crown rot of soybean.

はじめに

ダイズの作付面積は水田転換畑での転作作物として作付けが奨励されて以降、時期により増減はあるものの、近年は13万～14万ha程度で推移しており(図1)、8割以上が水田転換畑に作付けされている。しかしダイズは湿害に弱く、水田転換畑で栽培する際には排水対策の徹底が重要となる。そこで「ダイズ 300A 技術」といったダイズの生産安定化に向けた技術開発が行われる一方で、ダイズの単収はこの30年向上せず停滞しており(図1)、その原因についてもよくわかっていない。このような状況の中、「大豆・麦等生産体制緊急整備事業」(2013年度)の「大豆・麦の低収要因解明に向けた調査」において黒根腐病の発生がダイズの単収向上を阻害している要因の一つとして抽出され(新良, 2015)、その影響が指摘された。

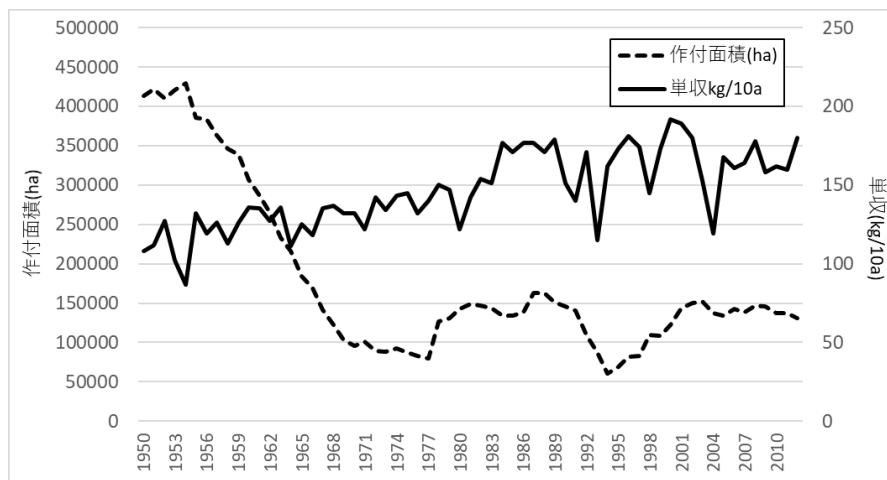


図1. ダイズの作付面積と単収の推移
(農林水産省作物統計調査より作成)

ダイズ黒根腐病は、1968年に千葉県で最初に発生が確認されて以来、ダイズ作付面積および作付頻度の増加とともに発生地域が拡大し、現在では日本のダイズ栽培において最重要病害の一つとされている。黒根腐病菌 *Calonectria ilicicola* は感染したダイズの根に多数の微小菌核を形成し、長期間罹病残渣上に生存するため、次期ダイズ作付時の一次伝染源となる(西ら, 1999; 田澤, 2013; 越智ら, 2015)。このことから、過去に黒根腐病が発生した圃場でのダイズ栽培は、本病の発生リスクを負う事になる。また本病は排水性の悪い圃場で発生しやすい傾向にあり、水田転換畑のダイズ作への利用が増大してきたことも本病拡大の一因と考えられる(西ら, 1999)。これまでの調査および試験から、黒根腐病の発生程度には年次、あるいは圃場間差があり、同一耕作者であっても圃場ごとに異なることから、ダイズ栽培における黒根腐病リスクは複数の要因によって構成されていると推察している。しかし、黒根腐病の発生実態および被害実態については、本病がダイズの栽培後期に顕在化する土壌病害ということもあり、診断が難しくほとんど調査されてこなかった。

そこで筆者らの研究グループは、秋田県、福島県、新潟県、富山県、長野県における黒根腐病の発生実態について調査するとともに、これら5県のダイズ圃場における栽培履歴、圃場環境および栽培条件と黒根腐病との関連性について、本病の発生・被害実態データを用いて解析し、そのリスク要因を抽出した(Akamatsu et al., 2020)。さらにこの解析結果をもとに、ダイズ作付予定の圃場における黒根腐病の発生リスクを推定し、対策技術を適用するためのマニュアル「ダイズ黒根腐病のリスク診断・

対策マニュアル」を作成した(赤松ら, 2020). ここでは, 1.黒根腐病の発生生態, 2.上述の 5 県における黒根腐病の発生実態, 3.黒根腐病の発病程度とダイズ収量および品質との関係, 4.ダイズ栽培における黒根腐病に関連する要因解析について紹介する.

なお, 紹介する内容は主に農林水産省委託プロジェクト研究「収益力向上のための研究開発(課題名:多収阻害要因の診断法及び対策技術の開発)」によって得られた成果である.

1. ダイズ黒根腐病の発生生態

ダイズ黒根腐病は土壌伝染性糸状菌 *C. ilicicola* によって引き起こされる土壌病害で, 水田転換畑のような土壌水分の高い圃場で多発する. 本病菌はダイズの生育期間中いつでも感染できるが, 病徴を確認できるのは開花期以降である. 典型的な感染個体は葉に退緑えそ斑を生じる(図 2)が, 多くの個体は健全個体と比較して葉の黄化時期が早まる程度のため, 生産者は気づきにくい. 一方, 地下部では感染した黒根腐病菌により根が褐変して腐朽する. 重症株では側根が完全に脱落し, 「ゴボウ根」状となる(図 3). 感染個体の地際部には本病菌の赤褐色粒子状の子のう殻を形成する場合があります, 本病の診断の目安となる.



図 2. 黒根腐病による葉の退緑えそ斑



図 3.ダイズ黒根腐病によって側根が脱落し「ゴボウ」状になった根

本病の特徴として, 重症であっても枯死する個体は少なく, 遠観で見える症状は先述の早期の葉の黄化程度のため, 発生に気づかれにくい. 本病菌はダイズの罹病残渣上に多数の微小菌核を形成し長期間生存する(西ら, 1999;田澤, 2013;越智ら, 2015)ことで次期のダイズ作付け時の一次伝染源となる.

2. 秋田県, 福島県, 新潟県, 富山県, 長野県におけるダイズ黒根腐病の発生実態

黒根腐病の発生実態調査を秋田県, 富山県, 長野県では 2015-2016 年に, 福島県では 2015-2017 年に, 新潟県では 2010-2012 年および 2015-2018 年に実施した. なお, 黒根腐病の発病度合いは以下を基準に調査し, 発病程度 2 以上の個体を重症株とした.

0:健全株

1:主根表皮の 50%未満が褐・黒色に変化し, 細根の減少が見られる.

2:主根表皮の罹病が進み(50%以上が褐・黒色に変化), 細根・側根が著しく減少している.

3:側根が崩壊し, 主根の腐朽が著しく進行している(ゴボウ根状態).

合計 370 圃場における発生実態調査の結果, 黒根腐病は上記 5 県全てで確認され, その発生圃場率は, 秋田県で 100%, 福島県で 71.2%, 新潟県で 99.4%, 富山県で 70.9%, 長野県で 38.9%であった(松田ら, 2018;Akamatsu et al., 2020). 各県における圃場当たりの平均発病株率は 20.8%~78.1%(5 県平均 53.2%), 平均重症株率は 10.6%~42.3%(5 県平均 31.2%)と県

によって発生状況は大きく異なった(表1)。このことから、調査した5県では広い範囲で黒根腐病が発生しており、各県におけるダイズ生産への本病の影響が示唆された。

表1. 各県における黒根腐病の発生実態

調査年次		調査圃場数	発生圃場率	圃場当たり平均発病株率	圃場当たり平均重症株率
秋田県	2015-2016	52	100	32.0	10.6
福島県	2015-2017	52	71.2	33.3	20.0
新潟県	2010-2012, 2015-2018	169	99.4	78.1	42.3
富山県	2015-2016	79	70.9	34.4	-
長野県	2015-2016	18	38.9	20.8	19.5

3. ダイズ黒根腐病による収量および品質への影響

2014-2015年の2か年間、富山県の2地域の現地ダイズ生産圃場計10圃場において、ダイズ黒根腐病が収量および品質に与える影響について調査した。収穫期に圃場内の5か所に2m×2mのプロットを設置し、プロット内のダイズ株を抜き取り、根における黒根腐病の発病程度の調査および収穫調査を行い、その関係性を解析した。なお発病調査は発生実態調査と同様に実施し、収穫調査については区画当たり収量の調査と品質調査としてしわ粒の発生率を調査した。

その結果、プロットにおける黒根腐病の発病株率および重症株率が高くなればなるほど収量が減少し(図4)。

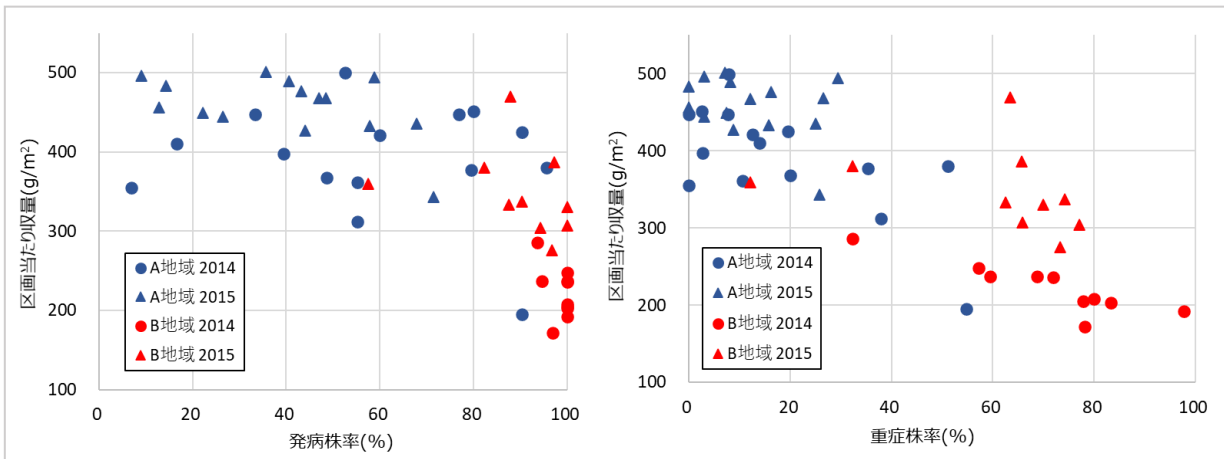


図4. ダイズ黒根腐病の発生と収量の関係

また発病株率あるいは重症株率を説明変数、しわ粒率を応答変数、年次、地域および圃場を変量効果とした一般化線形混合モデルによる解析によって、年次によって差はあるもののしわ粒も増加することが分かった(図5) (Ochi et al., 2022)。

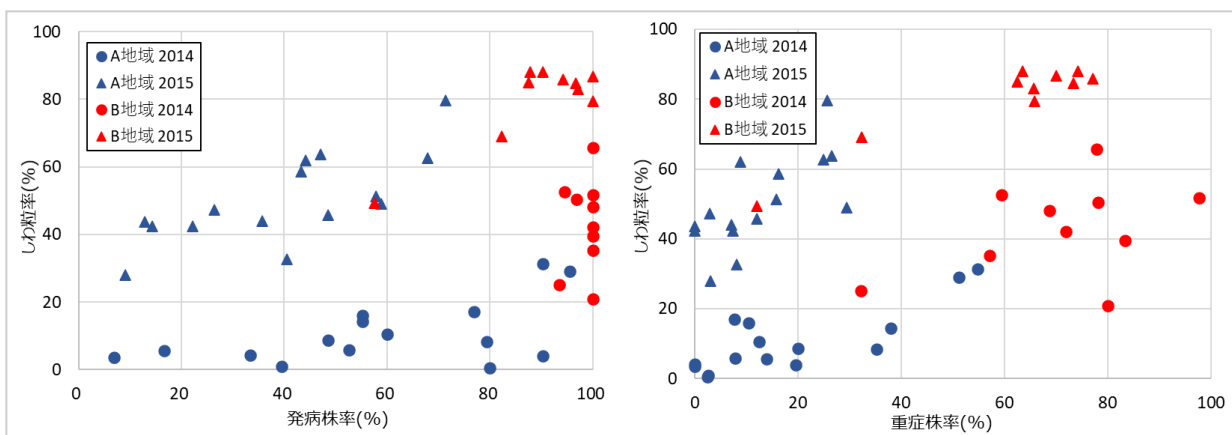


図5. ダイズ黒根腐病の発生としわ粒発生との関係

これによりダイズ黒根腐病は減収への影響だけでなく、品質の面でも影響を与えていることが明らかになり、発生の大きい県では減収要因の一つとなっていると推察された。

4. ダイズ栽培における黒根腐病に関連する要因解析

黒根腐病の発生に影響を及ぼすダイズ栽培要因を明らかにするため、秋田県、福島県、新潟県の 242 のダイズ圃場の栽培履歴や栽培条件等を説明変数、各圃場における黒根腐病の発病株率と重症株率を応答変数とする一般化線形混合モデルによる解析を実施した(Akamatsu et al., 2020). 説明変数には、「過去の発生履歴」、「連作年数」、「播種日」、「播種方法」、「種子粉衣剤の使用」、「培土の回数」、「品種」の 7 項目を設定し、「圃場」を変量効果に設定した。

その結果、発病株率を応答変数として解析したところ、「過去の発生履歴」、「ダイズ連作年数」、「播種日」、「中耕培土回数」に強い関係が認められ、それぞれ「過去の発生履歴がある」、「ダイズ連作年数が高い」、「播種日が早い」、「中耕培土回数が多い」場合に正の効果、つまり発病を助長することが示された。次に重症株率を応答変数として解析したところ、発病株率を応答変数とした解析で抽出された 4 要因のうち「播種日」を除く 3 つの要因と強い関係が認められ、「過去の発生履歴がある」、「ダイズ連作年数が高い」、「中耕培土回数が多い」場合に黒根腐病の重症化が助長されることが示された。また、両応答変数と一部の「栽培品種」間にも強い関連性が見られた(表 2)。

次に、両応答変数での解析において最も黒根腐病の発生と関連性が高いと考えられた「過去の発生履歴」および

「中耕培土回数」について、それぞれの有無と黒根腐病のリスクについて「発生リスク」、「重症化リスク」および「減収リスク」の観点から解析した。「中耕培土回数」については、実施しまたは 1 回実施した圃場に対して、中耕培土を 2 回実施した圃場を比較した。黒根腐病が発生するリスク(発生リスク)は、圃場における発病株の有無、重症化が生じるリスク(重症化リスク)は、圃場における重症株の有無によって判定した。また、黒根腐病は、発病度が 30 を超えると収量に影響する(越智ら, 2016)ことから、黒根腐病による減収リスクは、発病度 30 を閾値とした。その結果、発生履歴がない圃場に対して発生履歴がある圃場のリスク比、中耕培土 0 回または 1 回実施した圃場に対する中耕培土を 2 回以上実施した圃場のリスク比は、「発生リスク」、「重症化リスク」、「減収リスク」の全てで 1 以上であり、発生履歴がある圃場でダイズ栽培する場合、発生履歴がない圃場に比べ黒根腐病リスクが高く、中耕培土を 2 回以上実施する栽培体系では、中耕培土 0 回または 1 回実施する場合に比べ黒根腐病リスクが高くなることを示していた(表 3)。減収リスク比が、3 つのリスク比の中で最も高く、発生履歴が有ることで 7.41 倍に、中耕培土を 2 回実施することで 1.24 倍になる結果であった。

黒根腐病の発生を引き起こす要因解析は、上述以外にも試みられており、「種子処理剤[チアトキサム・フルジオキシニル・メタラキシルM水和剤]

表2. 一般化線形混合モデルを活用した、秋田県、福島県、新潟県における黒根腐病発生に関する説明変数の解析結果

応答変数	説明変数	Coefficient	SE	z-value	Pr(> z)
発病株率	(Intercept)	-3.52542	1.87941	-1.8758	0.0607
	過去の発生履歴	3.20379	0.87171	3.6753	2.38 × 10 ⁻⁴
	連作年数	0.33527	0.11147	3.0077	0.00263
	播種日	-0.06316	0.03633	-1.7386	0.0821
	播種方法	0.07498	0.47024	0.1594	0.873
	種子粉衣剤の使用 ^a	0.21181	0.31742	0.6673	0.505
	培土の回数	1.94485	0.28828	6.7464	1.52 × 10 ⁻¹¹
	品種「エンレイ」 ^b	1.36789	0.99206	1.3788	0.168
	品種「あやこがね」 ^b	3.15626	1.24451	2.5361	0.0112
	品種「タチナガハ」 ^b	-1.47488	1.28675	-1.1462	0.252
重症株率	(Intercept)	-7.29178	1.56418	-4.6617	3.14 × 10 ⁻⁶
	過去の発生履歴	3.51328	0.72626	4.8375	1.31 × 10 ⁻⁶
	連作年数	0.22043	0.08775	2.512	0.012
	播種日	-0.02786	0.02938	-0.9482	0.343
	播種方法	-0.15078	0.37744	-0.3995	0.69
	種子粉衣剤の使用 ^a	0.36007	0.26961	1.3355	0.182
	培土の回数	1.52569	0.23706	6.4358	1.23 × 10 ⁻¹⁰
	品種「エンレイ」 ^b	0.99609	0.8224	1.2112	0.226
	品種「あやこがね」 ^b	4.10925	1.04275	3.9408	8.12 × 10 ⁻⁵
	品種「タチナガハ」 ^b	0.69486	1.12054	0.6201	0.535
品種「リュウホウ」 ^b	-0.55518	1.03616	-0.5358	0.592	

a 種子粉衣剤「チアトキサム・フルジオキシニル・メタラキシルM水和剤」

b 里のほほえみとの比較

表3. 過去の発生履歴及び中耕培土回数についてのそれぞれの有無と黒根腐病のリスク

	発生リスク	重症化リスク	減収リスク
過去の発生履歴	1.24	1.78	7.41
中耕培土の回数 ^a	1.12	1.19	1.24

a 中耕培土の回数は、実施しなかった、または1回実施した圃場に対して2回実施した場合のリスク比を示す

メタラキシル M(TFM)水和剤の有無, 「1 回目の培土時期」, 「額縁明渠」, 「補助暗渠」といった要因が上述の要因以外に抽出された(Akamatsu et al., 2020). また, 新潟県と富山県では黒根腐病に影響を及ぼす栽培管理等について解析されており, 「ダイズ連作年数」, 「ダイズ作前水稲作付年数」, 「中耕培土回数」, 「圃場排水性」, 「額縁明渠」等の関与を明らかにしている(新潟県農業総合研究所, 2013; 三室ら, 2016). 以上の研究により, 「過去の発生履歴がない圃場の選定」, 「水稲との輪作」, 「水稲連作期間の延長」, 「畝立て播種の実施」, 「TFM水和剤での種子消毒」, 「播種日を遅らせる」, 「早期の中耕培土の省略」, 「中耕培土回数の削減」, 「圃場の排水性の改善」, 「額縁明渠, または補助暗渠の施工」がダイズ栽培における黒根腐病対策として有効であると考えられ(表 4)(赤松ら, 2020), これらを組み合わせた対策を講じることが重要である.

表4. ダイズ栽培における黒根腐病発生リスク要因とその対策について

リスク要因	高	低	対策
栽培履歴			
過去の発生履歴	あり	なし	発生履歴のない圃場の選択
ダイズ連作年数	長い	短い	水稲作への転換
ダイズ作前水稲連作年数	短い	長い	水稲連作期間の延長
播種作業			
播種様式	平播	畝立て	畝立て播種
種子処理剤(TFM水和剤)	なし	あり	TFM水和剤の処理
播種日	早い	遅い	早期播種の回避
中耕培土作業			
中耕培土実施	あり	なし	無培土栽培 ^a
1回目の中耕培土時期	早い	遅い	早期の中耕培土回避
中耕培土回数	多い	少ない	中耕培土の回数削減
圃場環境			
圃場排水性(達観評価)	不良	良好	排水性改善対策
額縁明渠	なし	あり	額縁明渠の施工
補助暗渠	なし	あり	補助暗渠の施工

a 無培土栽培は倒伏等により発病が助長される可能性もあり注意が必要。

おわりに

ダイズ黒根腐病は水田転換畑で発生が拡大し始めた 1980 年代後半から様々な研究が行われてきた。西ら(1999)は本病菌の生理的性質や土壌中における生存期間等の発生生態を明らかにするとともに, 熱水土壌消毒等の防除法を開発した。また, 黒根腐病に対する抵抗性品種や有効な殺菌剤のスクリーニング, 冬季湛水や晩播による防除対策が検討されてきた(中島ら, 1994; 仲川ら, 2006; 越智ら, 2013)。しかし, ダイズは転作作物という特性上, 防除に手間とコストをほとんどかけられない作物であり, さらに, 本病は重症化すると枯死することがあるものの軽症では早期黄化によって熟期が早まる程度のため, これまで防除されてこなかった。さらに, 本病は生育後期の土壌病害であり, 典型的な病徴を示すことが必ずしも多くないため, 発生を把握することが難しく, 本病の発生実態や被害実態がしっかりと把握されてこなかったことも, 大きな原因と考えている。このため, 黒根腐病の発生にどのような要因が関与していて, それに対してどのように対処することができるのか検討することが困難な状況にあった。

そこで, 黒根腐病の発生が多いとされている東北・北陸地域での発生実態や被害実態について統一した調査基準で調査するとともに, ダイズ栽培における黒根腐病発生に寄与する要因を解析するため, 各調査圃場における栽培履歴や栽培環境要因, 耕種条件についても統一した基準で調査を実施し, 一般化線形混合モデルで解析した。その結果, 黒根腐病の発生や被害実態, また黒根腐病の発生に及ぼす栽培環境要因を明らかにした。これにより, これまで感覚的に一律で判断されていた黒根腐病抑制対策について, 指導者や生産者自身が圃場の問題点を見つけ, その問題点に対してどのように対策を実施すれば黒根腐病の発生を抑制できるか判断できるようになった。しかし, 一方で現状の黒根腐病の対策技術は単独で実施しても効果が完全なものではなく, また例えば晩播のように不必要に播種時期を遅くすると減収につながる場合や, 中耕培土をしないことにより倒伏が起り減収につながる恐れがある。そのため, 各生産圃場の状況に応じて最適な導入技術を選択できるように「ダイズ黒根腐病のリスク診断・対策マニュアル」(赤松ら, 2020)(図 6)を作成した。現在のところ, 黒根腐病に対する登録農薬

は少なく、完全な抵抗性を有する品種は見つかっていない。また、本病は一度発生すると根絶するのは非常に困難である。そのため、黒根腐病の発生地域や発生が危惧される圃場では、本マニュアルを活用して作付け圃場の黒根腐病発生リスクの診断を実施した上で、圃場環境の改善や効果的な耕種的手法を適宜導入し、なるべく本病の発生を回避しつつ、罹病した個体については重症化させないような栽培管理をすることが重要と考えられる。

狭い地域における調査データの病害発生要因解析ではどうしてもその地域の事情による発生要因が抽出されてくることが多い。今回は複数の県にまたがるような広範囲の複数年の調査において、一般的な黒根腐病の発生要因を明らかにする必要があったため、地域や圃場、年次による振れを変量効果として解析できる一般化線形混合モデルを選択した。また解析する上でデータの粒度が非常に重要ではあるが、本研究では各県の尽力で多くの網羅的な栽培環境データを集積できたことと、プロジェクト開始時にあらかじめ調査グループで統一した調査項目、手法を調整してから調査を実施したことがスムーズな解析につながったと思われる。これにより、感覚的に言われていた黒根腐病の発生要因を客観的データの解析により明らかにすることができ、根拠に従って対策指導あるいは対策技術を選択できるマニュアルを作ることが可能であった。改めて本プロジェクトに参画した関係各位に感謝申し上げる。



図6. ダイズ黒根腐病のリスク診断・対策マニュアルの表紙

引用文献

Akamatsu, H., Fujii, N., Saito, T., Sayama, A., Matsuda, H., Kato, M., Kowada, R., Yasuta, Y., Igarashi, Y., Komori, H., Tanji, K., Kuroda, T., Fujita, Y., Hattori, M., Kawakami, O., Hori, T., Mimuro, G., Morikawa, T., Murasaki, N., Aoki, Y., Sekihara, J., Iyama, Y., Nakada, H., Iwata, T., Kichishima, T., Ebitani, T., Numada, F., Manta, H., Nakajima, H., Yamashita, T., Miyahara, K., Toyoshima, G., Yamada, K., Yamamoto, R., Ochi, S. (2020) Factors affecting red crown rot caused by *Calonectria ilicicola* in soybean cultivation. *Journal of General Plant Pathology* 86:363-375

赤松 創・山本 亮・中山則和・高橋真実・越智 直・藤井直哉・松田英樹・齋藤隆明・佐山 玲・加藤雅也・遠藤央士・小森秀雄・古和田壘・黒田智久・藤田与一・三室元気・青木由美・岩田忠康・中田 均・守川俊幸・吉島利則・関原順子・萬田 等(2020) **ダイズ黒根腐病のリスク診断・対策マニュアル** . http://www.naro.affrc.go.jp/project/research_activities/soybeankuroneFull20200311_1.pdf

- 松田英樹・藤井直哉・齋藤 隆明・佐山 玲(2018) 秋田県におけるダイズ黒根腐病の発生状況と発病がダイズの収量・品質に及ぼす影響. 北日本病害虫研究会報 69:25-28
- 三室元気・村崎信明・青木由美・守川俊幸(2016) 県内におけるダイズ黒根腐病の発生実態と新規の類似病「褐色根腐病」の発生. 平成 27 年度富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究成果 27-28
- 仲川 晃生・越智 直(2006) ダイズ黒根腐病防除に有効な薬剤の選抜と処理方法について. 関東東山病害虫研究会報 53:13-21
- 中島 隆・酒井真次・五味唯孝・菊池彰夫(1994) ダイズ黒根腐病抵抗性検定法の開発と抵抗性遺伝資源の探索. 東北農業試験場研究報告 88:39-56
- 新潟県農業総合研究所(2013) 連作の回避と明渠の施工はダイズ黒根腐病の発病を抑制する. 平成 24 年度新潟県農林水産業研究成果集 <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/216738.pdf>
- 新良 力也(2015) 大豆低収要因調査結果. 東北大豆シンポジウム in せんだい https://www.maff.go.jp/tohoku/seisan/daizu/kyougikai/pdf/mame_72_3.pdf
- 西 和文・佐藤文子・唐澤哲二・佐藤 剛・福田徳治・高橋廣治(1999) ダイズ黒根腐病の発生生態と防除. 農業研究センター研究報告 30:11-109
- 越智 直・齋藤 隆・穴澤拓未・二瓶直登・遠藤あかり・穴澤 崇・仲川晃生・加藤雅康・荒井義光(2013) 晩播と冬期湛水の組み合わせによるダイズ黒根腐病の抑制効果の検証. 北日本病害虫研究会報 64:46-51
- 越智 直・赤松 創(2015). ダイズ残渣中の黒根腐病菌への水稻作の影響. 日本植物病理学会報 81:229(講要)
- 越智 直・藤井直哉・古和田壘・五十嵐裕二・藤田与一・黒田智久・三室元気・守川俊幸・萬田 等・山下 亨・赤松 創(2016) ダイズ黒根腐病の発生実態および収量・品質に及ぼす影響. 日本植物病理学会報 82:239(講要)
- Ochi, S. Mimuro, G., Kishi, S. (2022). Effect of red crown rot of soybean on occurrence of wrinkled seeds. *Journal of General Plant Pathology* 88:232-238
- 田澤純子(2013). ダイズ黒根腐病の発生状況と防除の現状. 植物防疫 67:46-49

一般化線形混合モデルを用いた防除試験データの解析

Data analysis for developing plant disease control methods with the generalized linear mixed model

群馬県農業技術センター 池田 健太郎

Ikeda-ken@pref.gunma.lg.jp

Abstract

The generalized linear mixed model (GLMM) is an extension of the generalized linear model (GLM), which includes random effects in addition to fixed effects. Adding random effects to statistical modeling allows us to conduct practical analysis of field data. This study demonstrated how to use GLMM for data analysis analyses in developing plant disease control methods. A published article on the disease suppressive effects of some bactericides against bacterial spots of hydrangea was cited as an example. Herein, heterogeneity between different trails in meta-analysis and overdispersion in GLM were important significant concerns for statistical modeling. Alternatively, GLMM enabled us to construct a statistical model that adequately explained the experimental data.

はじめに

普及指導員や公的機関およびメーカーの研究者などの立場に関わらず、生産者への農業技術の指導に携わる場合は、その情報があやふやであることは望ましくない。特に、農薬や様々な防除方法の場合だと、「よく効きます」と言う類の情報では、その効果を生産者が過大評価することもある。このように、実際の効果の大きさと生産者の認識のミスマッチを防ぐためには、防除技術の効果の大きさ(エフェクトサイズ)について、エビデンスを持って評価する必要があることは言うまでもない。そのためには、年次や場所を変えて複数回の試験を実施し、これらの結果を統合して解析することが必須である。このような手法としては、メタアナリシスや一般化線形モデル(generalized liner model: 以下 GLM)があり、これまで、実際に指導に直結するエビデンスを数多く得てきた(田代ら, 2008; 岩館ら, 2011; Kawaguchi, 2013; Ikeda et al., 2015; 池田ら, 2020; 井手ら, 2022)。一方で、防除試験はある程度制御された中で実施されるとはいえ、自然現象の影響を大きく受けることなどから、理想的なデータが得られないこともある。そのため、メタアナリシスの場合は試験ごとの違いを示す異質性が有意になることもある。また、一般化線形モデル、特に誤差構造に二項分布を選んだ場合には、データのばらつきによって過分散になってしまうことも少なくない。このように、年次や場所を変えて複数回実施する防除試験の場合においては、観察や測定できないばらつきを含んだ、より実践的な統計モデルによってデータを解析することが望ましいケースがある。

その点で、一般化線形混合モデル(generalized liner mixed model: 以下 GLMM)は、GLM に個体の差・場所の差という観察者が測定できなかったり、しなかったりした見えない差を変量効果として組み込んだものであり、より現実的な解析が可能となる(久保, 2012; 粕谷, 2012; 嶋田・阿部, 2017)。ここでは、筆者のアジサイ斑点細菌病への殺菌剤の効果に関する論文(池田ら, 2022)におけるデータ解析を参考に、防除試験のデータの解析に GLMM を使うためには、どのようにすればよいのかをできるだけ詳しく解説したい。本稿が、年次や場所を変えて複数回の防除試験を行ったものの、そのデータの解析に苦慮している研究者、技術者の一助になれば幸いである。

1. 防除試験の背景

群馬県の鉢物アジサイ栽培では *Acidovorax valerianellae* による斑点細菌病が問題となっていた(池田ら, 2009)。そこで細菌病の防除に有効な、ポリカーバメート水和剤および有機銅水和剤の本病害に対する防除効果を検討した。すなわち、ポリカーバメート水和剤および有機銅剤の散布試験をそれぞれ 5 回および 3 回実施し、その結果を解析した。

2. メタアナリシスおよび一般化線形モデル(GLM)の検討

まず、メタアナリシスでの解析を試みた。ポリカーバメート水和剤の効果を検討した 5 回の試験について、変量効果モデルでのリスク比は 0.56 (95%信頼区間:0.41-0.76)であった。異質性も $P = 0.215$ であり、各試験の間の差異も有意でないことが示唆された。一方、有機銅水和剤の効果を検討した 3 回の試験について同様に検討したところ、リスク比は 0.38 (95%信頼区間:0.12-1.18)となり、有機銅水和剤を散布することで発生は少なくなる傾向が認められた。しかし、異質性が有意となった ($P < 0.01$) ことから、この場合、各試験の間における有機銅水和剤の効果のばらつきの影響が大きいことが考えられた。

次に、GLM での解析を試みた(図 1)。本研究では、発病枝の割合について検討していたため、誤差構造を二項分布、リンク関数をロジット関数とした。その結果、ポリカーバメート水和剤および有機銅水和剤を使用した際の回帰係数はそれぞれ-0.51 および-0.37 であった。しかし、残差逸脱度を自由度で割った値は 1.0 をはるかに超えており、二項分布に従わない過分散であることが明らかであった(今泉, 2010; 粕谷, 2012)。過分散の状態では、説明変数の寄与が過大評価されるため、この結果をエビデンスとして指導に使うことはできない。そこで、GLM の過分散に対応するために、測定されていない・できないばらつきをモデルに組み込むことができる GLMM での解析を試みた(久保, 2012; 粕谷, 2012; 嶋田・阿部, 2017)。

```
Call:
glm(formula = cbind(Dis.Stem, Heal.Stem) ~ Bactericide, family =
binomial(logit), data = Dataset)

Coefficients:
              Estimate   Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    -1.74515     0.08264  -21.118 < 2e-16 ***
Bactericide[T. Cu] -0.50924     0.16880   -3.017  0.00256 **
Bactericide[T. PC] -0.36770     0.13789   -2.667  0.00766 **

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 223.50 on 12 degrees of freedom
Residual deviance: 210.74 on 10 degrees of freedom
AIC: 274.96
```

明らかな過分散。
二項分布に従っていない。

図1 データを一般化線形モデルで解析した結果

リンク関数はロジット、誤差構造は二項分布。結果の残差逸脱度 (Residual deviance:) を残差自由度 (degrees of freedom) で割った値が1.0を大きく超えており、明らかな過分散となっている。このことは、このデータが二項分布に従っていないことを表している。

3. 一般化線形混合モデル(GLMM)による解析

3-1 準備

本研究では、R ver.2.7-1 によって GLMM の解析を行った。まず初めに図 2 のようなデータセットを準備して、R に読み込ませた。R のコンソールからコマンドを入力してデータを読み込ませるが、R コマンドを使ってエクセルのデータを直接読み込ませることもできる。データセットを準備する際には、どのデータを応答変数および説明変数とするのかを、よく意識してほしい。今回は、アジサイ斑点細菌病の発病枝割合を、行列を結合する関数 `cbind` を使って応答変数としたかったので、発病枝数と健全枝数のデータが必要であった。また説明変数のうち、固定効果は無散布を含めた薬剤の種類であり、変量効果についてはデータのばらつきの原因であると思われる試験とした。その際には、試験ごとに適当な数字を割り当てておき、どれとどれが同じ試験だったのがわかるようにした。なお GLMM で解析する際には、場所差・個体差という変量効果が判別できるようなデザインで試験が行われている必要がある。

次に、GLMM での解析に必要なパッケージを読み込ませた。GLMM の解析には関数 `glmmML()` と `glmer()` の 2 種類が使える。しかし、`glmmML()` は今回のデータのようなロジスティック回帰の場合(二項分布は誤差構造)にしか使用できない。一方で、`glmer()` は二項分布だけではなく正規分布やポアソン分布を選ぶ際にも使用できる。この 2 つの違いは後述するとして、ここでは関数 `glmmML()` を使って解析を進めるものとする。

関数 `glmmML()`をRのコンソールで使うために、パッケージ `glmmML` を読み込ませて、関数 `library()`を使って呼び出した(図3の上段).

	A	B	C	D
1	Trial	Dis.Stem	Heal.Stem	Bactericide
2	1	3	193	PC
3	1	17	452	Control
4	2	31	143	PC
5	2	45	74	Control
6	3	17	204	Cu
7	3	38	143	PC
8	3	62	176	Control
9	4	33	159	Cu
10	4	13	165	PC
11	4	33	156	Control
12	5	1	123	Cu
13	5	7	117	PC
14	5	15	127	Control
15				

図2 一般化線形混合モデルで解析するデータ
エクセルのスパレッドシートで作成。Rに読み込ませる。

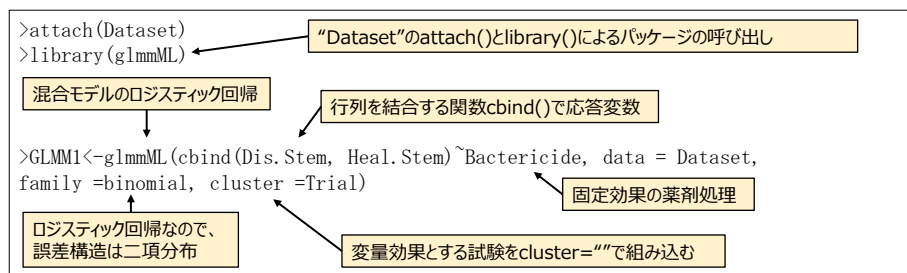


図3 一般化線形混合モデルでの解析

3-2 解析

図3の下段には、関数 `glmmML()`に各変数などを入力した定式を示した。"GLMM1"は、このモデルの名前であり、後ほど結果を呼び出したりする際に使用する。"glmmML()"の中に、`cbind` で結合した発病枝数と健全数を応答変数、説明変数のうち固定効果"Bactericide(殺菌剤の種類)"を入れた。Rではカテゴリカルな変数は自動でダミー変数に変換する機能がある。この場合は、"Bactericide"のうち、アルファベット順が最も早い"Control"が参照となる。また、"data = Dataset"では、今回の解析に使用するデータセット名を、"family =binomial"で誤差構造は二項分布であることを指定する。最後に変数効果として、"cluster =Trial(試験の区別)"を指定する。

3-3 結果

解析結果およびそれらのパラメータの意味や解釈については図4および表1に示した。関数 `summary()`の中に"GLMM1"を入力して実行すれば、結果がその下のコンソールに示される。回帰係数(図4中の `coef`)は、説明変数の値が応答変数にどう影響するかを示している。この場合は参照の無散布に対して、ポリカーバメート水和剤(図4中の PC)や有機銅水和剤(同 Cu)の回帰係数は-0.70 および-0.90 となった。このことは、参照とした無散布をこれらの薬剤の散布に変えることで、応答変数が減少することを示している。解析結果を示したコンソールには、説明変数ごとに回帰係数に続き、回帰係数の標準誤差 (se), z 値 (z), P 値 ($\Pr(>|z|)$)と表示されている。標準誤差は回帰係数のばらつきを、z 値は回帰係数を標準誤差で割った値であり、回帰係数がゼロから十分に離れて有意な効果を持つかを見る目安となる。P 値は値が小さいほどその統計量(ここでは z 値)になりにくいを示している。その下には"Scale parameter in mixing distribution"があり、これは変数効果における標準偏差の最尤推定値であり、ここでは試験の間のばらつきを示している。"LR p-value for H₀:

sigma”は尤度比検定の結果であるが、今回の場合は、薬剤散布の有無に依存しないモデルを帰無仮説として、これが棄却できるかどうかである。ここでは、 $P < 0.05$ となっているので、薬剤散布の有無に依存しないモデルは棄却された。その下には、モデルへの当てはまりの悪さを相対的に表している残差逸脱度が示されている。

ここで、図 5 にはこれらの結果を実際に論文に掲載する表にどのように反映させたかを示した。ここに示した表の回帰係数からは、ポリカーバメート水和剤および有機銅剤を散布すると、無散布と比較して発病が有意に減少することがわかる。また尤度比検定結果から、薬剤散布を固定効果、試験を变量効果とした今回作成したモデルが、薬剤散布の有無に依存しないモデルに対して改善されていることが示された。

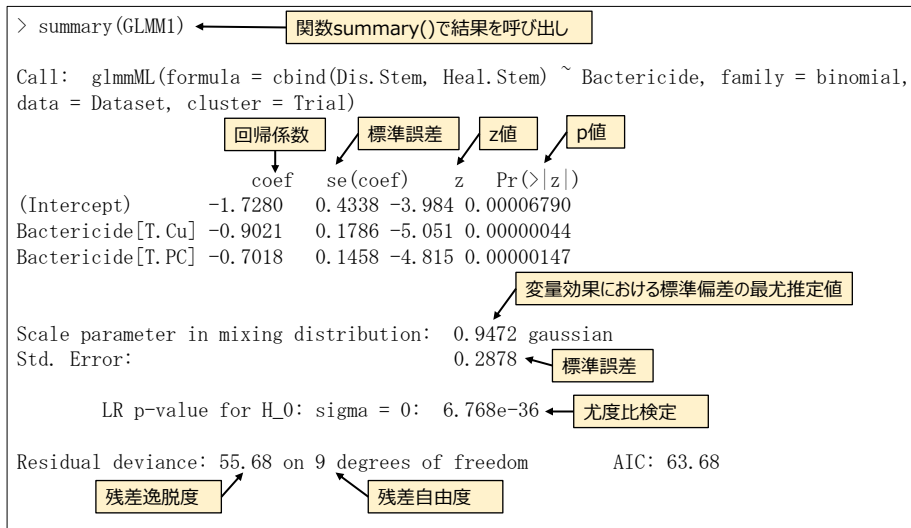


図4 Rでの一般化線形混合モデルでの解析結果

表1 Rでの一般化線形混合モデルの解析結果に表示されるパラメータと意味

パラメータ	意味・解釈
回帰係数	説明変数の値によって、応答変数がどう変わるか
標準誤差	回帰係数のばらつき
z値	ゼロからどれくらいずれて、有意な効果があるか
p値	小さいほど統計量はその値になりにくい。
変量効果における標準偏差の最尤推定値	集団内のばらつき
尤度比検定 (p値)	二つのモデルの尤度の比を使った検定。 帰無仮説としての一定モデルを棄却できるか確認
残差逸脱度	あてはまりの悪さの相対値
残差自由度	全体の自由度から要因の自由度を引いたもの

説明変数	参照	回帰係数	標準誤差	z 値	p 値
殺菌剤散布					
ポリカーバメート水和剤	無散布	-0.70	0.15	-4.82	1.47×10^{-6}
有機銅水和剤	無散布	-0.90	0.18	-5.05	4.40×10^{-7}
切片		-1.73	0.43	-3.98	6.79×10^{-5}
ランダム効果における標準偏差の最尤推定値		0.947			
標準誤差		0.288			
p 値 (尤度比検定)		6.8×10^{-36}			
残差逸脱度		55.68			
自由度		9			

参照の「無散布」と比較して減少薬剤の効果がみられる
減少させる幅は大きそうだ
ある程度の見えない試験差がある
帰無仮説は棄却できる。

第5表 露地育苗管理時における殺菌剤散布がアジサイ斑点細菌病の発生に及ぼす影響 (一般化線形混合モデル^{a)})

a) 応答変数は発病枝数と未発病枝数の行列, 誤差構造は二項分布, 殺菌剤を固定効果, 試験をランダム効果とした。

図5 池田ら (2022, 日植病報 88:12-17) の一般化線形混合モデルでの解析結果を示した表の見方

3-4 確認

次に関数 fitted() を使って元の値を今回のモデルに当てはめて, 得られた予測値を算出し, 実測値と比較することで, 今回のモデルがどれくらいデータをうまく説明できているのかを確認した。残念ながら関数 glmmML() で構築されたモデルは関数 fitted() を使うことはできない。そこで, 前述した別の関数 glmer() を使ってモデルを再度作成する。この 2 つの GLMM に関する関数は, 最尤推定の数値計算をする際の計算方法が異なっているが, 今回の結果はほぼ同じであった(データ省略)。関数 glmmML() と同様に定式化すればよいが, 変数効果の組み込み方が異なっているため, 注意が必要である。関数 glmmML() では, "cluster=" を指定したが, 関数 glmer() では説明変数として, 固定効果の後に "+(1|変数効果名)" を加える。図 6 に, モデルから関数 fitted() によって得られた予測確率と実測値を比較した線形回帰を示した。実際は, 関数 fitted() で得られた予測値と実測値のデータをそろえて, 関数 lm() を使って線形回帰させ, 切片や回帰係数を得た。その結果, 実測値 = $-0.0057 + 1.0545 \times (\text{モデルから得られた予測値})$ となり, 決定係数は $0.8715 (P < 0.001)$ であった。このように, アジサイ斑点細菌病の発病に薬剤の散布が及ぼす影響については, GLMM によって作成したモデルでよく説明できていることが確認できた。

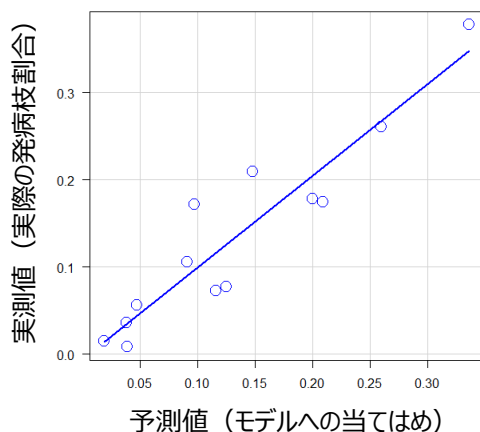


図6 一般化線形混合モデルで算出した予測値と実測値 (実際の発病枝割合) の比較

実測値 = $-0.0057 + 1.0545 \times (\text{予測値})$
 $R^2 = 0.8715 (p < 0.001)$

おわりに

本稿では、複数回にわたる防除試験結果についてから GLMM によってどのように解析するのかを解説した。生産者への指導に耐えるエビデンスを持った情報を得るためには、複数回の防除試験を行うことは必須であることは言うまでもない。近年、コストや時間、人的資源の関係から複数回の試験を行うことを是としない雰囲気があるということであるが、これは誠意をもって試験研究に臨む態度とはかけ離れている。単年の試験結果では年次によってどのように効果がばらつくのか、どれくらいの効果の大きさ(エフェクトサイズ)があるのかまったくわからない。このような情報では、生産者への指導が可能なはずはない。防除試験に臨む研究者としては、同一の試験であっても必ず複数回実施して、メタアナリシス、GLM、GLMM などによって解析し、エビデンスを持った情報を得、生産者への指導に活用することを強く推奨したい。

謝辞

本稿の執筆にあたり、多くの有益なご助言と激励をいただいた一般社団法人プラントヘルスケア研究所田代暢哉氏、農研機構西日本農業研究センター川口章氏に心より御礼申し上げます。また、このような紹介の場を提供していただいた日本植物病理学会 EBC 研究会の運営に携わる方々にも厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 井手洋一・富田恭範・大谷徹・宮崎英一郎・田代暢哉 (2022) ジフェノコナゾール剤と保護殺菌剤の混用によるナシ黒星病発病抑制効果. 日植病報 88:105-114.
- Ikeda K, Banno S, Furusawa A, Shibata S, Nakaho K, Fujimura M. (2015) Crop rotation with broccoli suppresses *Verticillium* wilt of eggplant. *J Gen Plant Pathol* 81:77-82.
- 池田健太郎・古屋修・小林智彦 (2022) 露地育苗管理時の殺菌剤散布によるアジサイ斑点細菌病の発病抑制. 日植病報 88:12-17.
- 池田健太郎・桑原克也・古屋修・瀧川雄一 (2009) 群馬県におけるアジサイ斑点細菌病の発生と *Acidovorax valerianellae* の病原性. 関東東山病害虫研究会報 56:79-83.
- 池田健太郎・酒井宏・光永貴之 (2022) ネギ黒腐菌核病に対するシメコナゾール粒剤の発病抑制効果および発病に影響を及ぼす要因の一般化線形モデルによる解析. 日植病報 86:9-16.
- 今泉智通 (2010) R を用いた一般化線形モデル(仮説検定編):割合データを例に. 雑草研究 55:275-286.
- 岩館康哉・勝部和則・長谷 修・生井恒雄 (2011) キュウリホモプシス根腐病に対するクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木クロガネカボチャの併用による防除効果. 日植病報 77:278-286.
- 粕谷 英一 (2012) 一般化線形モデル (R で学ぶデータサイエンス 10). 共立出版, 東京
- Kawaguchi A (2013) Biological control of crown gall on grapevine and root colonization by nonpathogenic *Rhizobium vitis* strain ARK-1. *Microbes and Environments* 28: 306-311.
- 久保拓弥 (2012) データ解析のための統計モデリング入門 : 一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC. 岩波書店, 東京
- 嶋田正和・阿部真人 (2017) R で学ぶ統計学入門. 東京化学同人, 東京
- 田代暢哉・井手洋一・井上美加乃 (2008) 収穫期のベンゾイミダゾール系薬剤散布前のハウスミカン園および極早生温州ミカン園における同系薬剤耐性緑かび病菌の検出状況と同系薬剤における防除効果の低下. 日植病報 74:89-96.

付録 (語句の説明)

- リンク関数 応答変数と線形予測子(目的変数とパラメーター、切片で構成)を関連づける関数
- 誤差構造 目的変数が従う確率分布
- 過分散 二項分布やポアソン分布において、想定されているよりも大きな分散になってしまうこと

千葉県のアブラナ圃場における根こぶ病菌のレース分布に及ぼす温度の影響

Effect of temperature on race distribution of *Plasmodiophora brassicae* in Nabana fields in Chiba Prefecture

千葉県農林総合研究センター 暖地園芸研究所 生産環境研究室 久保 周子

c.kb@pref.chiba.lg.jp

1 はじめに

2012～2015年に千葉県内で栽培するアブラナ科野菜を対象に実施した根こぶ病菌病原性グループ(以下、グループ)の分布調査で、Hatakeyama et. al. (2004)が定義したグループ(G1～G4)のうち、千葉県内にはG2およびG4が存在し、県南部にはG2およびG4が混在すること、県北部と県中部には一部を除きG4が分布することを明らかにした(植松ら, 2017)。県南部で広く栽培されるナバナは、G2に対する抵抗性品種がない(※)。このため、県南部でG2の分布域が拡大することは、国内シェア第1位を誇る産地の崩壊にもつながりかねない。仮にG2がG4に比べより高温でも発病しやすい場合、冬期でも温暖な県南部では、近年の気候変動に伴う温暖化により長期間発病リスクに曝され、G2がより増加していくことが懸念される。そこで、根こぶ病菌G2およびG4の発病に対する温度の影響を検討した。(※)現在はG2に対する抵抗性品種が1品種販売されている。

2 試験方法

県南部ナバナ6圃場で採取した根こぶ病罹病根から休眠孢子を精製し、園芸培養土に混和した。病原性グループG2またはG4に分類後、休眠孢子密度を 1×10^4 cfu/g および 1×10^6 cfu/g に調製した土壌を供試した。直径8cmのジフィーポットに供試土壌を充填後、感受性品種であるナバナ「花飾り」(株)サカタのタネを10粒/ポット播種した。5ポット/処理を、18°C、20°C および 23°C に設定したグロースチャンバー内で4週間栽培した。試験は同じ設計で3回行い、それぞれの試験を説明変数(ブロック)として扱った。発芽し、十分生育したナバナ各個体の根部の発病程度を、指数0～3の4水準で調査した。各個体の発病指数(名義変数, 4水準)を目的変数、ブロック(名義変数, 3水準)、菌密度(名義変数, 2水準)、グループ(名義変数, 2水準)および管理温度(連続変数)を説明変数とする多項ロジスティック回帰分析(JMP5.0.1J)を行い、パラメータ推定値から、発病指数3の出現率に対する他の発病指数の相対的な出現率(p)を推定した。さらに相対的な出現率(p)から指数別発病割合を推定し、各条件で栽培した場合に推定される発病度を温度別に算出した。

3 結果および考察

グループ、菌密度および管理温度は有意水準5%で有意な効果が認められ、これら要因が発病に影響を及ぼすことが示された。また、菌密度と管理温度には交互作用が認められたが、グループと温度に交互作用は認められなかった。パラメータ推定値から算出される各温度条件における発病度を図1に示す。G4はG2に比べ病原性が強いこと、菌密度および温度が高いほど両グループ共に発病は多いことが示された。また、特に温度が高いと菌密度の影響を受けやすく、発病が助長されることが示された。一方、G2とG4で温度の影響が異なる傾向は認められず、県南部にG2が分布する理由として、温度条件が影響している可能性は低いと考えられた。

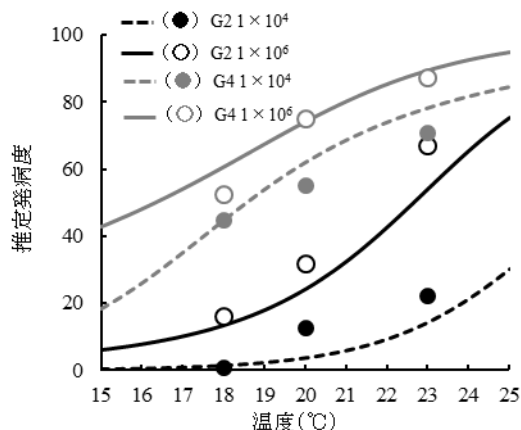


図1 異なる温度条件で栽培した場合の推定される根こぶ病発病度

注1)ナバナ「花飾り」を各条件で4週間栽培後、根部の発病程度を指数0～3で調査し、多項ロジスティック回帰分析(JMP5.0.1J)

2)条件:(菌密度) 1×10^4 cfu/g, 1×10^6 cfu/g

(温度)18°C, 20°C, 23°C

(グループ)G2, G4

(処理数)各処理5ポット(10粒/ポット), 反復3

3)発病指数3に対する各発病指数出現率推定のための

パラメータから指数別発病割合を推定し、次式により

推定発病度を算出

推定発病度 = $\sum(\text{指数別発病株数} \times \text{指数}) / (3 \times \text{調査株数}) \times 100$

(指数別発病株数 = 調査株数 \times 指数別発病割合)

4) 図内の○印は3回の試験で実測した発病度の平均値

一般化線形モデルによるハクサイ黄化病の発病に影響を及ぼす要因の解析

Analysis of factors influencing the development of Chinese cabbage yellow by generalized linear model.

群馬県農業技術センター 星野啓佑

hoshi-kei@pref.gunma.lg.jp

1 はじめに

群馬県内の主要ハクサイ産地では黄化病の発病が深刻な問題となっている。本病害に対する防除技術としては土壌くん蒸剤が主体である。しかし、生産現場では土壌くん蒸剤による労働作業の増加や作業への影響の懸念から、その使用が敬遠されており、有効な対策がとれていない。そこで本研究では、ハクサイ黄化病を抑制する最適な栽培方法を見出すために、一般化線形モデルによってハクサイ黄化病の発病に影響を及ぼす要因を解析した。

2 材料及び方法

【耕種概要】試験は、2019年と2020年に2圃場(A圃場, B圃場)で、計4回実施した。A, B圃場において前作にハクサイ以外の作物を栽培した区を輪作区、ハクサイを栽培した区を連作区とし、対象区として休耕区を設置した。A圃場では秋に輪作、連作、または休耕後、翌年の4月下旬にハクサイを定植し、発病調査を6月下旬に行った。B圃場では2018年に輪作または休耕後、ハクサイを2019年5月下旬に定植し、発病調査を8月上旬に行った。2020年に輪作または休耕後、ハクサイを8月上旬に定植し、発病調査を10月中旬に行った。

【データ解析】発病調査を実施したハクサイにおける発病株数、健全株数を応答変数とし、輪作の有無、収穫月、前年のハクサイ黄化病発病株率程度(30%未満、30~50%未満、50%以上)、栽培日数、年次、圃場を説明変数とした。誤差構造は二項分布、リンク関数はロジットとした。赤池情報統計量(AIC)が最小となる最も当てはまりの良いベストモデルを構築した。構築したモデルの各要因の有意性を検定するために、ベストモデルに残された各説明変数に対して逸脱度分析を行った。これらの解析は、EZR ver.3.6.2で行った。

3 結果および考察

フルモデル(AIC183.1)からAICによってベストモデルを構築した結果、説明変数は輪作の有無、収穫月、年次が残された(AIC179.3)(表1)。輪作の有無について、逸脱度分析の結果、逸脱度が14.5増加し、モデルの当てはまりが有意に悪化した($p<0.01$)。このことから輪作はハクサイ黄化病の発病に影響を与える要因であることが示唆された。輪作の回帰係数は参照とした休耕に対して-0.37となり、発病を抑制することが推察された。収穫月の逸脱度は51.3($p<0.01$)となり、これも発病に影響を与える要因として考えられた。収穫月が8月(参照)に対して10月の回帰係数は-0.87であった。このことから気温の低下が進んだ10月の収穫では発病が抑制されるものと推察された。年次の逸脱度は86.9($p<0.01$)と有意に増加していた。このことから、栽培する年によっても発病のしやすさは異なると考えられた。これらのことから、ハクサイ黄化病は年次によって発病に変動はあるものの、輪作体系の導入や収穫月を変更することによって発病を抑制できることが示唆された。

表1 一般化線形モデルによるハクサイ黄化病の発病要因の解析

説明変数	参照	一般化線形モデル			逸脱度分析	
		回帰係数	S.E.	p値	逸脱度の差	p値
輪作の有無 (カテゴリ)					14.5	<0.01 **
輪作	休耕	-0.37	0.14	<0.01 **		
連作		0.21	0.21	0.32		
収穫月 (カテゴリ)					51.3	<0.01 **
6月	8月	0.25	0.18	0.17		
10月		-0.87	0.24	<0.01 **		
年次 (カテゴリ)					86.4	<0.01 **
2020年	2019年	1.37	0.15	<0.01 **		
切片						
残渣逸脱度	38.5	残渣自由度	26			
AIC	179.3					

ナシの病害虫防除暦のエビデンス ～茨城県における黒星病・輪紋病の事例から～

Evidence of the spray calendar for diseases and pests on Japanese pear ～ Case of pear scab and ring rot in Ibaraki Prefecture ~

茨城県農業総合センター園芸研究所 小河原 孝司

t.ogawara@pref.ibaraki.lg.jp

茨城県の日本ナシ生産は、主要品種が赤ナシ系の「幸水」、「豊水」で、果実に袋かけを行わない無袋栽培が主体であり、栽培中に黒星病、輪紋病、アブラムシ類、シンクイムシ類等多くの病害虫が発生し問題となる。これらの病害虫を防除するために、「茨城県赤ナシ無袋栽培病害虫参考防除例」を作成し、生産現場で活用している。今回、重要病害である黒星病と輪紋病を例に、防除例に関する基本的な考え方を述べたい。近年、公設試験研究機関の研究員、病害虫防除所の職員等、植物防疫に関わる職員の在籍期間が短く、経験豊富な職員が不在の中での防除暦編成に不安を感じている職員も多く、改めて防除暦を考える機会としたい。

1 ナシ黒星病菌の子のう胞子飛散

ナシ黒星病の伝染源は、前年に秋型病斑を生じた落葉上の子のう胞子と芽りん片病斑(後に芽基部・果そう基部病斑となる)上に形成された分生子である。本県では10年程前に複数年連続して春先から黒星病が多発生した。当時、果そう基部病斑は少なく、多発生の主要因は子のう胞子によるものと考えられた。子のう胞子の飛散消長を見える化するため、吸引式胞子トラップを用いて複数年調査した。その結果、若干の年次変動はあるものの4月上旬頃から飛散が始まり、その後、降雨のたびに飛散量の増加が見られ、4月下旬にピークとなって5月中旬以降終息した(図1)。

2 ナシ輪紋病菌の柄胞子飛散と果実感受性

ナシ輪紋病は、枝病斑上に形成した柄子殻内の柄胞子が風雨によって飛散することで伝染する。罹病枝を用い、輪紋病菌の柄胞子の飛散消長および果実感染時期を複数年調査したところ、年次変動はあるものの柄胞子は5月中旬～7月中旬に飛散し、6月の飛散量が最も多かった(図2)。また、果実への感染は5月下旬頃から7月下旬まで長期にわたった。

3 現在の茨城県のナシ防除例における黒星病と輪紋病の防除

上記結果をもとに、現在の茨城県の防除例では3月下旬～5月上旬は黒星病の防除の最重要防除時期とし、防除試験で黒星病に対して高い効果を示したDMI, QoI, AP剤等を配置し、防除を強化した。また、5月中旬～7月は輪紋病+黒星病の同時防除を行うが、薬剤試験で両病害に高い効果を示したキャブタン剤, QoI剤等を中心とした防除とした。なお、梅本(1993)は、満開50～90日後(6月中旬～7月中旬頃)に品種「幸水」果実の黒星病感受性が高まり、特に満開75～90日後(7月上～中旬)にピークとなることを報告していることから、この時期の基幹剤としてDMI剤, QoI剤を配置した。

4 今後の課題

近年、春先の天候が不安定で、春の防除を失敗すると年間の防除回数の増加や減収につながる。また、黒星病菌の耐性菌発生リスクを回避するため、これまで以上に特定系統に依存しない防除が求められる。本県では現在、黒星病菌の各種薬剤に対する耐性菌のモニタリング、簡易な検定手法、新規薬剤の有効性、越冬菌に対する秋季防除の検討等を進めている。さらに、これまで問題とならなかった炭疽病の被害が一部地域で顕在化し、今後、防除暦に反映させていく必要がある。

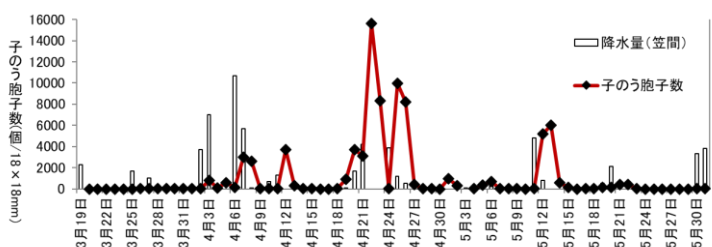


図1 ナシ黒星病菌子のう胞子の飛散消長 (2013年の例)

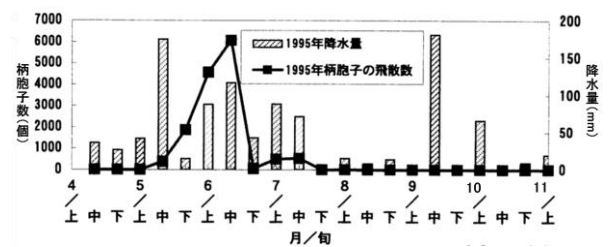


図2 ナシ輪紋病菌柄胞子の飛散消長 (1995年の例)