

福島県におけるモモせん孔細菌病の発生生態および防除に関する研究*

七海 隆之**

Studies on ecology and control of bacterial spot of peach in Fukushima Prefecture*

NANAUMI Takayuki**

Abstract

Bacterial spot (also called bacterial shot hole) is the most important disease that affects peach production in Fukushima Prefecture. This study aimed to identify the dominant pathogen responsible for bacterial spot of peach, elucidate the ecology of spring cankers, an important primary source of the disease, and develop a forecasting model for predicting spring canker incidence, with the ultimate goal of improving disease management strategies in Fukushima Prefecture. Furthermore, this study revealed, for the first time, the control effect of rain-shelter cultivation on bacterial spot of peach, and verified the effectiveness of control programs incorporating newly introduced bactericides during the critical period for disease management. The results are summarized as follows.

1. Samples of peach plants (leaves, twigs and fruits) showing symptoms of bacterial spot were collected from 65 fields in 4 regions of Fukushima Prefecture over 2 years (2012-2013) for the isolation and confirmation of the main causal bacteria. Although 3 pathogens have been reported to be associated with the disease in Japan, all isolated bacteria (363 isolates) were identified as *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*, recognized as the dominant causal agent of the disease. These findings suggest that control measures of the disease should be directed toward *X. arboricola* pv. *pruni* (Chapter 2).

2. Spring cankers, which are twig cankers that develop in spring, were observed in peach orchards from bud burst (late March to early April) to July or August with the incidence peaking in April or May for 3 years (2016-2018). It was also clarified that more than half of the spring cankers occurred at the tips of last-year twigs and some cankers occurred consecutively on the same last-year twig. Furthermore, spread of *X. arboricola* pv. *pruni* from spring cankers were observed until April to August in 2021. These survey results suggest that spring cankers can be efficiently detected by primarily inspecting the tips of last-year twigs, and that prompt and repeated removal of spring cankers, mainly from April to May, is necessary for effective control of bacterial spot of peach (Chapter 3).

3. As a result of verifying the control effect by removing spring cankers, it was found that fruit spot incidence was reduced when spring cankers were removed multiple times over 2 years (2017-2018). These results demonstrate the importance of removing spring cankers in implementing control measures against bacterial spot of peach (Chapter 3).

4. To predict the incidence of spring cankers ($\geq 2\%$) associated with bacterial spot of peach in the subsequent season, a forecasting system was developed using a hierarchical Bayesian model, based on 12 years (2009-2020) of data collected from the northern region of Fukushima Prefecture, which represents the main production area of peach. The model included, as predictors, the odds of fields with a bacterial spot incidence on leaves $\geq 10\%$ in late September, and the number of days with rainfall ($\geq 10\text{mm/day}$) and maximum wind speed ($\geq 5\text{m/s}$) during October, and it explained 65.7% of the variability. These results suggest that the disease-forecasting model can be used to predict the annual risk of spring cankers (Chapter 4).

5. Despite the high bacterial density, a markedly high control efficacy was achieved under rain-shelter cultivation in 2015-2016 and 2020, even with little or no use of copper or antibiotics, which are mainly used for disease management. The results of the verification suggest that this measure is the most effective approach for controlling bacterial spot of peach (Chapter 5).

6. It was confirmed that the control efficacy of copper with calcium carbonate and zinc oxide, which are expected to be new bactericides for managing bacterial spot of peach, was equivalent to that of oxytetracycline during the growing season over 2 years (2018-2019). The control effects of 3 different spray programs, zinc oxide applied immediately after flower fall and at 10 days after flower fall, and copper with calcium carbonate at 20 and 30 days after flower fall, were superior to that of the existing program primarily based on antibiotic application for controlling fruit spot in 2020. These results show that these bactericides are effective agents for controlling bacterial spot of peach (Chapter 6).

(Received : 18 November 2024 / Accepted : 19 February 2025)

Key words : bacterial spot of peach, ecology, disease-forecasting model, cultural control, chemical control

キーワード : モモせん孔細菌病、発生生態、発生予測モデル、耕種的防除、化学的防除

受付日 2024年11月18日、受理日 2025年2月19日

* 本論文は、東京農業大学大学院学位論文を基に編集・加筆したものである。本研究の一部は、農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「モモせん孔細菌病の多発生産地における効果的な防除技術の開発 (2015年)」、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センターの革新的技術開発・緊急展開事業 (うち地域戦略プロジェクト)「モモ・ナシの高品質・安定生産を実現する病害防除技術体系の実証研究 (2016~2018年)」および一般社団法人 日本植物防疫協会の新農薬実用化試験 (2018~2019年) で実施した。

* 本研究内容の一部は、日本植物病理学会大会、北日本病害虫研究発表会で口頭またはポスター発表し、Journal of General Plant Pathology、北日本病害虫研究会報で報告するとともに、農林水産省の「最新農業技術・品種2021」に選定された。

** 元福島県農林水産部

目次

第1章 緒言.....3	第5章 雨よけ栽培による発病抑制効果の検証. 16
1.1 既往の研究.....5	5.1 材料および方法..... 16
1.1.1 病原細菌に関する研究.....5	5.1.1 秋季から翌年の収穫終了までの雨 よけ栽培による発病抑制効果の検 証..... 16
1.1.2 発生生態に関する研究.....5	5.1.2 開花直後から果実の袋かけ終了ま での雨よけ栽培による発病抑制効 果の検証..... 17
1.1.3 発生予察に関する研究.....5	5.2 結果..... 17
1.1.4 防除に関する研究.....6	5.2.1 秋季から翌年の収穫終了までの雨 よけ栽培による発病抑制効果の検 証..... 17
第2章 福島県における病原細菌の優占種の特定..7	5.2.2 開花直後から果実の袋かけ終了ま での雨よけ栽培による発病抑制効 果の検証..... 17
2.1 材料および方法.....7	5.3 考察..... 18
2.2 結果.....7	第6章 新規防除薬剤およびそれらを組み入れた 新規防除体系の検証..... 19
2.3 考察.....7	6.1 材料および方法..... 19
第3章 春型枝病斑の発生様相の解明および春型 枝病斑のせん除による防除効果の検証...9	6.1.1 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤の 防除効果の検証..... 19
3.1 材料および方法.....9	6.1.2 銅水和剤および酸化亜鉛剤を組み 入れた新規防除体系の検証..... 19
3.1.1 春型枝病斑の発生時期および発生 位置.....9	6.2 結果..... 20
3.1.2 春型枝病斑からの病原細菌の放出 期間と薬剤塗布の影響.....9	6.2.1 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤の 防除効果の検証..... 20
3.1.3 春型枝病斑の複数回せん除による 防除効果の検証..... 10	6.2.2 銅水和剤および酸化亜鉛剤を組み 入れた新規防除体系の検証..... 20
3.2 結果..... 10	6.3 考察..... 22
3.2.1 春型枝病斑の発生時期および発生 位置..... 10	第7章 総合考察..... 24
3.2.2 春型枝病斑からの病原細菌の放出 期間と薬剤塗布の影響..... 10	7.1 本研究結果による既存の防除対策の改 善および強化..... 24
3.2.3 春型枝病斑の複数回せん除による 防除効果の検証..... 11	7.2 今後の研究課題..... 25
3.3 考察..... 11	摘要..... 26
第4章 春型枝病斑の発生予測モデルの開発 13	謝辞..... 27
4.1 材料および方法..... 13	引用文献..... 27
4.1.1 気象要因の選択..... 13	
4.1.2 階層ベイズモデルによる春型枝病 斑の発生予測モデルの開発..... 13	
4.2 結果..... 14	
4.2.1 気象要因の選択..... 14	
4.2.2 階層ベイズモデルによる春型枝病 斑の発生予測モデルの開発..... 14	
4.3 考察..... 14	

第1章 緒言

福島県はモモ、リンゴ、ナシ等を始めとして多くの樹種が栽培され、全国有数の落葉果樹産地として発展してきた。その中でも主力品目のモモは1950年代半ばから県北地域の福島盆地を中心に生産振興が本格的に始まり、2022年の栽培面積は1,760ha、生産量は27,700tであり、全国の収穫量の23%を占める全国第2位の産地となっている(農林水産省、2022、2023)。近年では、生産者の高齢化や後継者不足等により、リンゴやナシの栽培面積が減少する中、モモの栽培面積は1990年代後半から1,800ha前後で堅調に推移しており(図1-1)、東日本大震災後の2012年以降は東南アジアへの輸出量も増加する等、モモは福島県を代表する重要な園芸品目である。

一方、モモの安定生産の阻害要因として難防除病害の発生が挙げられ、近年では細菌の一種である*Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*を主病原とするモモせん孔細菌病の被害が福島県内の全域で顕在化しており、深刻な問題となっている。

本病は枝、新梢葉および果実に発生するが(北島、1989; Ritchie, 1995)、枝に発生した場合は表面に紫黒色の病斑が生じ、やがて亀裂を生じたり、かさぶた状になり、症状が進行すると病斑より先端が枯死することもある。枝の病斑は、春季に一年枝に発生する春型枝病斑(スプリングキャンカー)(図1-2)と、6~8月に新梢(翌年の一年枝)に発生する夏型枝病斑(サマーキャンカー)(図1-3)の2種類があり、いずれも伝染源となるが、本病の発生には前者が特に重要となる。

新梢葉に発生した場合は、最初にかすり状の病斑が生じた後に褐色の病斑となり(図1-4)、症状の進行とともに病斑が抜け落ちて穴があき、症状が甚だしい場合は早期に落葉するために(図1-5)、樹勢に大きな影響を及ぼす。

果実に発生した場合は、表面に褐色で果肉にくいこんだ不整形の病斑が生じ(図1-6)、果実が腐敗することはないが、商品性を著しく低下させるために減収を招く。

また、本病は雨媒伝染性病害であるため、発生には強風雨の影響が大きく、山梨県や岡山県等の降水量の少ない地域では発生が少ない反面、多雨で風の強い場所では壊滅的な被害がしばしば発生し(高梨、1978、1980)、福島県内でも産地育成の途上において本病の多発により壊滅した地域がある等(落合・林、1989)、本病はモモの栽培地域が限定される要因の一つとなっており、産地の形成・維持に大きく影響する極めて重要な病害である。

国内における本病の初発生は1919年に鉾塚によって報告されたが、福島県においては1960年代に主産地である福島盆地の山間部に新たに造成されたほ場において初めて本病の発生が確認され、1980年

代半ばにはこれまで発生が見られなかった福島盆地の平坦部のほ場でも発生が認められるようになった(落合、2003)。その後は、図1-1のとおり、前年8月に台風による記録的な豪雨がかった1999年から本病が多発傾向にある(落合、2003; 菅野、2005; 古張・齋藤、2008)。

福島県の農作物病虫害防除基準では1970年以降、本病が発生しないことを前提とした防除体系と本病の発生に対応した防除体系を併記してきたが、2004年(以降、農作物病虫害防除指針に名称変更)からは後者のみの記載となったことも本病の発生拡大を示すものであり、特に2012年の大発生以降は被害が慢性化し、2013年から2022年の10年間では、病虫害防除所から延べ15回の注意報が発表され、数年おきに県内全域で甚大な果実被害が発生するなど危機的な状況が続いている。

本病は細菌性病害であることから、薬剤による化学的防除は抗生物質剤と銅水和剤の使用が中心となる。しかし、卓効を示す薬剤が少ないため、発病部位のせん除や果実の袋かけ、防風対策等の耕種的対策や物理的対策も組み入れた総合的な防除が不可欠となるが(落合、2003; 菅野、2005)、本病が一度発生すると防除は非常に困難となることが多い。さらに、国内で栽培されている主要なモモの品種は全て本病に感受性であり、抵抗性品種が存在しないこと(山口、2003; Suesada et al., 2013)も防除をより困難なものにしている。

本病の研究は、病原細菌の特定、発生生態の解明および化学的防除を中心に行われ、福島県では1990年に現在の基礎となる防除体系が確立された。それ以降も本病に関する研究が続けられてきたが、防除対策についてほとんど進展しておらず、基幹防除薬剤の使用基準の変更や登録の失効、早生種(収穫期7月上旬)と極晩生種(同9月中下旬)の導入増加によって、既に確立された防除体系が現在の本病の発生状況に十分に対応できていないのが現状である。

高品質な果実の安定生産により、モモ産地を維持・発展させるためには、既存の防除対策の改善と強化が喫緊の課題となっており、その解決のためには国内で3種報告されている病原細菌の分布状況の把握と防除対象種の解明、伝染源である春型枝病斑への対策強化、雨媒伝染性病害の発病抑制効果が高い雨よけ栽培による発病抑制効果および新規防除薬剤の効果の検証が特に重要であると考えられた。

そのため、本研究では、第2章において福島県内における本病の病原細菌の分布状況を調査し、優占種について明らかにしようとした。次に、第3章では春型枝病斑を効率的に発見して発病枝(春型枝病斑の発生した枝)を適切にせん除する方法を確立することを目的に、春型枝病斑の発生様相を調査するとともに、病斑せん除による実際の防除効果につい

て検証した。さらに、第4章では、春型枝病斑の発生量に応じた防除対策の実施を可能にするため、病斑の発生予測モデルの開発を試みた。第5章では、これまで試験事例がなかった雨よけ栽培による本病

の発病抑制効果について調査し、第6章では新規防除薬剤の評価を行うとともに、それら薬剤を重要な防除時期（生育初期）に組み入れた新たな防除体系を考案し、防除効果の検証を行った。

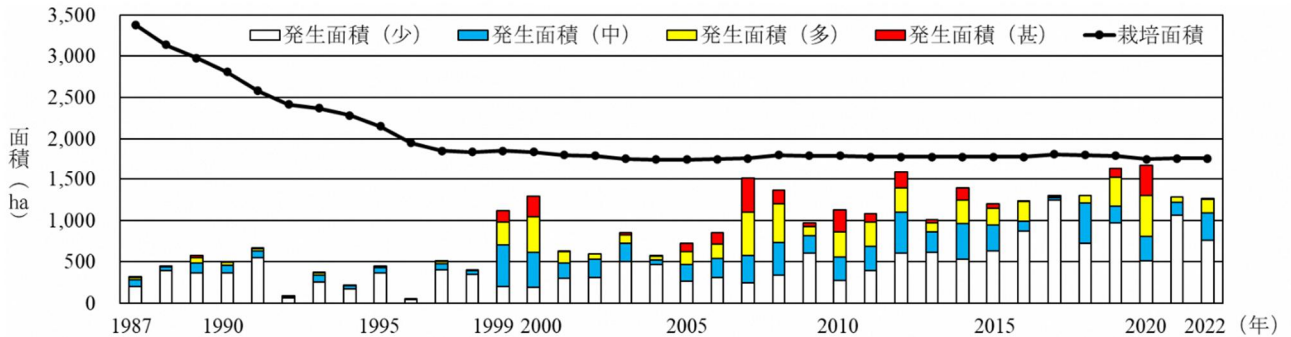


図 1-1 福島県におけるモモの栽培面積とモモせん孔細菌病の発生面積の推移（1987～2022 年）

注）病虫害防除所調べ。



図 1-2 モモせん孔細菌病の春型枝病斑（スプリングキャンカー）

注）矢印の黒変部が病斑。



図 1-3 モモせん孔細菌病の夏型枝病斑（サマーキャンカー）

注）矢印の黒変部が病斑。



図 1-4 モモせん孔細菌病の発病葉



図 1-5 モモせん孔細菌病による早期落葉

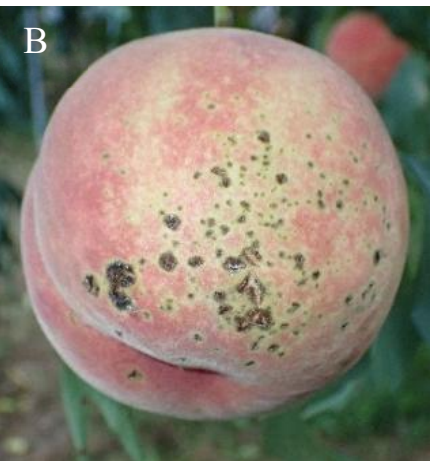


図 1-6 モモせん孔細菌病の発病果実（A：幼果の発病果実、B：収穫果の発病果実）

1.1 既往の研究

1.1.1 病原細菌に関する研究

本病の主病原である *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* (= *X. campestris* pv. *pruni*) は、スモモ黒斑病の病原として世界で初めて報告され (Smith, 1903)、その後、スモモからの分離菌とモモからの分離菌が同一であることが明らかになった (Smith, 1909)。

国内では、鉢塚 (1919) が静岡県内での本病の発生事例と発病部位からの分離細菌が Smith (1903) の報告した菌種と同一であることを報告し、その後、高梨 (1985a) によって *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* および *Brenneria nigrifluens* (= *Erwinia nigrifluens*) の2種が新たな病原として追加され、日本植物病名目録 (日本植物病理学会、2024) には、本病の病原細菌が3種記載されている。

X. arboricola pv. *pruni* は主に *Prunus* 属植物に感染し (Kuwatsuka, 1921)、本病以外にスモモ黒斑病、アンズせん孔細菌病の病原でもあり、国内の分離菌株はバクテリオファージの寄生性の違いにより6種の型に類別される (高梨、1978)。また、rep-PCR DNAフィンガープリント解析により、国内のモモ分離株は遺伝的類似性が高いことが明らかになっている (Kawaguchi, 2014a)。なお、本種は現在、世界各地で確認されており、核果類に重大な経済的損失を生じさせている (Stefani, 2010)。

P. syringae pv. *syringae* は果樹ではキウイフルーツ花腐細菌病、セイヨウナシ黒斑細菌病等の病原として日本植物病名目録に記載があるが、*B. nigrifluens* についてはモモ以外の宿主は明らかになっていない。

1.1.2 発生生態に関する研究

X. arboricola pv. *pruni* は6~8月頃に新梢 (翌年の一年枝) に感染すると夏型枝病斑を形成するが、9月以降に感染した場合 (以下、秋季感染という) は病斑を形成せずに潜伏越冬し、春季に気温が上昇し皮層組織中の還元糖が増加すると発育を開始して一次伝染源となる春型枝病斑を形成するとともに、降雨により本病斑から周囲に飛散する (北島、1989)。そのため、発病初期には春型枝病斑の周囲の新梢葉や果実に集中的な発病 (ツボ状発病) が見られ、このツボ状発病の発生量がその後の発病に大きく影響し、春型枝病斑からの感染は7月まで続くとされている (落合、2003)。

一方、夏型枝病斑内の本種は秋までに枯渇するため、本病斑は当年の伝染源となるが、翌年の伝染源にはならない (北島、1989; 落合、2003)。

新梢への秋季感染は、本種が落葉痕や皮目から組織内に侵入することで生じるが、皮目よりも落葉痕への感染が多い (高梨、1978)。また、落葉痕は露出してからほぼ1日の間でのみ感染が成立することが明らかになっている (Feliciano and Daines, 1970; 菅野ら、2007)。

新梢葉は若い葉での発病が多く、本種の感染から発病までの期間 (潜伏期間) は16℃で16日、20℃で9日、本種の生育適温である25℃では4~5日であり、気温の影響が大きい (高梨、1978)。なお、本種は被害落葉で越冬しないことが確認されている (高梨、1978)。

果実は幼果期ほど発病しやすく、病斑も大型化するが、収穫期に近いほど発病は少なく、病斑も微小になる傾向があり (北島、1989; 落合、2003)、福島県における主要品種の‘日川白鳳’、‘あかつき’、‘川中島白桃’および‘ゆうぞら’の果実は6月上旬~下旬まで本病に対する感受性が高く、概ね6月下旬~7月上旬にかけて低下し、7月中旬以降は感受性が極端に低くなることが明らかになっている (菅野ら、2003)。また、果実の潜伏期間は生育時期によって異なり、幼果で2~3週間、ピンポン玉大で40日以上とされている (北島、1989; 落合、2003)。

発病には風雨による影響が大きく、特に気温が19~28℃で降雨と風、露が多い条件で多発するため (Fahy et al., 1983; Bradbury, 1986; Du Plessis, 1988; Zehr and Shepard, 1996)、川や水田の隣接ほ場、風当りの強いほ場で発病しやすく、台風の通過後は被害が急増する (落合、2003)。

新梢葉での発病は最大風速10m/s以上かつ降水量5mm/day以上、果実での発病は最大風速5m/sかつ降水量20mm/day以上の気象条件との相関が最も高く、新梢葉の発病には風速、果実の発病には降水量と密接な関係があることが明らかになっている (小山ら、2001)。さらに、春型枝病斑の発生には9月半ば以降の台風等の強風雨による影響が大きいことが示唆され (高梨、1978)、春型枝病斑の発生量と前年秋期 (9月中~下旬) の新梢葉における発病増加量および降水量との間に高い相関関係があることが報告されている (落合、2003)。

また、近年の研究により、福島県における‘あかつき’の収穫直前~収穫期 (7月下旬) の果実の発病には、4~5月の春型枝病斑の発生と5~6月の降雨日数の影響が大きいことが示唆されている (七海・柳沼、2017)。

なお、*P. syringae* pv. *syringae* は、枝梢の表面に生息していることが明らかになっているのみであり (高梨、1985b)、*B. nigrifluens* の生態については不明である。

1.1.3 発生予測に関する研究

福島県では各生育時期における発病葉率を予測する重回帰式が作成されている (落合・林、1989)。近年では、岡山県においてモモ収穫期 (7月下旬) における新梢葉発病の助長要因 (前年8月中旬の発病葉率および6月の降雨日数) を明らかにするとともに、それらの要因に基づいた新梢葉の発生ほ場割合の予測モデルが確立されている (Kawaguchi, 2014b)。

1.1.4 防除に関する研究

本病の化学的防除については亜鉛石灰液 (Roberts and Pierce, 1929)、ストレプトマイシン剤 (宮原、1956 ; Daines and Gray, 1957 ; 北島ら、1959) およびオキシテトラサイクリン剤 (Dunegan and Wilson, 1953 ; Dunegan et al., 1953 ; Keil and Carroll, 1967) の有効性が報告され、その後はボルドー液、銅水和剤、バリダマイシン剤、ジチアノン剤、オキシソリニック酸剤等の有効性が明らかとなっている (落合、2003)。

銅はモモの新梢葉に著しい葉害を生じるため (高梨、1980)、福島県では1990年に葉害の生じにくい開花前と収穫後にボルドー液や銅水和剤を散布し、落花後の生育期は抗生物質剤を中心にローテーション散布する防除体系を確立した。ボルドー液や銅水和剤を使用した開花前の防除は春型枝病斑からの感染防止に重要であり、収穫後の防除 (秋期防除) は新梢への秋季感染を防止し、本病の伝染環 (図1-7) を遮断するために特に重要とされる (落合、2003)。さらに近年では、銅水和剤に炭酸カルシウム水和剤を添加することで落花期以降も本剤が使用可能であることが示唆されている (永井・三宅、2017)。

また、防除薬剤は散布での使用が一般的であるが、オキシテトラサイクリン剤については樹幹注入による防除法についても試験が行われており、樹体内を移行した成分によって新梢葉での本病の防除効果が認められる一方で、新梢葉に黄化が生じることが明らかとなっている (Dunegan and Wilson, 1953 ; Dunegan et al., 1953 ; Keil and Civerolo, 1979)。

抗生物質剤は薬剤耐性のリスクが高く、ストレプトマイシンの耐性菌の出現が報告され (高梨、1979)、福島県内でも広範囲にその存在が確認されている (菅野、2005 ; 佐野ら、2014 ; 山口ら、2014)。さらに、福島県内の同一ほ場における複数年の調査によ

り、ストレプトマイシン耐性菌の分布様式については耐性菌のみ、感受性菌のみ、両者混在の3つに類別され (荻谷ら、2016)、その様式はほぼ変化しないことが報告されている (國京ら、2017、2018b)。また、薬剤耐性菌の検定は培地を用いるのが一般的であり、ストレプトマイシン耐性菌に対するほ場レベルでの防除効果については不明な点が多いが (森本ら、2006)、モモ苗木を用いたモデル試験では、耐性菌と判定された本種に対するストレプトマイシン剤の防除効果はほぼ認められないことが明らかになっている (七海・柳沼、2018a)。

一方、オキシテトラサイクリン、オキシソリニック酸および銅については、福島県内における耐性菌の出現は確認されていない (國京ら、2018a)。

生物的防除については、バクテリオファージの利用が試みられてきたが (Keil and Wilson, 1963 ; Civerolo and Keil, 1969 ; Saccardi et al., 1993)、防除効果が不安定であることから実用化には至っていない。一方で、細菌である *Bacillus* 属菌や *Pseudomonas* 属菌、非病原性 *Xanthomonas* 属菌を用いた防除についても研究が行われ、一定の防除効果を有することが報告されており (菅野、2005 ; Kawaguchi et al., 2014 ; 前田、2015)、一部は製剤化されている。しかし、化学薬剤と比較すると防除効果が低いこと等から、福島県内での使用事例はほぼないのが現状である。

耕種的防除については、果実の袋かけや伝染源である春型枝病斑等の発病部位の除去が重要であるとされている (落合、2003)。また、風当りの強いほ場では、防風ネットや防風樹等の導入による防除効果も認められている (菅野、2005 ; 森本ら、2010)。

以上のことから、福島県では図1-7のとおり本病の発生に応じて化学的防除や耕種的防除、物理的防除を組み合わせた総合的な防除対策が行われている。

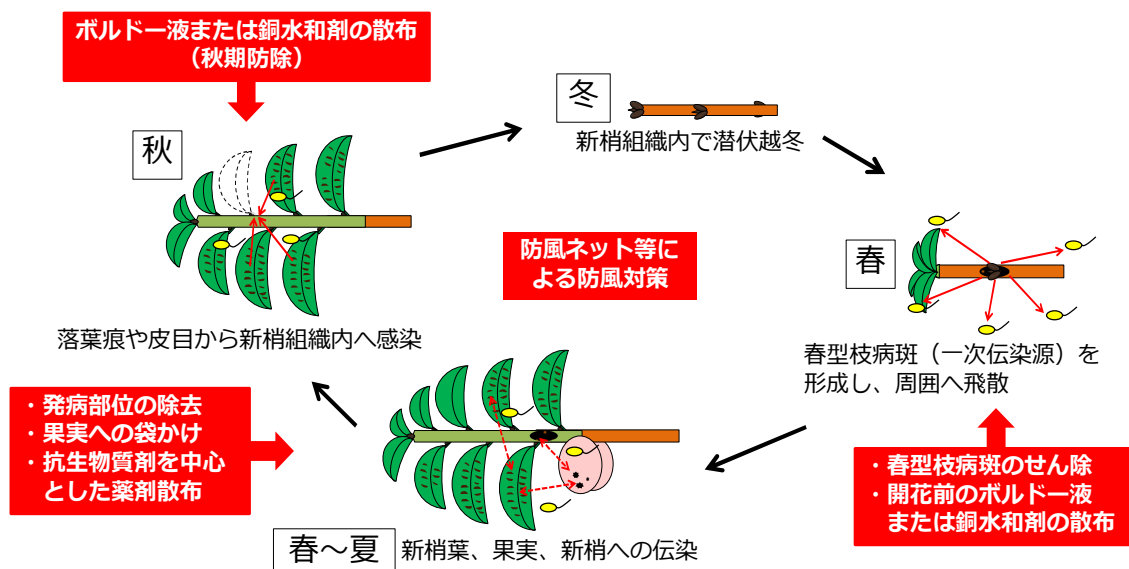


図1-7 モモせん孔細菌病の伝染環と防除対策の概要

第2章 福島県における病原細菌の優占種の特定

1.1.1 のとおり、本病には3種の病原細菌が報告されており、福島県のモモ主産地である県北地域での優占種は、菅野ら（2004）によって *X. arboricola* pv. *pruni* であることが報告されている。しかし、その後は詳細な調査は行われておらず、県北地域以外での優占種は不明のままである。

さらに、病原細菌の1種である *P. syringae* pv. *syringae* は福島県由来のサンプルから分離されており（高梨、1985a、1985b）、*Pseudomonas* 属菌では細菌病の重要な防除薬剤の主成分である銅に対する耐性菌の出現も報告されていること（Goto et al, 1994）を考慮すると、近年における福島県内での本病の多発は、優占種が *X. arboricola* pv. *pruni* から銅耐性の *P. syringae* pv. *syringae* に変化したことが要因である可能性が考えられる。

このように、優占種の特定は防除対策上も重要な知見となるため、本章では県内全域のモモ産地を対象とし、発病葉に加えて、調査事例の少ない発病枝や発病果実のサンプルについても可能な限り採集するとともに、それらサンプルからの病原細菌の分離・同定を行った。

2.1 材料および方法

(1) サンプルの採集および細菌の分離

2012～2013年の4～9月に県北、県中、県南および会津地域のモモほ場（のべ65圃場）より本病のサンプル（一年枝28、新梢葉65、果実28の計121サンプル）を採集した（表2-1）。

検鏡により細菌泥の漏出が確認されたサンプルの病斑（1サンプルにつき1個）を約5mm角に切り出して滅菌水1mL中で摩砕し、普通寒天培地（NA培地）に摩砕液を画線した。その後、インキュベーター内にて25℃で7日間培養し、培地上に優占的に出現したコロニーから1サンプルにつき3菌株を選抜して供試菌株とした。

(2) 供試菌株の簡易同定

全供試菌株を対象に、96-MUC法（西山、1997）により簡易同定を行った。すなわち、11項目の細菌学的性状（炭素源7種の利用性、コロニーの色調、蛍光性色素の産生、40℃下での生育およびグラム反応）を調査し、その結果を基に4桁のプロフィールインデックスを作成して独立行政法人農業環境技術研究所（現：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門）のデータベース（URL：<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/bact/BactID6/Waku96MR.html>）にて該当菌種を検索した。

さらに、1サンプルにつき1菌株を代表菌株とし、モモの新梢葉を用いた室内検定法（Randhawa and Civerolo, 1985）に準じて供試菌株（121菌株）の病原性について調査した。すなわち、本病未発生のモモ

樹（供試品種‘あかつき’または‘まどか’）から採集し、70%エタノールで1分間表面殺菌後に滅菌水で洗浄した新梢葉に、針無しシリンジを用いて供試菌株の懸濁液（約10⁸cfu/mL）を接種した。接種は1菌株あたり新梢葉1枚を供試して葉裏に8～10箇所に行い、シャーレに分注した0.5%素寒天培地上に接種葉を置床して人工気象器内（25℃、明期16時間）に2週間静置後、病斑形成の有無を調査した。

2.2 結果

供試したサンプルから細菌の分離を行ったところ、全てのサンプルから平滑で湿光を帯び、周縁が円形の黄色のコロニー（図2-1）が優占的に出現し、2年間で363菌株（2012年159菌株、2013年204菌株）を得た（表2-1）。

96-MUC法の結果、供試菌株（363菌株）のプロフィールインデックスは0020が235菌株、1020が128菌株であり、該当菌株はいずれも *X. arboricola* pathovars（病原型）であった（表2-2）。さらに、モモの新梢葉を用いた病原性検定の結果、全供試菌株（121菌株）で病斑が形成された（表2-3）。

これらの結果から、供試菌株（363菌株）は全て *X. arboricola* pv. *pruni* であると判断された。

2.3 考察

本調査で分離された病原細菌は、調査を実施した2年間を通して地域や品種、発病部位（一年枝、新梢葉および果実）に関係なく全て *X. arboricola* pv. *pruni* であり、県北地域における優占種の変化は認められず、福島県全体における優占種は本種であることが明らかになった。

また、本調査結果は1.1.2のとおり、枝で潜伏越冬した後に一次伝染源である春型枝病斑を形成し、そこから新梢葉や果実、新梢に飛散するという *X. arboricola* pv. *pruni* の伝染環を改めて示すものであり、菅野ら（2004）が述べているように、福島県では本種を対象とした防除対策を講じることの重要性が再確認された。

高梨（1985a）は、国内の主要産地由来のサンプルからの各種病原細菌の分離頻度とモモに対する病原性の調査から、国内における本病の優占種は病原性の強い *X. arboricola* pv. *pruni* であり、それと比較して病原性が弱い *P. syringae* pv. *syringae* は副次的な病原として広い地域で発病に関与しており、*B. nigrifluens* は限られた地点にのみ定着している特殊な事例であると報告している。

以上のことから、福島県における本病の病原細菌の優占種は今後も変化しない可能性が高いと考えられるが、優占種の把握は防除対策上重要であるため、薬剤耐性菌のモニタリングも併せて今後も定期的実施する必要がある。

表 2-1 モモせん孔細菌病サンプルの来歴と供試菌株数 (2012～2013 年)

採集年	採集地	ほ場数	品種	供試サンプル数 (供試菌株数)			
				一年枝	新梢葉	果実	合計
2012	県北地域 (福島市、伊達市、国見町、 桑折町、大玉村)	24	暁星、あかつき、紅川中島、 紅錦香、川中島白桃、 ゆうぞら、まるみ白桃	7 (21)	24 (72)	8 (24)	39 (117)
	県中地域 (三春町、須賀川市、鏡石町、 石川町)	6	あかつき	— (—)	6 (18)	— (—)	6 (18)
	県南地域 (白河市)	2	あかつき、川中島白桃	— (—)	2 (6)	1 (3)	3 (9)
	会津地域 (会津若松市、会津美里町)	3	暁星、あかつき、川中島白桃	2 (6)	3 (9)	— (—)	5 (15)
	小計	35		9 (27)	35 (105)	9 (27)	53 (159)
2013	県北地域 (福島市、伊達市、国見町、 桑折町、大玉村)	20	あかつき、紅川中島、 川中島白桃、ゆうぞら	13 (39)	20 (60)	10 (30)	43 (129)
	県中地域 (須賀川市、鏡石町、石川町)	5	あかつき	3 (9)	5 (15)	5 (15)	13 (39)
	県南地域 (白河市)	2	あかつき、まどか	2 (6)	2 (6)	2 (6)	6 (18)
	会津地域 (会津若松市、会津美里町)	3	あかつき、川中島白桃	1 (3)	3 (9)	2 (6)	6 (18)
	小計	30		19 (57)	30 (90)	19 (57)	68 (204)
合計		65		28 (84)	65 (195)	28 (84)	121 (363)

表 2-2 96-MUC 法による供試菌株の簡易同定結果 (2012～2013 年)

プロフィール インデックス	候補菌種名	サンプル別の該当菌株数						合計
		2012年			2013年			
		一年枝	新梢葉	果実	一年枝	新梢葉	果実	
0020	<i>Xanthomonas arboricola</i> (pathovars)	12	77	21	35	55	35	235
1020	<i>Xanthomonas arboricola</i> (pathovars)	15	28	6	22	35	22	128
合計		27	105	27	57	90	57	363

注) プロフィールインデックスは 11 項目の細菌学的性状の調査結果を基に作成したもの。これに基づき、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門のデータベースで候補菌主を検索する。

表 2-3 モモの新梢葉を用いた供試菌株の病原性検定結果

供試菌株の 分離年	サンプル別の供試菌株数			合計	病原性
	一年枝	新梢葉	果実		
2012	9	35	9	53	+
2013	19	30	19	68	+
合計	28	65	28	121	

注) 病原性検定は、供試菌株の分離年に実施。

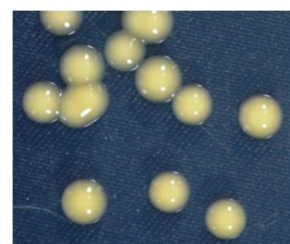


図 2-1 分離細菌 (*Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*) のコロニー

第3章 春型枝病斑の発生様相の解明および春型枝病斑のせん除による防除効果の検証

1.1.2 のとおり、*X. arboricola* pv. *pruni* は秋季に新梢(翌年の一年枝)の落葉痕や皮目から感染すると、そのまま潜伏・越冬し、春季に一次伝染源である春型枝病斑を形成する(北島, 1989)。この春型枝病斑は本病の発生に大きく影響するため(Thornberry and Anderson, 1933; 北島・岸, 1959; 高梨, 1978; Roselló et al., 2012; 瀧田・七海, 2014; 忠ら, 2016; 七海・柳沼, 2017)、病斑の早期発見とせん除が本病の重要な防除対策とされているが(高梨, 1980; 落合, 2003)、詳細な調査事例は少ないのが現状である。

一方で、春季にならないと発生しない春型枝病斑の性質上、モモの栽培管理で毎年必須となる冬季せん定の際には春型枝病斑のせん除は実施できない。そのため、病斑のせん除は摘蕾や摘花、摘果等の春季以降の栽培管理に追加しての作業となり、生産者への負担となることから、生産現場での徹底は難しい場合がある。また、福島県では春型枝病斑の4~5芽下の葉芽で発病枝(本病斑が発生した枝)を切り戻すのが一般的な手法であるが、本手法が適切である明確な根拠はない。

春型枝病斑は発芽~開花期頃から発生が見られ、一年枝の半分より先に多く発生することが明らかとなっているが(北島・岸, 1959)、病斑を効率的に発見し、せん除を効率的に実施するためには、病斑の発生様相についての更なる知見の集積とそれに基づいた病斑のせん除方法の確立が必要であり、生産現場において本対策の徹底を図るためには、具体的な防除効果を明示する必要がある。

そのため、本章ではこれらの点を考慮し、本病の多発生樹を対象として春型枝病斑の発生期間と一年枝上の発生位置、病斑からの *X. arboricola* pv. *pruni* の放出期間と病斑への薬剤塗布による本種の放出量への影響について調査するとともに、春型枝病斑のせん除による具体的な防除効果について検証した。

3.1 材料および方法

3.1.1 春型枝病斑の発生時期および発生位置

(1) 供試樹・主枝

福島県農業総合センター果樹研究所病害虫科ほ場の‘ゆうぞら’(2016年において8年生)の3主枝を供試した。

(2) 春型枝病斑の発生期間および発生量の調査

2016~2018年の3月下旬から7月下旬頃に、春型枝病斑の発生量を月に3回程度調査した。供試樹・主枝の全一年枝について春型枝病斑の発生の有無を調査し、各調査月別の発病枝率を算出した。

なお、発病枝はせん除せずにラベルを付けて継続して調査を行い、同一枝に連続して新たに病斑が発生した場合には、最初に病斑の発生が確認された調

査日を発生日とした。

(3) 春型枝病斑の発生位置の調査

(2)の調査時に、発病枝の長さや春型枝病斑の中心の位置についても併せて調査を行った。さらに、発病枝を先端部、中央部および基部に三等分して、どの部位に病斑の中心が位置するかによって発生位置を分類し(図3-1)、各部位別の発生割合を算出した。

なお、長さが5cm未満の一年枝に春型枝病斑が発生した場合、発病枝全体が黒変して枯死することが多く、病斑の中心位置が判別不能となるため、調査から除外した。また、栽培管理のために先端を切った枝についても、正確な枝の長さが不明であることから調査対象外とした。

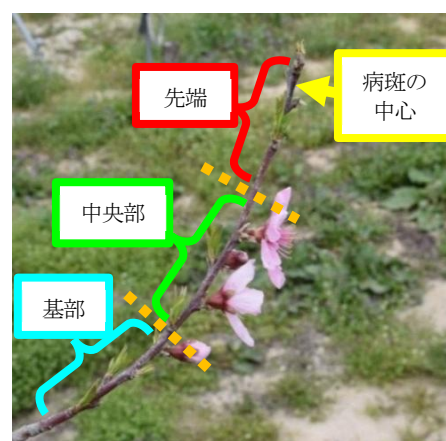


図3-1 春型枝病斑の発生位置の調査方法
(一年枝先端部での病斑発生事例)

3.1.2 春型枝病斑からの病原細菌の放出期間と薬剤塗布の影響

(1) 供試枝および調査期間

2021年に農業総合センター果樹研究所病害虫科ほ場の‘ゆうぞら’(13年生)および‘あかつき’(14年生)に自然発生した発病枝3本を供試枝とし、調査期間は、各春型枝病斑の発生確認直後(2021年4~5月)から2021年8月23日までとした(表3-1)。

(2) 病原細菌の検出

晴天時に春型枝病斑を滅菌水中に浸漬し、病斑から放出される *X. arboricola* pv. *pruni* の量を経時的に調査した。すなわち、滅菌水10mLを入れた遠沈管(15mL)に春型枝病斑を10分間浸漬した後、回収した水を連続10倍希釈(4月から6月は 10^4 まで、7月から8月は 10^3 まで希釈)し、希釈平板法により、水1mL中の細菌量(cfu/mL)について調査した。

本試験にはTPNを最終濃度で400ppmとなるよう添加したMT培地(七海ら, 2016)を用い、回収した水を培地に塗抹接種した後に25°Cで7日間培養後、淡黄色で培地の周囲が白濁したコロニーを本種として計測し、各濃度において3反復の平均値から細菌量を算出した。

(3) 春型枝病斑への有機銅塗布剤処理

‘あかつき’発病枝の春型枝病斑には2021年6月

30日に有機銅塗布剤（商品名：バッチレート。2024年9月時点で本病の登録なし）を塗布し（図3-2）、病斑からの*X. arboricola* pv. *pruni*の放出量の変化について調査した。

(4) 防除対策

供試枝に対し、試験期間中は本病防除薬剤の散布を実施しなかった。

表3-1 春型枝病斑からの病原細菌放出期間調査における供試枝の概要（2021年）

枝No.	品種	春型枝病斑数	調査期間	有機銅塗布剤処理
1	ゆうぞら	1	4月23日～8月23日	無
2	ゆうぞら	1	5月20日～8月23日	無
3	あかつき	1	5月12日～8月23日	有 (6月30日)

注) 枝No.1は5月8日に枯死した。



図3-2 春型枝病斑への有機銅塗布剤の処理
(A：処理前、B：処理後。
撮影日：2021年6月30日)

3.1.3 春型枝病斑の複数回せん除による防除効果の検証

(1) 試験区の構成

福島県農業総合センター果樹研究所内の‘ゆうぞら’（2017年において9年生）を供試樹とし、春型枝病斑のせん除区と無せん除区（以下、せん除区と無せん除区という）（3主枝/区）を設けた。

(2) 試験方法

春型枝病斑の発生は長期間にわたるため、病斑のせん除を複数回実施し、実害となる果実被害の抑制効果について調査を行った。すなわち、せん除区の全一年枝を対象とし、現地慣行の基準（病斑の4～5芽下の葉芽で切り戻す）に基づき、2017年は4月7日から7月19日に計11回、2018年は4月2日から7月11日に計8回、春型枝病斑をせん除した。

さらに、両試験区に共通する防除対策として、銅水和剤や抗生物質剤を含む現地慣行の防除暦に基づいた薬剤散布を3月から8月まで実施した。果実の袋かけは両試験区とも実施しなかった。

(3) 発病調査

春型枝病斑の発生状況については、3.1.1の調査時に各区の全一年枝を対象に調査を実施した。各区の一年枝の全本数を分母とし、調査期間の累計の発病

枝数から累積発病枝率を算出した。

果実の発生状況については、2017年は8月29日、2018年は8月28日の‘ゆうぞら’の収穫期に各区の全果実を収穫して発病の有無を調査し、発病果率を算出した。

3.2 結果

3.2.1 春型枝病斑の発生時期および発生位置

(1) 春型枝病斑の発生期間および発生量

発病枝率は2016年が18.6%と最も高く、2017年は3.3%、2018年は2.8%であった（表3-2）。春型枝病斑の発生はモモの発芽10日後頃から確認され、2016年は3月から8月まで、2017年と2018年は4月から7月まで継続して確認され、病斑の発生盛期は2016年が4月（発病枝に占める割合が61.1%）、2017年は4月および5月（同29.7%）、2018年は5月（同44.7%）であった（表3-2）。

(2) 春型枝病斑の発生位置

いずれの調査年においても、春型枝病斑は一年枝の先端部での発生が多く、2016年は発生割合が59.0%、2017年は55.2%、2018年は70.3%を占めた（表3-3）。次いで2016年は中央部（36.1%）、2017年と2018年は基部（27.6%及び27.0%）で発生が多かった（表3-3）。さらに、いずれの調査年においても同一枝に連続して春型枝病斑が発生する事例が確認され（図3-3）、その割合は2016年が9.0%、2017年が2.7%、2018年は7.9%であった（表3-4）。

3.2.2 春型枝病斑からの病原細菌の放出期間と薬剤塗布の影響

(1) 春型枝病斑からの病原細菌の放出期間

春型枝病斑の発生は、枝No.1（‘ゆうぞら’）で4月23日、枝No.2（‘ゆうぞら’）では5月20日に確認された。発生した病斑数は各枝とも1個であり、病斑の増加は確認されなかった。また、枝No.1は5月8日に完全に枯死したが、No.2は枯死せずに生育した。

枝No.1の病斑からは、4月23日（調査開始時）から8月1日まで*X. arboricola* pv. *pruni*が確認された。細菌量は4月下旬で $5.4 \times 10^5 \sim 1.7 \times 10^6$ cfu/mLであり、枝が枯死した5月上旬から7月上旬は $8.3 \times 10^{-6} \sim 6.3 \times 10^2$ cfu/mL、それ以降は0～3cfu/mLであった（図3-4）。また、枝No.2の病斑からは、5月20日（調査開始時）から8月23日（調査終了時）まで*X. arboricola* pv. *pruni*が確認された。細菌量には変動がみられ、最大で 5.4×10^4 cfu/mL、最小で3cfu/mLであった（図3-4）。

(2) 有機銅塗布剤処理による春型枝病斑からの病原細菌放出量の低減効果

枝No.3（‘あかつき’）での春型枝病斑の発生は5月12日に確認され、枝No.1および2と同様に、病斑数は1個のみであった。また、枝No.3は枯死せ

ず、試験終了後まで生育した。

病斑からの *X. arboricola* pv. *pruni* の放出は 5 月 12 日（調査開始時）～6 月 11 日まで確認され、細菌量の最大値は 2.8×10^3 cfu/mL であったが、有機銅塗布剤を処理した 6 月 30 日から 8 月 23 日（調査終了後）までは本種は検出されなかった（図 3-5）。

3.2.3 春型枝病斑の複数回せん除による防除効果の検証

(1) 春型枝病斑の発生状況

2017 年は 4 月 11 日から発生が確認され、せん除区での累計発病枝率は 2.8%、無せん除区での累計発病枝率は 3.3% であった（表 3-5）。同様に、2018 年は 4 月 2 日から発生が確認され、せん除区での累計発病枝率は 2.0%、無せん除区での累計発病枝率は 2.8% であった（表 3-5）。

(2) 果実での発生状況

2017 年はせん除区での発病果率が 11.7%、無せん除区では 33.0% であった（表 3-5）。同様に 2018 年はせん除区で 1.8%、無せん除区で 6.5% であり（表 3-5）、いずれの試験実施年でもせん除区の発病果率は無せん除区の 3 分の 1 程度であり、春型枝病斑のせん除による防除効果が認められた。

3.3 考察

春型枝病斑の発生は発芽や開花時期に認められるとされ（北島・岸、1959）、今回の調査結果でも初発生は発芽 10 日後頃（開花前）である 3 月下旬～4 月上旬から発生が見られており、既報と同様の傾向が認められた。また、春型枝病斑の発生位置についてはいずれの調査年においても一年枝の先端部に多く発生する傾向が確認され、一年枝の半分より先での発生が多いとする北島・岸（1959）の報告を支持する結果となった。

春型枝病斑は秋期に枝の皮目または落葉痕から *X. arboricola* pv. *pruni* が感染することで発生するが、落葉痕の感染に起因する病斑の数は皮目の感染に起因する病斑よりも多いことが明らかになっている（高梨、1980）。さらに、落葉痕への感染は新梢葉の脱落后 1 日以内に起こること（Feliciano and Daines, 1970；菅野ら、2007）、10 月以降はモモの示す防衛反応が弱くなるために当該時期での感染によって翌年の春型枝病斑となる可能性が高いこと（高梨、1980）、モモの新梢葉は枝の基部葉から落葉し、枝の先端部の新梢葉は晩秋まで残存しやすいことを考慮すると、10 月以降に台風等の強風雨がいった場合、既に露出

表 3-2 モモせん孔細菌病春型枝病斑の月別の発生状況（2016～2018 年）

調査年	調査枝数	発病枝数	発病枝率 (%)	月別の発病枝数（全発病枝に占める割合(%)）								
				3月	4月	5月	6月	7月	8月	合計		
2016	897	167	18.6	1 (0.6)	102 (61.1)	28 (16.8)	30 (18.0)	3 (1.8)	3 (1.8)	167 (100)		
2017	1,115	37	3.3	—	11 (29.7)	11 (29.7)	8 (21.6)	7 (18.9)	—	37 (100)		
2018	1,361	38	2.8	—	10 (26.3)	17 (44.7)	9 (23.7)	2 (5.3)	—	38 (100)		

注) 供試品種「ゆうぞら」（2016 年において 8 年生）。数値は 3 主枝の合計値。

表 3-3 春型枝病斑の発生位置別の発生割合（2016～2018 年）

調査年	発病枝数 ^{a)}	春型枝病斑発生位置別の枝数（発病枝数に占める割合 (%)） ^{b)}		
		先端部	中央部	基部
2016	144	85 (59.0)	52 (36.1)	26 (18.1)
2017	29	16 (55.2)	7 (24.1)	8 (27.6)
2018	37	26 (70.3)	6 (16.2)	10 (27.0)

a) 長さ 5cm 以上の一年枝（栽培管理のために先端を切った枝を除く）。

b) 同一枝に複数の病斑が発生した場合があったため、各部位別の枝数の合計値は全発病枝数と一致せず、割合の合計値は 100% にならない。

表 3-4 春型枝病斑が同一枝に連続して発生した一年枝の割合（2016～2018 年）

調査年	全発病枝数	病斑が同一枝に連続して発生した枝数（発病枝数に占める割合 (%)）
2016	167	15 (9.0)
2017	37	1 (2.7)
2018	38	3 (7.9)

注) 春型枝病斑の初発生確認後に病斑のせん除は実施しなかった。

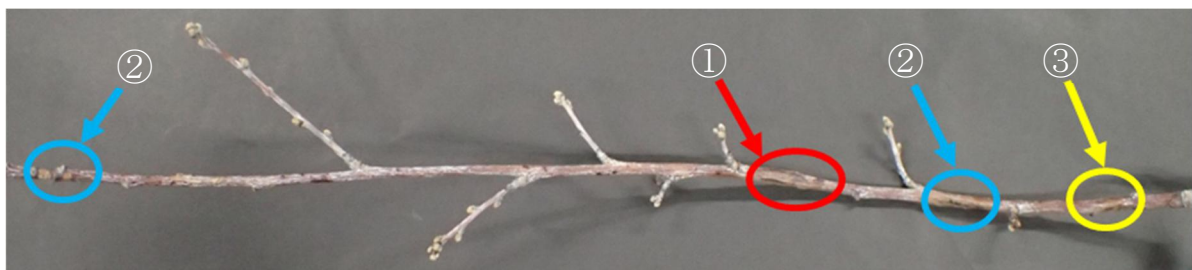


図 3-3 春型枝病斑が連続して発生した一年枝の例
（病斑の発生確認日：①2018 年 4 月 26 日、②同年 5 月 31 日、③同年 6 月 29 日。撮影日：2019 年 2 月）

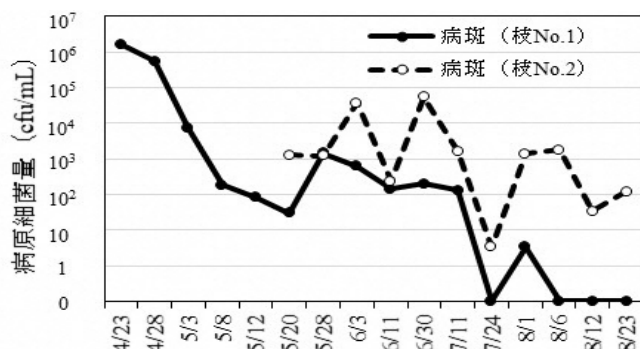


図 3-4 春型枝病斑から放出される *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* の推移
(供試品種 ‘ゆうぞら’、2021 年)

注) 枝 No.1 は 5 月 8 日に枯死した。

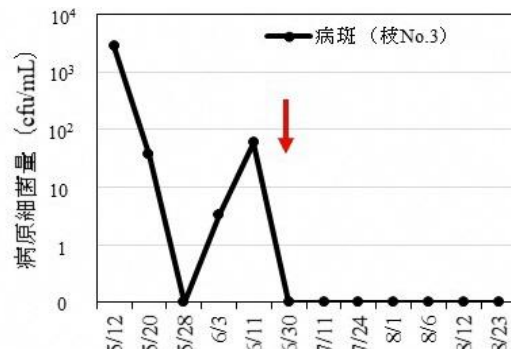


図 3-5 春型枝病斑から放出される *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* の推移
(供試品種 ‘あかつき’、2021 年)

注) 矢印は有機銅塗布剤の処理を示す。

表 3-5 春型枝病斑の発生状況と病斑の複数回せん除によるモモせん孔細菌病の防除効果
(2017～2018 年)

試験 実施年	試験区 ^{a)}	一年枝調査 ^{b)} (試験期間の累計値)			果実調査 ^{c)} (8月下旬)		
		調査枝数	発病枝数	発病枝率 (%)	調査果数	発病果数	発病果率 (%)
2017	春型枝病斑せん除区	808	23	2.8	571	67	11.7
	春型枝病斑無せん除区	1,115	37	3.3	482	159	33.0
2018	春型枝病斑せん除区	1,106	22	2.0	334	6	1.8
	春型枝病斑無せん除区	1,361	38	2.8	734	48	6.5

a) 供試品種 ‘ゆうぞら’ (2017 年において 9 年生)。数値は 3 主枝の合計値。

b) 2017 年は 4 月 7 日～7 月 19 日、2018 年は 4 月 2 日～7 月 11 日に調査を実施。

c) 2017 年は 8 月 29 日、2018 年は 8 月 28 日に調査を実施。

している落葉痕への感染は生じないが、強風によって葉が脱落して露出した新たな落葉痕では高頻度で感染が生じるために一年枝の先端部に春型枝病斑が特に多く形成されるものと考えられる。

一方、春型枝病斑の発生盛期は 4～5 月であるが、発生期間については初発から 7～8 月まで長期間にわたることが明らかとなり (表 3-2)、割合は高くないものの、同一の発病枝に連続して春型枝病斑が発生する事例も新たに確認された。

さらに、春型枝病斑からの *X. arboricola* pv. *pruni* の放出期間は落花期から 7 月までとされているが (落合、2003)、本試験ではそれよりも長い 8 月まで確認され、試験中に枯死した枝の病斑からも長期間にわたって本種が検出された。本試験での春型枝病斑から放出される細菌量の推移と新梢葉に人工的に感染・発病させるために必要な本種の細菌懸濁液の濃度は 5×10^3 cfu/mL 以上 (高梨、1978) であることを考慮すると、春型枝病斑は 8 月上旬頃まで伝染源として機能する可能性があることが示唆された。さらに、春型枝病斑の複数回せん除を実施することで実害である果実発病が確実に減少することが実証されるとともに、本対策の重要性が改めて確認された。

これらの結果から、発芽 10 日後頃 (開花直前) から一年枝の先端、中央部、基部の順に一年枝を観察することで春型枝病斑を効率的に発見できることが

示唆され、発病枝のせん除は枯死枝も含めて可能な限り速やかに実施すること、病斑の発生が多い 4～5 月を中心に複数回実施する必要があることが明らかになった。さらに、病斑をせん除した枝でも再度病斑が発生する可能性があるため、現行の発病枝のせん除方法 (春型枝病斑の 4～5 芽下の葉芽で切り戻す) は適切ではないため、発病枝は基部から完全にせん除することが望ましい。

しかし、モモには陰芽の発生が少ない性質があり (阿部ら、2001)、葉芽を残さずに枝を基部からせん除すると将来の枝となる新たな芽がほとんど発生しないことから、基部から完全にせん除する枝の数が多くなると、果実の生産性や樹勢に影響する可能性も考えられる。そのため、発病枝のせん除については周囲に枝数が十分確保できる場合は発病枝を基部から完全にせん除し、枝数が十分確保できない場合には発病枝の基部の葉芽で切り戻す方法が適切であり、防除効果も高くなることが期待される。

また、春型枝病斑に有機銅塗布剤を処理することにより、*X. arboricola* pv. *pruni* の放出を低減できる可能性が示唆された。春型枝病斑はせん除が基本であるが、病斑が発生した場合にせん除が困難な若木の骨格枝候補となる一年枝の維持に有効な手法であると考えられ、今後は農薬登録の拡大を含めた詳細な試験が必要である。

第4章 春型枝病斑の発生予測モデルの開発

第3章でも述べたとおり、春型枝病斑は本病の発生に大きく影響するため、その発生量を予測することは本病の防除計画を策定する上で重要な情報となる。しかし、1.1.3のとおり、本病については新梢葉発病についての発生予測モデルは開発されているものの（落合・林、1989；Kawaguchi, 2014b）、春型枝病斑のモデルはないのが現状である。

高梨（1978）は秋季の新梢葉での発生状況と翌年の春型枝病斑の関係を秋季の強風雨等の気象要因を加味して累年調査することで、翌年の春型枝病斑の発生量が推定できる可能性を示唆している。また、福島県農業総合センター安全農業推進部（病害虫防除所）の発生予察基準では発病枝率（春型枝病斑の発生した枝の割合）が2%以上を中発生としており、この発生程度以上になると被害が大きくなる可能性が高い。

そのため本章では、ほぼ同一のほ場において定期的に本病の発生状況を調査している病害虫防除所の定期巡回調査データと気象データを用いた階層ベイズモデルにより、調査ほ場の内、発病枝率が2%以上となるほ場割合を予測するモデルの開発を試みた。

4.1 材料および方法

4.1.1 気象要因の選択

(1) 発病データの選択

発病要因として、病害虫防除所が2009～2020年にモモの主産地である県北地域（福島市、伊達市、国見町および桑折町）において主力品種‘あかつき’のほ場（17～18ほ場/年）で実施した本病の定期巡回調査データを用いた。2008年以前の調査データは欠測が多いことから、これらは供試データから除外した。

‘あかつき’を対象とした本病の定期巡回調査は、1ほ場につき3樹を対象とし、春型枝病斑の調査対象である一年枝（90本/ほ場）は4月中旬（概ね開花前）から5月下旬に計3回、新梢葉（30新梢の全葉/ほ場）は5月下旬から9月下旬に計9回、果実（300個/ほ場）は6月上旬から8月上旬に計5回実施され、各調査時における調査ほ場別の発病率が記録されている。その定期調査データのうち、9月下旬および翌年の4月中旬から5月下旬まで欠測がない183事例（13～18ほ場/年）を抽出した。

(2) 春型枝病斑の発生に関係する気象データの選択

気象データについては、県北地域の中心に位置し、各調査ほ場から20km以内にある気象庁福島地方気象台（福島市）の観測データを用いた。

気象要因と春型枝病斑の発生との関係については知見が少ないが、高梨（1978）は秋季における時期別の新梢への接種試験により、接種時期が遅い試験区で翌年の春型枝病斑の発生が多くなることを報告

しており、晩秋の台風等による強風雨によって感染が助長されることを指摘している。また、本種の生育適温は25℃前後であるため（高梨、1978）、前年9～10月の降雨日数（5mm以上、10mm以上）、最大風速5m以上の日数、最高気温25℃以上（9～10月）、20℃以上（11月）の各種気象要因の内、春型枝病斑の発生と関係性（相関係数 $r > 0.2$ 、 $P < 0.05$ ）が認められる要因について選択した。

4.1.2 階層ベイズモデルによる春型枝病斑の発生予測モデルの開発

(1) 発病データの選択

4.1.1の発病調査事例（183事例）のうち、翌年の4～5月に春型枝病斑の発生枝率が一度でも2%以上となったほ場を1、それ以外のほ場を0としてバイナリコード化し、解析に供試した。

また、春型枝病斑は9月下旬以降に *X. arboricola* pv. *pruni* が新梢に感染することで発生することが確認されているため（高梨、1978）、病害虫防除所の新梢葉の最終調査時期である9月下旬の発病葉率が10%以上（発生予察基準で概ね中発生以上）のほ場を1、10%未満のほ場を0としてバイナリコード化し、解析に供試した。

(2) 気象データの選択

4.1.1で翌年の春型枝病斑の発生との関係性が認められた、10月の降水量10mm以上かつ最大風速5m以上の日数を気象データとして用いた。

(3) 予測モデルの開発

階層ベイズモデルは以下のとおり定義され、RソフトウェアおよびRパッケージである「rstan」を用いたマルコフ連鎖モンテカルロ法により回帰係数を推定した。

$$P_i = 1 / \{1 + \exp[-(\gamma_f + \alpha + \beta_1 Di + \beta_2 Wi)]\}$$

なお、 P_i は翌年の4～5月に春型枝病斑の発生枝率が一度でも2%以上となる発生ほ場割合、 i は調査ほ場数、 γ_f はランダム効果としての y 切片、 α は固定効果としての y 切片、 β_1 と β_2 は予測変数 Di （9月下旬の発病葉率が10%以上のほ場であるかを0または1としてバイナリコード化したデータ）および Wi （10月の降水量が10mm/日以上かつ最大風速が5m/s以上の日数）に関連付けられた係数変数をそれぞれ固定効果として表す。

(4) 予測モデルの Receiver Operating Characteristic 解析

本モデルの精度を検証するため、統計解析ソフトウェアのRのパッケージであるROCRを用いて Receiver Operating Characteristic (ROC) 解析を行った。一般に、ROC曲線は特異性と感度が1に近い程、良いモデルであるとされ、ROC曲線で囲まれた部分の面積 (The area under the ROC curve : AUC) はモデルの精度を示す指標であり、AUCが広い程精度が高く、0.8から0.9で優れており、0.9を超えると極めて優れていると判断され (Mandrekar, 2010)、近年では植物の病害

研究にも用いられている (Turecheck and Wilcox, 2005)。また、正解率、再現率、特異度および F 値についても表 4-1 のとおり算出した。

さらに、翌年の春型枝病斑の発生が 2%以上となったほ場割合の実測値と本モデルによる予測値の単回帰分析を行った。

表 4-1 正解率、再現率、特異度、適合率および F 値の算出方法

実際の病害発生	予測された病害発生			
	発生あり		発生なし	
	発生あり	真陽性	偽陰性	合計3
	発生なし	偽陽性	真陰性	合計4
	合計	合計1	合計2	合計
正解率	再現率	特異度	適合率	F値
$= (\text{真陽性} + \text{真陰性}) / \text{合計}$	$= \text{真陽性} / \text{合計3}$	$= \text{真陰性} / \text{合計4}$	$= \text{真陽性} / \text{合計1}$	$= 2(\text{再現率} \times \text{適合率}) / (\text{再現率} + \text{適合率})$

(5) 予測モデルの交差検証

開発モデルによる予測精度を検証するため、4 分割交差検証を行った。すなわち、モデル構築に用いた 12 年分のデータを 4 つのデータセットに分割して 3 つの学習データセットでモデル構築し、残り 1 つのテストデータセットで交差検証を行った。

1 つのデータセットには 3 年連続のデータが含まれ、データセット A には 2009～2011 年、データセット B には 2012～2014 年、データセット C には 2015～2017 年、データセット D には 2018～2020 年のデータが含まれており、交差検証は CV-1～4 の 4 つの独立した組み合わせで行った。

4.2 結果

4.2.1 気象要因の選択

翌年の春型枝病斑の発生と関係性 (相関係数 $r > 0.2$, $P < 0.05$) が認められる要因は、「10 月の降水量 10mm 以上かつ最大風速 5m 以上の日数」のみであった (表 4-2)。

4.2.2 階層ベイズモデルによる春型枝病斑の発生予測モデルの開発

(1) 予測モデルの開発

階層ベイズモデルによる、翌年の 4～5 月に春型枝病斑の発生枝率が一度でも 2%以上となる発生ほ場割合を予測するモデルは以下のとおりとなった。

$$P = 1 / \{1 + \exp[-(\gamma + 4.299 + 3.428D + 0.698W)]\}$$

なお、 P は翌年の春型枝病斑の発生ほ場割合、 D は 9 月に 10%以上の葉で病斑が認められるほ場のバイナリコード化したデータ、 W は 10 月における最大降水量 10 mm 以上かつ最大風速 5 m/s の条件を満たす日数、 γ は -8.086 (ほ場ごとの違いを示す変量効果) を示す。

(2) 予測モデルの検証

予測モデルの ROC 解析の結果、陽性と陰性を決める閾値を 0.187 にすると AUC は 0.880 となり、高

い予測精度が得られた (図 4-1)。また、予測モデルは正解率 0.836、再現率 0.804、特異度 0.847、適合率 0.683、F 値 0.712 の精度で予測できることが明らかになった (表 4-3)。

春型枝病斑の発生ほ場割合の実測値と予測モデルによる予測値の単回帰分析の結果、補正決定係数 (R^2) は 0.6575 ($P=0.0014$) であった (図 4-2)。

交差検証法による予測モデルの平均正解率は 0.847、平均再現率 0.727、平均特異度 0.889、平均適合率 0.704、平均 F 値 0.777 の精度で予測できることが明らかになった (表 4-4)。

4.3 考察

ROC 解析および交差検証の結果、9 月下旬の発病葉率 10%以上となったほ場のバイナリコードデータと 10 月の降水量 10mm 以上かつ最大風速 5m 以上の日数を用いた階層ベイズモデルに基づく本予測モデルは、翌年の春型枝病斑の発生ほ場割合を高い精度で予測することが可能なモデルであり、本予測モデルによって 11 月には 6～7 か月先の春型枝病斑の発生ほ場割合の予測ができるため、生産現場への早期の情報発信と病斑の発生量の予測結果に基づいた防除計画の作成への活用が期待される。特に発生ほ場割合が高くなることが予測された場合には、病害虫防除所等の指導機関から生産現場に向けて春型枝病斑のせん除を特に徹底するよう情報発信を強化する必要がある。

しかし、本予測モデルの正解率は 0.8 以上で高いものの、適合率は ROC 解析で 0.638、交差検証で 0.704 と比較的低いため、誤検出を予測する傾向があること、発生ほ場割合の実測値と予測値の回帰直線の傾きが 1.2598 であり、実測値よりも予測値がやや高くなることが示唆されているため、これらの特徴を理解しておく必要がある。

また、本予測モデルの精度検証の結果から、秋季に新梢葉での本病の発生が多く、10 月に風を伴った降雨が多い場合に、翌年の春型枝病斑の発生が多くなることが示唆された。これは 10 月になると風による落葉が生じやすくなることにより、*X. arboricola* pv. *pruni* の侵入口である落葉痕の露出が多くなることで、当該時期に風を伴った降雨により感染量が増加することが原因であり、本病の罹病樹の新梢葉や枝を流下する雨水中からは *X. arboricola* pv. *pruni* が 10 月中旬頃まで検出されることも (七海・柳沼, 2018) この結果を支持するものと考えられる。

一方で、落合・林 (1989) は福島県における春型枝病斑の発生を助長する気象要因は 9 月中～下旬の降水量であると報告しており、今回の解析結果とは異なったが、これは近年の気候変動とそれに伴うモモの落葉時期の変化によるものと考えられた。

表 4-2 翌年のモモせん孔細菌病春型枝病斑の発生(発病枝率 2%以上)と各気象要因の相関関係

気象要因
9月の5mm以上, 10mm以上の降雨日数
10月の5mm以上, 10mm以上の降雨日数
11月の5mm以上, 10mm以上の降雨日数
9月の最大風速5m以上の日数
10月の最大風速5m以上の日数
11月の最大風速5m以上の日数
9月の降水量5mm以上かつ最大風速5m以上の日数
9月の降水量10mm以上かつ最大風速5m以上の日数
10月の降水量5mm以上かつ最大風速5m以上の日数
* 10月の降水量10mm以上かつ最大風速5m以上の日数
11月の降水量5mm以上かつ最大風速5m以上の日数
11月の降水量10mm以上かつ最大風速5m以上の日数
9月の最高気温が25℃以上の日数
10月の最高気温が25℃以上の日数
11月の最高気温が20℃以上の日数

注) *相関係数 $r > 0.2$ かつ P 値 < 0.05 であることを示す。

表 4-3 Receiver Operating Characteristic (ROC) 解析によるモモせん孔細菌病春型枝病斑の発生予測モデルの精度検証結果

	予測された病害発生			合計
	発生あり	発生なし	発生なし	
実際の病害発生				
発生あり	37	9		46
発生なし	21	116		137
合計	58	125		183
正解率	再現率	特異度	適合率	F値
0.836	0.804	0.847	0.638	0.712

注) ROC 解析による閾値=0.187 に設定した場合の結果。

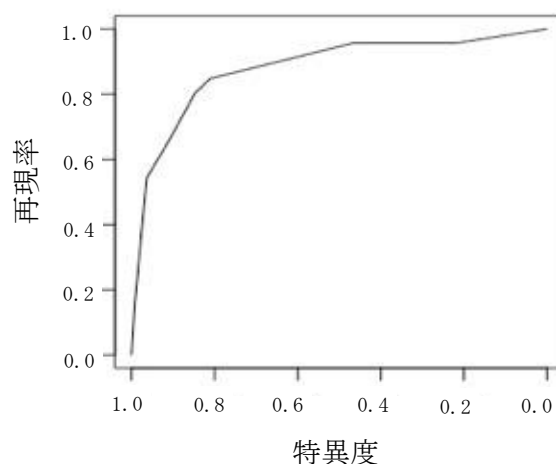
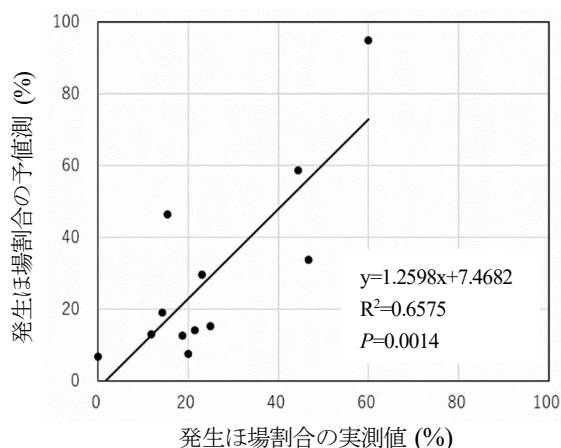
図 4-1 モモせん孔細菌病春型枝病斑の発生予測モデルの Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線
(The area under the ROC curve = 0.880)

図 4-2 春型枝病斑の発生は場割合の実測値と発生予測モデルの予測値の単回帰分析

表 4-4 交差検証法によるモモせん孔細菌病春型枝病斑の発生予測モデルの精度検証結果

データセット組み合わせ		テストデータセットにおける精度				
学習データセット	テストデータセット	正解率	再現率	特異度	適合率	F値
B, C, D	A	0.841	0.800	0.846	0.400	0.822
A, C, D	B	0.870	0.889	0.865	0.615	0.877
A, B, D	C	0.851	0.417	1.000	1.000	0.588
A, B, C	D	0.826	0.800	0.846	0.800	0.822
	平均値	0.847	0.727	0.889	0.704	0.777
	標準偏差	0.018	0.211	0.074	0.256	0.129

注) データセット A には 2009、2010、2011 年のデータ、データセット B には 2012、2013、2014 年のデータ、データセット C には 2015、2016、2017 年のデータ、データセット D には 2018、2019、2020 年のデータが含まれる。

第5章 雨よけ栽培による発病抑制効果の検証

ブドウでは雨よけ栽培によって晩腐病や黒とう病、べと病等の雨媒伝染性病害の発生が抑制され、薬剤の使用回数も30～40%程度削減可能であることが明らかとなっており（富田ら、2000、2007）、一般的な栽培技術として普及している。一方、モモでは雨よけ栽培による生育や果実品質への影響に関する研究が行われているが（高野・志村、1999；春崎・岩谷2009）、病害防除を目的とした研究事例はない。

本病の主病原である *X. arboricola* pv. *pruni* は雨水に混じって拡散し、宿主の傷口や自然開口部から感染する性質があることから（高梨、1980）、本種の移動および感染に必須となる雨水を遮断することで高い発病抑制効果が得られ、本病に対する有効な防除対策となることが考えられる。

X. arboricola pv. *pruni* は9月中旬以降の秋季に降雨によって新梢の皮目や落葉痕に感染すると、病斑を形成せずに越冬し、翌年の春季に強力な一時伝染源である春型枝病斑を形成し、雨滴とともに周囲に飛散する（高梨、1980）。そのため、本章では本病の多発生樹を対象に、防除薬剤の使用回数を削減しつつ、9月上旬から翌年の収穫期（冬季を除く）まで雨よけ栽培を行い、翌年の春型枝病斑、新梢葉および果実の発病の抑制効果を検証した。

さらに、長期の雨よけにより灌水の必要性や台風等の強風によるハウスの破損の可能性が想定されることから、雨よけ栽培と果実の袋かけを組み合わせ、雨よけ期間を春型枝病斑の発生が始まる4月上旬から果実の袋かけ終了までとする短期間の雨よけ栽培についても発病抑制効果を検証した。

5.1 材料および方法

5.1.1 秋季から翌年の収穫終了までの雨よけ栽培による発病抑制効果の検証

(1) 試験区の構成

福島県農業総合センター果樹研究所病害虫科ほ場の‘ゆうぞら’（7年生）6樹を供試樹とし、雨よけ栽培区と露地栽培区（いずれも3樹/区）を設けた。

(2) 雨よけハウスの設置と雨よけ期間

雨よけ栽培区には樹毎に雨よけハウス（高さ4.0m×間口5.4m×長さ5.4m）を設置し、地上2.5m以上の屋根部分にハウスビニールを被覆した（図5-1）。

ハウスビニールの被覆期間は、新梢への秋季感染防止による越冬菌密度の低減効果と翌年の生育期間中の発病抑制効果を明らかにするため、2015年は9月4日から新梢葉が完全に落葉した12月14日、2016年は春型枝病斑の初発生確認日の3月30日（発芽10日後）から収穫終了後の8月29日までとした。

(3) 発病調査

調査は雨よけハウス内の一年枝、新梢葉および果実を対象に実施した。一年枝については2016年3月

30日から8月3日まで、供試樹の全一年枝を対象に春型枝病斑の発生の有無を概ね週に1回調査し、累積の発病枝率（春型枝病斑の発生した枝の割合）を算出した。

新梢葉については、2015年9月18日（試験開始14日後）と2016年8月24日に、各供試樹につき任意の20新梢の全葉を対象として発病および落葉の有無を調査し、発病葉率と落葉率を算出した。

果実については2016年8月22日（収穫期）に供試樹の全果実を収穫し、発病果率を算出した。

(4) 防除対策

雨よけ栽培による発病抑制効果を正確に評価するため、試験期間を通じて本病の重要な防除薬剤である銅水和剤および抗生物質剤は両試験区ともに散布しなかった。すなわち、2015年は雨よけ処理区、露地栽培区ともに銅水和剤による秋期防除は実施せず、2016年は本病以外の縮葉病、黒星病、灰星病およびホモプシス腐敗病の発生防止を主な目的として、表5-1のとおり殺菌剤を散布した。

なお、2016年の生育期間中は両試験区ともに春型枝病斑のせん除を発病調査と併せて実施したが、果実の袋かけは実施しなかった。



図5-1 雨よけハウスの設置状況
（撮影日：2016年4月15日）

表5-1 雨よけ栽培区および露地栽培区における殺菌剤の散布実績（2016年）

散布日	散布薬剤	希釈倍数
3月16日	石灰硫黄合剤	11倍
4月5日	フェンブコナゾール水和剤	5,000倍
4月27日	チウラム水和剤*	500倍
5月6日	水和硫黄剤	400倍
5月13日	チウラム水和剤*	500倍
5月20日	ベノミル・TPN水和剤	1,000倍
5月31日	チウラム水和剤*	500倍
6月15日	TPN水和剤	1,000倍
6月27日	イミノクタジナルベシル酸塩水和剤	1,000倍
7月14日	テブコナゾール水和剤	2,000倍
7月22日	イプロジオン水和剤	1,500倍
8月4日	イミノクタジナルベシル酸塩水和剤	1,000倍

注）*モモせん孔細菌病の登録薬剤を示す。2015年の秋期防除は実施しなかった。

5.1.2 開花直後から果実の袋かけ終了までの雨よけ栽培による発病抑制効果の検証

(1) 試験区の構成

農業総合センター果樹研究所栽培科ほ場の‘川中島白桃’（15年生）2樹を供試樹とし、雨よけ栽培区および露地栽培区（1樹/区）を設けた。

(2) 雨よけハウスの設置と雨よけ期間

雨よけ栽培区には、雨よけハウス（高さ 4.0m×間口 5.4m×長さ 10.8m）を設置し、2020 年 4 月 7 日（開花日の翌日）から果実の袋かけ終了の 17 日後である 6 月 29 日まで、地上 2.5m 以上の屋根部分にハウスビニールを被覆した。

(3) 発病調査

一年枝は 2020 年 4 月から 6 月まで、供試樹の全一年枝を対象に春型枝病斑の発生の有無を調査し、累積の発病枝率を算出した。新梢葉については、2020 年 8 月 17 日（収穫期）に各供試樹につき任意の 20 新梢の全葉を対象として発病および落葉の有無を調査し、発病葉率と落葉率を算出した。また、‘川中島白桃’の果実は 7 月中旬以降、本病に対する感受性が極端に低いため（菅野ら、2003）、除袋後から収穫までの間に新たな果実発病は生じないものと判断し、2020 年 7 月 31 日の除袋時に供試樹の全果実を対象として発病の有無を調査し、発病果率を算出した。

(4) 防除対策

雨よけ栽培区では雨よけ開始前と終了後にスピードスプレーヤによる防除を実施し、雨よけ期間中は動力噴霧器を用いて殺虫剤のみを適宜散布した。露地栽培区では試験開始から終了までスピードスプレーヤによる所内慣行防除を実施した（表 5-2）。

また、春型枝病斑のせん除は病斑の発生調査と併せて合計 4 回実施し、2020 年 6 月 12 日に全果実を対象に二重の果実袋（小林製袋産業株式会社製「ぱりっと 2 撥水ミニ」）を用いて袋かけを実施した。

表 5-2 露地栽培区の殺菌剤散布実績（2020 年）

散布回数 および散布日	散布薬剤	希釈 倍数
① 4月3日	4-12式ボルドー液*	—
② 4月17日	ストレプトマイシン水和剤*	1,000倍
③ 4月28日	バリダマイシン液剤*	500倍
	フェンブコナゾール水和剤	5,000倍
④ 5月8日	オキシテトラサイクリン水和剤*	2,000倍
	水和硫黄剤	400倍
⑤ 5月18日	バリダマイシン液剤*	500倍
	チウラム水和剤*	500倍
⑥ 6月3日	オキシリニック酸水和剤*	1,000倍
	チウラム水和剤*	500倍
⑦ 6月16日	ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤	2,000倍
	バリダマイシン液剤*	500倍
⑧ 6月30日	ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤	2,000倍
	イミノクタジンアルベシル酸塩水和剤	1,000倍
⑨ 7月13日	チオファネートメチル水和剤	1,500倍
	テブコナゾール水和剤	2,000倍
⑩ 7月21日	テブコナゾール水和剤	2,000倍
⑪ 8月15日	イミノクタジンアルベシル酸塩水和剤	1,000倍

注）*モモせん孔細菌病の登録薬剤を示す。雨よけ栽培区では

②～⑦薬剤を散布しなかった。

5.2 結果

5.2.1 秋季から翌年の収穫終了までの雨よけ栽培による発病抑制効果の検証

(1) 試験開始時の発病状況と雨よけ期間中の降水量

2015 年 9 月 18 日における雨よけ栽培区での発病葉率は 74.9%、落葉率は 21.9%、露地栽培区では発病葉率が 36.2%、落葉率が 8.6%であり、両試験区ともに福島県の発生予察基準で甚発生（以下、発病程度は同基準で表記）であった（表 5-3）。

また、ハウスビニールを被覆した 2015 年 9 月 4 日から 12 月 14 日までの降水量は 438.0mm（平年比 122.9%）、同様に 2016 年 3 月 30 日から 8 月 29 日までは 493.5mm（平年比 82.6%）であった（福島県農業総合センター果樹研究所気象データ）。

(2) 春型枝病斑の発生抑制効果

2016 年の春型枝病斑の発生は 3 月 30 日から確認され、8 月 3 日までの露地栽培区での累積発病枝率は 11.1%（多発生）であったが、雨よけ栽培区では 0.6%（少発生）であり、新梢への秋季感染が抑制されたことによる春型枝病斑の発生抑制効果が認められた（表 5-3）。

(3) 新梢葉および果実の発病抑制効果

2016 年 8 月 24 日の新梢葉での発病葉率は、露地栽培区で 39.6%（甚発生）、落葉率 5.4%であったが、雨よけ栽培区で 0.6%（少発生）であり、落葉は確認されなかった（表 5-3）。

一方、2016 年 8 月 22 日の発病果率は、露地栽培区で 63.5%（甚発生）、雨よけ栽培区で 0.8%（少発生）となり（表 5-3）、新梢葉と同様に高い発病抑制効果が認められた。

なお、雨よけ栽培区での発病葉、新梢葉、果実ともに雨よけハウスの開口部付近のみで発生が認められ、本病以外の病害の発生は確認されなかった。

5.2.2 開花直後から果実の袋かけ終了までの雨よけ栽培による発病抑制効果の検証

(1) 春型枝病斑の発生状況と雨よけ期間中の降水量

累積の発病枝率は、雨よけ栽培区で 3.4%、露地栽培区で 3.5%であり、両試験区とも春型枝病斑の発生量は同程度（多発生）であった（表 5-4）。

また、ハウスビニールを被覆した 2020 年 4 月 7 日から 6 月 29 日までの降水量は 217.5mm（平年比 79.7%）であった（福島県農業総合センター果樹研究所気象データ）。

(2) 新梢葉および果実の発病抑制効果

2020 年 8 月 17 日の発病葉率および落葉率は、露地栽培区でそれぞれ 72.0%（甚発生）、21.2%であったが、雨よけ栽培区では 6.6%（中発生）、2.5%であった（表 5-4）。同様に、2020 年 7 月 31 日の発病果率は、露地栽培区で 41.3%（甚発生）であったが、雨よけ栽培区では 4.8%（中発生）であり（表 5-4）、新梢葉、果実ともに発病抑制効果が認められた。

表 5-3 秋季から翌年の収穫終了までの雨よけ栽培試験におけるモモせん孔細菌病の発生状況 (2015～2016 年)

試験区 ^{a)}	新梢葉調査 (試験開始14日後) (2015年9月18日)					一年枝調査 (2016年3～8月累計)			新梢葉調査 (2016年8月24日)					果実調査 (2016年8月22日)		
	調査 葉数	発病 葉数	落葉 数	発病葉 率(%)	落葉率 (%) ^{b)}	調査 枝数	発病 枝数	発病枝 率(%)	調査 葉数	発病 葉数	落葉 数	発病葉率 (%)	落葉率 (%) ^{b)}	調査 果数	発病 果数	発病果 率(%)
雨よけ 栽培区	774	580	217	74.9	21.9	1,005	6	0.6	1,026	6	0	0.6	0	768	6	0.8
露地 栽培区	886	321	83	36.2	8.6	1,106	123	11.1	1,067	423	61	39.6	5.4	643	408	63.5

a) 供試品種「ゆうぞら」(7年生)。数値は3樹の合計値。雨よけ期間は2015年9月4日～12月14日および2016年3月30日～8月29日。果実の袋かけは未実施。

b) 落葉率=(落葉数/(落葉数+調査葉数))×100

表 5-4 開花直後から果実の袋かけ終了までの雨よけ栽培試験におけるモモせん孔細菌病の発生状況 (2020 年)

試験区 ^{a)}	一年枝調査 (4～6月累計)			新梢葉調査 (8月17日)					果実調査 (7月31日)		
	調査枝数	発病枝数	発病枝率 (%)	調査葉数	発病葉数	落葉数	発病葉率 (%)	落葉率 (%) ^{b)}	調査果数	発病果数	発病果率 (%)
雨よけ栽培区	943	32	3.4	350	23	9	6.6	2.5	145	7	4.8
露地栽培区	1,815	63	3.5	293	211	79	72.0	21.2	298	123	41.3

a) 供試品種「川中島白桃」(15年生)。数値は1樹の値を示す。雨よけ期間は2020年4月7日～6月29日。果実の袋かけは6月12日、除袋は7月31日に実施。

b) 落葉率=(落葉数/(落葉数+調査葉数))×100

5.3 考察

本病の防除薬剤を削減した条件での試験であったが、2015～2016年の秋季から翌年の収穫終了までの雨よけ栽培試験、2020年の開花直後から袋かけ終了までの雨よけ栽培試験ともに本病に対する高い発病抑制効果が認められた。また、いずれの試験においても、雨が吹き込みやすいハウスの開口部付近での発病が多く、本病への降雨の影響の大きさが再確認されるとともに、より厳密に降雨が遮断できる条件であれば、さらに被害が減少するものと考えられた。

このことから、雨よけ栽培が本病にも非常に有効な対策であり、発病程度が高いモモ樹の場合でも被害を短期間で大幅に低減可能であること、基幹防除薬剤の銅水和剤と抗生物質剤が大幅に削減可能であることが明らかになった。

2015年の雨よけ期間中の降水量は平年比 122.9%であり、秋期防除も未実施であったために新梢への *X. arboricola* pv. *pruni* の秋季感染が多くなり、露地栽培区では 2016年に春型枝病斑が多発して甚大な被害が発生したが、雨よけ栽培区では秋季感染が抑制されたことで翌年の春型枝病斑の発生量が減少するとともに、春型枝病斑からの伝染が抑制され、新梢葉および果実での発病が大幅に減少したものと考えられた。

一方、2020年の開花直後から袋かけ終了までの雨よけ栽培試験では、露地栽培と比較して大幅に被害は低減したが、秋季から翌年の収穫終了までの雨よけ栽培試験と比較すると発病がやや多い結果となった。この要因として春型枝病斑の発生量が多かったことが考えられるため、このような条件において雨よけ栽培を行う場合、本病の防除薬剤の削減程度に

ついては検討を要する。

また、新梢葉および果実の被害と翌年の春型枝病斑の発生を抑制できるため、雨よけの期間は開花期頃から落葉期までとするのが最も効果的であるが、雨よけの期間が長期化すると灌水が必要になることや強風等による施設の破損の可能性が想定される。しかし、有袋栽培であれば開花期頃から袋かけ終了までの雨よけによって新梢葉と果実被害が、9月～落葉期までの雨よけでも翌年の春型枝病斑の発生がそれぞれ抑制可能であることから、ほ場での発病状況や灌漑設備の有無等に応じた雨よけ期間を選択することも可能であると考えられる。

リンゴの雨よけ栽培で基幹防除薬剤を削減した場合、風媒伝染性病害であるリンゴすす点病、リンゴすす斑病の増加が報告されているが(関根ら、2004)、所内試験では本病以外の病害の発生は確認されなかった。しかし、雨よけハウス内は高温乾燥となりやすく、気象条件や雨よけハウスの大型化によってモモうどんこ病が多発することも想定され、防除適期である落花 10 日後頃の薬剤散布(七海ら、2021)のみでは対応が不十分となる可能性も考えられるため、更なる調査が必要である。

さらに、果樹の苗木生産は台木に穂木または穂木の芽を接ぐ方法が一般的であるが、高梨(1978)はバクテリオファージの類別試験の結果から、スモモでは芽接ぎによって *X. arboricola* pv. *pruni* が伝搬される可能性を指摘している。スモモに限らず、モモの苗木生産でも同様の現象が生じていることが明らかになった場合は、穂木を採集する母樹や台木を対象として雨よけ栽培を行うことにより、健全苗の供給が可能になることも期待される。

第6章 新規防除薬剤およびそれらを組み入れた新規防除体系の検証

本病に対する化学薬剤として抗生物質であるストレプトマイシン、オキシテトラサイクリン、バリダマイシン、合成抗細菌剤であるオキシリニック酸、その他の系統として銅や硫酸亜鉛、ジチアノン、チウラム等を成分とする薬剤が使用されている。

川口（2019）は、硫酸亜鉛を除く上記薬剤に係る新農薬実用化試験のこれまでの成績をメタアナリシスによって統合評価した結果、生育期はストレプトマイシン水和剤、開花前は銅水和剤とジチアノン水和剤、収穫後は銅水和剤が本病に対して高い防除効果が期待できるとしており、北島ら（1959）は薬剤による防除試験の結果から、果実の発病防止にはストレプトマイシンよりも亜鉛石灰液の効果が高いことを報告している。

しかし、1.1.4のとおり、ストレプトマイシンには耐性菌が福島県内で広範囲に確認されていることに加え、2006年には本成分を含む薬剤の収穫前日数が21日から60日に変更となったことから、福島県では早生品種の収穫時期を考慮し、落花期頃に1回しか使用できない現状にある。さらには、2010年の硫酸亜鉛の登録失効に伴い、落花直後から落花10日後頃に使用されてきた6-6式硫酸亜鉛石灰液が使用できなくなったことも本病の化学的防除をより困難なものにしている。

また、高い防除効果が期待できる銅はモモの新梢葉に激しい薬害を生じさせることから（高梨、1980）、ボルドー液や銅水和剤の使用は開花前と収穫後に限定されてきた（落合、2003）。しかし近年では、炭酸カルシウム水和剤を添加することで、落花期以降も銅水和剤が使用可能であることが示唆されている（永井・三宅、2017）。さらに、これまで農薬として使用されてこなかった酸化亜鉛が、培地上で *X. arboricola* pv. *pruni* の生育を抑制することも報告されている（高山ら、2020）。

新規防除薬剤の登録の推進と適切な使用方法の解明は、本病の防除対策を強化する上で重要であることから、本章では上記銅水和剤と酸化亜鉛水和剤の防除効果を明らかにするとともに、それら薬剤を本病の重要な防除時期である生育初期（落花直後～落花30日後頃）に組み入れた新たな防除体系についても検証を行った。

6.1 材料および方法

6.1.1 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤の防除効果の検証

(1) 供試薬剤

試験薬剤として、銅水和剤（商品名：クプロシールド、株式会社エス・ディー・エス バイオテックより提供。希釈倍数1,000倍）、酸化亜鉛水和剤（商品

名：IC ジンク水和剤、井上石灰工業株式会社より提供。同1,000倍）、対照薬剤として本病の基幹防除薬剤であるオキシテトラサイクリン水和剤（商品名：マイコシールド。同2,000倍）を供試した。

なお、銅水和剤は薬害発生リスクの軽減のために炭酸カルシウム水和剤（商品名：クレフノン。同100倍）を加用した。

(2) 試験規模および薬剤の処理方法

2018年は酸化亜鉛水和剤、2019年は両薬剤を供試薬剤とし、農業総合センター果樹研究所病害虫科ほ場の‘あかつき’（7～12年生）を供試樹とした。試験規模は各薬剤区につき3樹（2018年）または3主枝（2019年）とした。供試薬剤は2018年に2回（4月27日、5月6日）、2019年は3回（5月9日、20日、28日）、動力噴霧器を用いて1樹または1主枝あたり約15～20L散布した。

(3) 病原細菌の接種

2018年、2019年ともに供試樹での発病が少なかったため、試験期間中の降雨日に福島県農業総合センター果樹研究所保存の *X. arboricola* pv. *pruni* Da'12-1-1株（MAFF212502）の細菌懸濁液（約 10^{6-7} cfu/mL）を背負式噴霧器にて1樹または1主枝あたり約0.5L噴霧接種し、発病を促した。

接種は2018年に2回（5月7日、9日）、2019年は3回（5月14日、21日、29日）実施した。

(4) 発病調査

2018年5月29日（最終散布23日後）、2019年6月11日（最終散布14日後）に1樹または1主枝あたり任意の20新梢の全葉、果実は任意の50果を対象として発病の有無について調査を行い、発病率を算出した。さらに、以下の式に基づいて発病率から防除価を算出した。

防除価＝ $(1 - (\text{薬剤処理の発病率}) / (\text{無処理の発病率})) \times 100$

6.1.2 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤を組み入れた新規防除体系の検証

(1) 試験区の構成

2020年に福島県農業総合センター果樹研究所病害虫科ほ場の‘ゆうぞら’（12年生）を供試樹（各区につき3主枝）として実施した。

試験区として、6-6式硫酸亜鉛石灰液が使用されていた落花直後および落花10日後頃に酸化亜鉛水和剤（商品名：IC ジンク水和剤。希釈倍数1,000倍）、落花20日後頃と落花30日後頃に炭酸カルシウム水和剤（商品名：クレフノン。同100倍）を加用した銅水和剤（商品名：クプロシールド。同1,000倍）を連続使用またはいずれかの時期に使用した試験区Ⅰ～Ⅲ、対照区（慣行防除区）および無処理区を設けた（表6-1）。

(2) 薬剤の散布方法および耕種の防除対策

薬剤は動力噴霧器を用いて1主枝あたり約15L散

布し、試験薬剤の最終散布日（2020年5月18日）以降は収穫期まで殺虫剤のみを適宜散布した。

また、耕種的防除対策として一次伝染源である春型枝病斑のせん除を3月下旬～6月上旬に全試験区で8回実施し、2020年6月1日に一重の果実袋（小林製袋産業株式会社製「撥水アポロV切り」）を用いて、発病果を含む全果実を対象に袋かけを行った。

(3) 発病調査

一年枝については、第3章での調査結果のとおり、春型枝病斑の発生が発芽10日後頃（3月下旬～4月上旬頃）から見られることから、3月下旬から袋かけ終了後の6月上旬まで発病枝のせん除と同時に発病状況調査を実施した。調査では病斑の発生部位である一年枝の全本数を母数とし、最終調査時における累積の発病枝数から発病枝率を算出した。

新梢葉については、5月における *X. arboricola* pv. *pruni* の感染から発病までの期間は約2週間とされているため（落合、2003）、試験薬剤の最終散布日（5月18日）の2週間後である6月1日に、1主枝あたり20新梢の全葉を対象に発病と落葉の有無を調査し、発病葉率と落葉率を算出した。

果実については、袋かけ直前（5月25日）に1主枝あたり50果（150果/区）の発病の有無を調査し、発病果率を算出した。また、ピンポン玉より大きくなった果実に本種が感染した場合は発病までに40日以上かかるとされ（北島、1989；落合、2003）、本試験では袋かけ後に発病する可能性があることから、袋かけ前までの防除効果を正確に評価するために収穫期（8月20日）に全果実を収穫して発病の有無を調査し、発病果率を算出した。

なお、6.1.1に準じて、発病率から新梢葉と果実の防除価をそれぞれ算出した。

表 6-1 試験区Ⅰ～Ⅲおよび対照区における防除薬剤と散布実績（モモせん孔細菌病の防除薬剤のみ、2020年）

散布回数および 散布日	試験区Ⅰ	試験区Ⅱ	試験区Ⅲ	対照区 (慣行防除区)
① 4月3日	C1	C1	C1	C1
② 4月19日 (特別散布)	O	O	O	O
③ 4月21日 (落花翌日)	Z+T	Z+T	Z+T	S+T
④ 4月30日 (落花10日後)	Z	Z	Z	B
⑤ 5月8日 (落花18日後)	C2	C2	O+T	O+T
⑥ 5月18日 (落花28日後)	C2	D	C2	D

注) Bはバリダマイシン液剤（希釈倍数500倍）、C1は銅水和剤（同30倍）、C2は銅水和剤（同1,000倍）、炭酸カルシウム水和剤（同100倍）を加用）、Dはジチアノン水和剤（同600倍）、Oはオキシテトラサイクリン水和剤（同2,000倍）、Sはストレプトマイシン水和剤（同1,000倍）、Tはチウラム水和剤（同500倍）、Zは酸化亜鉛水和剤（同1,000倍）を示す。

6.2 結果

6.2.1 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤の防除効果の検証

(1) 銅水和剤の防除効果

無処理での発病葉率は19.1%、発病果率は4.7%（いずれ也多発生）であり、対照のオキシテトラサイクリン水和剤では発病葉率が5.8%（防除価69.6）、果実発病は確認されず、防除価100であった（表6-2）。

一方、銅水和剤（薬害発生リスクの軽減のために炭酸カルシウム水和剤を加用）での発病葉率は8.3%（防除価56.5）であり、果実発病は確認されず（防除価100）、新梢葉および果実ともに薬害の発生も認められなかった（表6-2）。

なお、銅水和剤の散布後は、加用した炭酸カルシウム水和剤による白色の汚れが樹全体に生じた。

(2) 酸化亜鉛水和剤の防除効果

無処理の発病葉率は、2018年が9.0%、2019年が19.1%（いずれ也多発生）、発病果率は2018年が0%、2019年は4.7%（多発生）であり、対照のオキシテトラサイクリン水和剤では発病葉率が2018年は5.2%（防除価42.2）、2019年は5.8%（防除価69.6）、発病果率は2018年、2019年ともに0%（2019年の防除価100）であった（表6-2）。

酸化亜鉛水和剤では発病葉率が2018年で3.1%（防除価65.6）%、2019年で7.4%（防除価61.3）、発病果率は2018年、2019年ともに0%（2019年の防除価100）であった（表6-2）。また、本剤の散布により白色の汚れが確認された。

6.2.2 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤を組み入れた新規防除体系の防除効果の検証

(1) 試験期間中のモモの生育および気象経過

2020年の福島県農業総合センター果樹研究所における‘ゆうぞら’の発芽日は3月19日、開花日は4月1日、落花日は4月20日、収穫開始日は8月20日であった。

試験期間中は4月1～4半月および5月4～6半月にまとまった降雨があり（図6-1）、特に4月18日には89mmの降雨があったため、本病に対する特別散布として4月19日にオキシテトラサイクリン水和剤（2,000倍）を全試験区および対照区に散布した（表6-1）。

最高気温は、4月は25℃以下、それ以降は5月4～5半月を除いて概ね25℃以上で経過した。5月1半月は30℃を超える日が2日連続で観測される等、試験期間中で最高気温が特に高かった（図6-1）。

(2) 春型枝病斑の発生状況

春型枝病斑の発生は3月23日から確認され、6月16日までの累積の発病枝率は試験区Ⅰで6.5%、試験区Ⅱで11.0%、試験区Ⅲで8.2%、対照区で5.5%、無処理区で10.2%であり、いずれの試験区においても一次伝染源が極めて多い条件下での試験となった

(表 6-3)。そのため、本試験では *X. arboricola* pv. *pruni* の接種を実施しなかった。

(3) 新梢葉および果実での防除効果

新梢葉での発病は 5 月 3 日から確認され、6 月 1 日の無処理区での発病葉率は 22.2% (中発生) であったが、試験区 I で 9.4% (防除価 57.7%)、試験区 II で 7.1% (防除価 68.0)、試験区 III で 10.0% (防除価 55.0) となり、対照区 (発病葉率 9.6%、防除価 56.8) とほぼ同等の防除効果が認められた (表 6-3)。落葉率については 3.6~6.2% であり (表 6-3)、いずれの試験区においても同程度であった。

なお、落葉は生理的な要因で発生する基部葉の黄変落葉によるものが主であり、本病による落葉は少なかった。

果実での発病は、袋かけ前の 5 月 25 日の調査時に初めて確認され、発病果率は無処理区で 2.0%、試験区 I で 0.7%、試験区 II および III、対照区では 0%

であり、いずれの区においても発生は少なかった (表 6-3)。しかし、収穫期の 8 月 20 日調査においては、いずれの区においても発病果率が増加し、無処理区で 54.4% (甚発生) となったが、試験区 I で 4.6% (防除価 91.5)、試験区 II で 10.6% (防除価 80.5)、試験区 III で 8.4% (防除価 84.6) となり、対照区 (発病果率 20.6%、防除価 62.1) よりも優る防除効果が認められた (表 6-3)。

(4) 葉斑による汚れおよび葉害の発生状況

酸化亜鉛水和剤と銅水和剤を使用した場合は散布直後にいずれも白色の汚れが樹全体に生じた。5 月 18 日 (落花 28 日後) に銅水和剤を使用した試験区 I および試験区 III では、8 月 20 日 (収穫時) に炭酸カルシウム水和剤によるものと考えられる白色の汚れが果頂部に僅かに残る果実が散見されたが (図 6-2)、果実での葉害は確認されなかった。

さらに、試験区 I ~ III では 5 月下旬頃より新梢の

表 6-2 銅水和剤および酸化亜鉛水和剤のモモせん孔細菌病に対する防除効果 (2018~2019 年)

試験 実施年	供試薬剤 ^{a)}	希釈 倍数	新梢葉調査 ^{b)}			果実調査 ^{b)}			防除価 ^{c)}		葉害/汚れ ^{d)}
			調査 葉数	発病 葉数	発病率 (%)	調査 果数	発病 果数	発病率 (%)	新梢葉	果実	
2018	酸化亜鉛水和剤	1,000倍	671	21	3.1	150	0	0	65.6	—	—/+
	オキシテトラサイクリン水和剤 (対照)	2,000倍	695	36	5.2	150	0	0	42.2	—	—/-
	無処理	—	598	54	9.0	150	0	0	—	—	—/-
2019	銅水和剤 ^{e)}	1,000倍	889	74	8.3	150	0	0	56.5	100	—/+
	酸化亜鉛水和剤	1,000倍	917	68	7.4	150	0	0	61.3	100	—/+
	オキシテトラサイクリン水和剤 (対照)	2,000倍	852	49	5.8	150	0	0	69.6	100	—/-
	無処理	—	780	149	19.1	150	7	4.7	—	—	—/-

a) 供試樹 ‘あかつき’ (7~12 年生)。供試薬剤は、2018 年は 2 回 (4 月 27 日、5 月 6 日)、2019 年は 3 回 (5 月 9 日、20 日、28 日) 処理。

Xanthomonas arboricola pv. *pruni* の接種は、2018 年に 2 回 (5 月 7 日、9 日)、2019 年は 3 回 (5 月 14 日、21 日、29 日) 実施。

b) 3 樹または 3 主枝の合計値。発病調査は、2018 年は 5 月 29 日、2019 年は 6 月 11 日に実施。

c) 防除価 = (1 - (薬剤処理の発病率 / 無処理の発病率)) × 100。2018 年は無処理での発病果率が 0% のため、果実の防除価は算出せず。

d) 葉害の有無は発病調査時、葉斑による汚れの有無は最終散布直後の調査結果。+ は葉害または汚れの発生あり、- は発生なしを示す。

e) 炭酸カルシウム水和剤 (希釈倍数 100 倍) を加用。

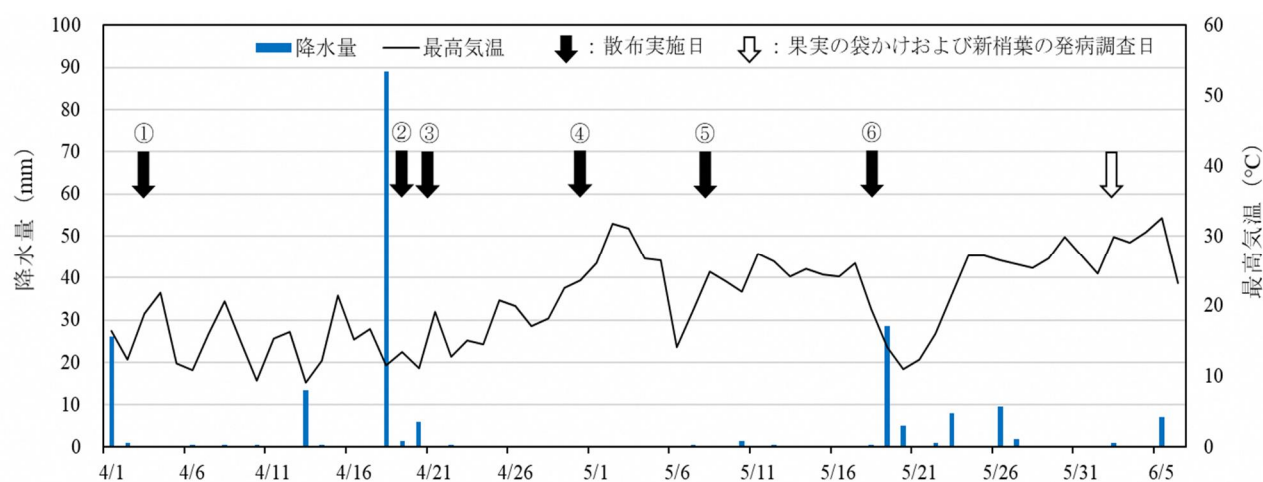


図 6-1 新規防除体系試験期間中の降水量および最高気温 (福島県農業総合センター果樹研究所 気象データ、2020 年)

注) 矢印上の数字は表 6-1 の散布回数を示す。

表 6-3 新規防除体系試験におけるモモせん孔細菌病の春型枝病斑の発生状況と新梢葉および果実の防除効果 (2020 年)

試験区 ^{a)}	一年枝調査 (4～6月累計)			新梢葉調査 (6月1日)						果実調査 (5月25日) ^{d)}			果実調査 (8月20日)			
	調査 枝数	発病 枝数	発病枝 率(%)	調査 葉数	発病 葉数	落葉 数	発病葉 率(%)	落葉率 (%) ^{b)}	防除 価 ^{c)}	調査 果数	発病 果数	発病果 率(%)	調査 果数	発病 果数	発病果 率(%)	防除 価 ^{c)}
試験区Ⅰ	2,170	140	6.5	753	71	31	9.4	4.0	57.7	150	1	0.7	593	27	4.6	91.5
試験区Ⅱ	1,738	192	11.0	663	47	25	7.1	3.6	68.0	150	0	0	385	41	10.6	80.5
試験区Ⅲ	2,232	182	8.2	761	76	47	10.0	5.8	55.0	150	0	0	416	35	8.4	84.6
対照区 (慣行防除区)	2,114	117	5.5	689	66	27	9.6	3.8	56.8	150	0	0	457	94	20.6	62.1
無処理区	1,956	199	10.2	616	137	41	22.2	6.2	-	150	3	2.0	450	245	54.4	-

a) 供試品種「ゆうぞら」(12年生)。数値は3主枝の合計値を示す。果実の袋かけは6月1日に実施(一重袋を使用したため除袋せず)。

b) 落葉率=(落葉数/(落葉数+調査葉数))×100

c) 防除価=(1-(試験区または対照区の発病率/無処理区の発病率))×100。新梢葉の防除価は発病葉率より算出。

d) 最終調査ではないため、防除価は算出せず。



図 6-2 新規防除体系試験(試験区Ⅰ)の収穫果実で確認された白色の葉斑(矢印)
(撮影日:2020年8月20日)



図 6-3 新規防除体系試験(試験区Ⅰ)の新梢葉で確認された葉害と考えられる網目状の穴
(撮影日:2020年6月20日)

基部から4~6枚目の新梢葉に網目状の穴が開く症状(図6-3)が、各試験区につき8~19か所確認されたため、収穫終了後も観察を続けたが、黄変や落葉には至らなかった。

6.3 考察

本試験により、銅水和剤および酸化亜鉛水和剤は本病の基幹防除薬剤であるオキシテトラサイクリン水和剤とほぼ同等の防除効果があり、落花期以降に使用する本病の防除薬剤として有効であることが明らかになった。

殺菌剤の耐性リスク評価が記載されたFRAC作用機構分類一覧表(Fungicide Resistance Action Committee, 2022)において、オキシテトラサイクリンの耐性菌リスクは「高」となっている。さらに、菅野(2005)は、オキシテトラサイクリン水和剤を散布したモモ樹に定期的に *X. arboricola* pv. *pruni* を

接種したところ、散布直後の防除価は70以上であったが、散布3日後には防除価が20程度まで低下したことから、本剤の残効性は低いと考察している。

一方、銅は上記のFRAC作用機構分類一覧表において耐性菌リスクは「低い」とされており、本病の秋期防除での銅水和剤の残効は15日程度であることが報告されていることから(菅野ら、2007)、落花期以降も同程度の残効期間であることが推察される。

酸化亜鉛水和剤は新規の農薬成分であるため、上記一覧表には未記載であるが、本剤の殺菌作用は亜鉛イオンによる病原細菌の酵素阻害と紫外線によって酸化亜鉛から生成される活性酸素の2種類によるものであり(井上石灰工業ホームページ https://www.inoue-calcium.co.jp/upimage/17140224810_2.pdf)、耐性菌リスクは銅と同様に低いことが推察される。また、本剤の残効性については明らかではないが、無機化合物であることから、抗生物質剤よりも残効が長い

ことが考えられる。

新規防除体系試験では、いずれの試験区においても一次伝染源である春型枝病斑の発生量が極めて多く、無処理区では新梢葉で中発生、果実で甚発生条件下の試験となったが、本病の重要な防除時期である生育初期に酸化亜鉛水和剤と銅水和剤を組み入れた試験区Ⅰ～Ⅲの3種の防除体系は、抗生物質剤を主体とした既存の防除体系と比較して、いずれも新梢葉ではほぼ同等、果実では優る防除効果があり、抗生物質剤の使用回数削減によって耐性菌発達リスクを低減しつつ、生産現場で特に問題となる果実被害の発生をより軽減できる防除体系であることが明らかになった。

若い新梢葉は特に発病しやすい性質があり(高梨、1980)、モモの1日あたりの新梢葉の増加速度は生育初期で0.2枚程度、新梢の伸長旺盛期には0.3～0.4枚程度となるため(阿部ら、2001)、モモ栽培での一般的な薬剤の散布間隔である10日の間に、2～4枚程度の新葉が展開することになる。

また、銅は植物表面からの浸出物や空気中の二酸化炭素と反応して微量な銅イオンを放出し、これが病原体の細胞壁中の水素イオンやマグネシウムイオン、カリウムイオンと置換することや、酵素と結合してその活性を阻害することで抗菌活性を示すと考えられており(Martin and Woodstock, 1983)、酸化亜鉛水和剤の作用機作については先述のとおりであるため、糸状菌性病害の防除薬剤であるステロール脱メチル化阻害剤(DMI剤)やストロビルリン系薬剤(QoI剤)で確認されているような植物体内への浸透移行性(Hirooka and Ishii, 2013)は、両剤ともないものと推測される。

これらのことから、酸化亜鉛水和剤と銅水和剤の散布後に新たに展開した葉は薬剤が付着していないために防除効果が十分ではなく、このことが試験区Ⅰ～Ⅲにおける新梢葉での防除効果が、残効性の乏しい抗生物質剤を中心とした既存の防除体系とほぼ同程度であった要因であると考えられた。

一方、果実では肥大に伴って薬剤の付着量は低減するものの、結実後は着果数が増加しないことから、残効性のある薬剤を約10日間隔で使用することにより果実表面の薬剤の付着量が十分に確保され、防除効果が高くなるものと推察される。そのため、降水量と果実の袋かけの時期から本試験期間の果実の主な感染時期と推定される2021年5月18～27日に、15日程度の残効が期待される銅水和剤を同年5月8日と5月18日に使用した試験区Ⅰでは、本剤によって当該時期の感染が効果的に防止されたことにより、果実での防除効果が特に高くなったものと考えられた。

本試験では酸化亜鉛水和剤を6-6式硫酸亜鉛石灰液の代替剤として位置付け、落花直後～落花10日

後頃のみ使用したため、上記の果実感染の防止効果については検証できなかったが、6.2.1の2019年の試験結果を考慮すると、落花20日後頃～落花30日後頃の使用でも銅水和剤と同等の効果が期待されることから、酸化亜鉛水和剤の使用時期と回数については、他薬剤との組み合わせも含めてさらに検討が必要である。

また、試験区Ⅰ～Ⅲでは生育への影響はないものの、新梢葉で薬害と考えられる症状が確認された。一般的に、果樹では高温条件や幼葉・幼果で薬害が発生しやすいことから(内田、1987)、2020年4月30日の酸化亜鉛水和剤の散布後に最高気温が30℃を超える高温条件となったことが本症状の発生要因であると考えられ、今後は薬害発生の条件について詳細な調査が必要である。

さらに、試験区ⅠおよびⅢでは薬液(銅水和剤に加用した炭酸カルシウム水和剤)により収獲果実に軽微な白色の汚れが散見されたが、ニホンナシでは濡れ性を高める展着剤(商品名:まくびか)の加用による薬液の果面汚れの軽減効果が確認されているため(金子・福田、2017)、モモでの使用でも同様の効果があり、果実品質への影響を回避できる可能性もある。

本銅水和剤は2020年9月に本病に登録拡大(使用回数および使用時期の設定なし)、酸化亜鉛水和剤は2023年11月に農薬登録(使用回数8回、使用時期は「発病前～発病初期」)となった。使用回数や使用時期を考慮すると、両剤ともに既存の薬剤と比較して使用可能な期間が長く、品種の早晩に関わらず汎用性は高いと考えられる。しかし、福島県ではモモが早生種～極晩生種まで幅広く栽培されており、品種によって収穫時期や果実の袋かけの必要性の有無が異なることから、今後は本病に対する防除効果と薬斑の汚れによる果実品質への影響を主要品種毎に調査し、薬害発生の有無も併せて適切な使用時期や回数、方法を解明することで上記2剤の生産現場への円滑な導入が図られ、果実被害の減少に繋がることが期待される。

なお、本試験は一次伝染源である春型枝病斑の発生量が非常に多い厳しい条件で実施したものの、試験区Ⅰ～Ⅲにおいて良好な防除効果が認められたが、これは化学的防除に加えて第3章の試験結果に基づいた春型枝病斑の複数回せん除と適期の果実の袋かけを実施した条件での結果であることに留意する必要がある。本病は発生程度が高くなるにつれて防除薬剤の効果が低下することが報告されており(森本ら、2006)、本試験においても上記の耕種的防除の実施が不十分であった場合には良好な防除効果は得られなかったことが推測されるため、本試験結果は本病に対する総合的な防除対策の重要性を改めて示すものであると考えられる。

第7章 総合考察

本研究では本病の防除体系の改善・強化を目的に、国内で3種報告されている病原細菌の福島県内における優占種の解明、重要な一次伝染源である春型枝病斑の発生様相に基づくせん除方法の確立と発生予測モデルの開発を試みるとともに、そのせん除効果について検証した。さらに、これまで試験事例のない雨よけ栽培による防除効果と新規防除薬剤を使用した防除体系について検証した。本章では、本研究で得られた試験結果の既存の防除対策への反映方法と今後の研究課題について考察する。

7.1 本研究結果による既存の防除対策の改善および強化

福島県内での病原細菌の優占種は、過去の調査(菅野ら、2004)と同様に *X. arboricola* pv. *pruni* であり、変化は認められなかったことから、本種の発生生態に対応した防除対策を実施する必要がある。

伝染源である春型枝病斑は、一年枝の先端部における病斑の発生が多いこと、同一枝に連続して病斑が発生すること、発生盛期は4～5月であるが、既報(北島・岸、1959; 落合、2003)よりも長期間にわたって病斑が発生し、発病枝が枯死した場合でも病斑から *X. arboricola* pv. *pruni* が放出されることが明らかになった。さらに、春型枝病斑の複数回せん除により、実害となる果実被害が確実に低減されたことから、本病斑せん除の重要性が再確認された。

これらの結果より、従来の春型枝病斑のせん除法(春型枝病斑の4～5芽下での葉芽で切り戻す)について、可能な限り発病枝の基部からせん除する方法に変更する必要がある。さらに、発芽10日後頃(開花直前)から一年枝の先端を中心に観察することで春型枝病斑を効率的に発見し、速やかに発病枝をせん除するとともに、発生状況に応じて発生盛期(4～5月)を中心に複数回実施することが重要であり、実施回数が多い程、防除効果は高くなると考えられる。また、本病は春型枝病斑を頂点とする円錐状に被害が発生するため(Dunegan, 1932; 高梨、1980)、樹冠上部の病斑には特に注意し、モモ灰星病やモモホモプシス腐敗病による枝病斑や生理的な枝枯れ等の本病の春型枝病斑と類似した症状の枝も含め、本法によるせん除を徹底することで被害の低減が期待される。

春型枝病斑の発生予測については、病害虫防除所の定期巡回調査ほ場において、翌年の発病枝率が2%以上(福島県の発生予測基準で中発生以上)となるほ場割合を予測可能なモデルを新たに開発した。本予測モデルによって11月には予測結果が明らかとなり、病害虫防除所等の指導機関から生産現場への早期の情報発信と病斑の発生量の予測結果に基づいた防除計画の作成への活用が可能となる。特に春

型枝病斑の発生量が多くなることが予測された場合には、生育初期からの薬剤による防除の徹底に加え、春型枝病斑の発生状況に応じた複数回のせん除の実施を防除計画に盛り込むことで、被害を抑制できるものと考えられる。

一方、これまで福島県内における春型枝病斑の発生を助長する気象要因は9月中～下旬の降水量であるとされてきたが(落合・林、1989)、本研究によって近年では10月の気象が発生助長要因であることが明らかになった。このことから、今後の気候の変化等により、本予測モデルが将来的に適合しなくなる可能性もあり、病害および気象データを追加し、発生助長要因の再解析も含めた予測モデルの更新を定期的に行う必要がある。

本病は雨媒伝染性病害であるため(高梨、1980)、雨よけ栽培が本病に対して非常に高い抑制効果があり、多発生樹でも短時間で被害が減少することで施設導入初期から安定生産が可能となることに加え、薬剤についても大幅に削減可能であることが明らかになった。本病の果実被害は早生品種において少ないが、晩生品種では多くなる傾向があることを考慮すると(落合、2003)、本病の発生が恒常的に多いほ場や晩生品種での雨よけ栽培の導入が効果的である。福島県産の晩生品種は平均単価(495円/kg)が早生品種(395円/kg)や中生品種(430円/kg)よりも高いため、被害果率が30%を超える場合は雨よけ栽培の導入が適切であると試算されており(福島県農林水産部、2021)、晩生種の安定生産には特に有効な手法であると考えられる。また、果実の袋かけを併せて行うことで、開花直後～袋かけ終了後の短期間の雨よけ栽培でも果実被害を抑制可能であることも明らかになり、灌漑設備が不十分なほ場条件であっても雨よけ栽培の導入が可能であると考えられる。

本研究では、新規防除薬剤である落花期以降に使用可能な銅水和剤および酸化亜鉛水和剤が本病の防除に有効であることを明らかにするとともに、両剤を本病の重要な防除時期である生育初期(落花直後～落花30日後頃)に組み入れた防除体系を新たに考案して検証し、抗生物質剤を主体とする慣行の防除体系と比較して新梢葉では同等、果実では優る防除効果を確認した。上記2剤の使用時期は「設定なし」または「発病前～発病初期」のため、いずれの品種においても汎用性が高く、それら薬剤を組み入れた防除体系は抗生物質剤の使用回数の削減により耐性菌リスクを低減させつつ、既存の防除体系よりも果実被害の低減が期待できる。しかし、6.3で述べたように、本試験は春型枝病斑の複数回せん除と果実の袋かけを実施していることに留意する必要がある。総合的な防除対策の実施が不可欠である。さらに、雨よけ栽培試験の結果より、本病に対する降雨の影響の大きさについても改めて確認されたことか

ら、春型枝病斑のせん除等も含め、防除対策は可能な限り降雨前に実施する必要がある。

一方、欧米の栽培ほ場においては、本病の基幹防除薬剤の成分である銅やオキシテトラサイクリンに耐性を示す *X. arboricola* pv. *pruni* が、低頻度ながらも確認されており (Giovanardi et al., 2016 ; Cox et al., 2022 ; Herbert et al., 2022)、このような耐性菌が国内で蔓延した場合は既存の薬剤防除体系が崩壊する危険性がある。そのため、落花期以降に銅水和剤が使用可能となり、防除効果の向上が期待される一方で、銅を含む薬剤の使用回数の増加に伴って耐性菌の出現リスクが高くなる可能性もある。その対応策として、春型枝病斑の発生が多くなることが予測される場合には銅水和剤の使用回数を増加し、発生が少ないことが予測される場合には使用回数を削減する等、春型枝病斑の発生予測結果に応じて落花期以降における銅水和剤の使用回数を調整するとともに、銅を含む各種薬剤耐性菌の定期的な調査の実施も重要であると考えられる。

以上のことから、既存の本病の防除対策を基礎としつつ、発生様相と発生予測モデルの結果に基づいて春型枝病斑のせん除を徹底し、酸化亜鉛水和剤と銅水和剤を重要な防除時期（生育初期）に組み入れることに加えて、ほ場条件や本病の発生状況、栽培品種に応じて雨よけ栽培を導入することにより本病の防除対策が強化され、これまで以上に高い防除効果が期待される（図 7-1）。

特に早生品種～晩生品種まで幅広くモモが栽培されている福島県では、本研究結果と品種の早晚によ

る果実被害の発生傾向や平均単価、雨よけ施設の導入コストを考慮すると、早生品種～中生品種は春型枝病斑せん除の徹底と生育初期に銅水和剤と酸化亜鉛水和剤を組み入れた防除体系による薬剤散布の実施、晩生品種は雨よけ栽培の導入が適切であると考えられる。

7.2 今後の研究課題

これまで述べたとおり、本病の発生には強風雨の影響が大きく、直近では、2019 年 10 月の台風 19 号（令和元年東日本台風、アジア名「ハギビス」）による記録的な大雨の影響によって *X. arboricola* pv. *pruni* の越冬量が極端に多くなり、2020 年は福島県内で過去に例のない程の激甚な被害が発生した（図 1-1）。この台風は、人為的な気候変動の影響によって降水量が増加したことが指摘されており（Li and Otto, 2022）、今後はこのような強力な台風の発生および福島県への接近・上陸による被害が恒常化する可能性がある。

本病の防除対策として、秋期防除によって翌年の春型枝病斑の発生を防止することが最も重要とされ（落合、2003）、福島県内では 9 月上旬～10 月上旬にかけて概ね 2 週間間隔で銅水和剤またはボルドー液を 3 回使用する秋期防除が実施されているが、その効果は十分とは言えず、翌年の春型枝病斑の発生量が多いことを根拠に病害虫防除所より注意報が発表される事例が頻発している。本病の多発生条件下では、上記秋期防除の前後に追加防除を実施した場合でも防除効果の向上は認められていないが（柳沼・

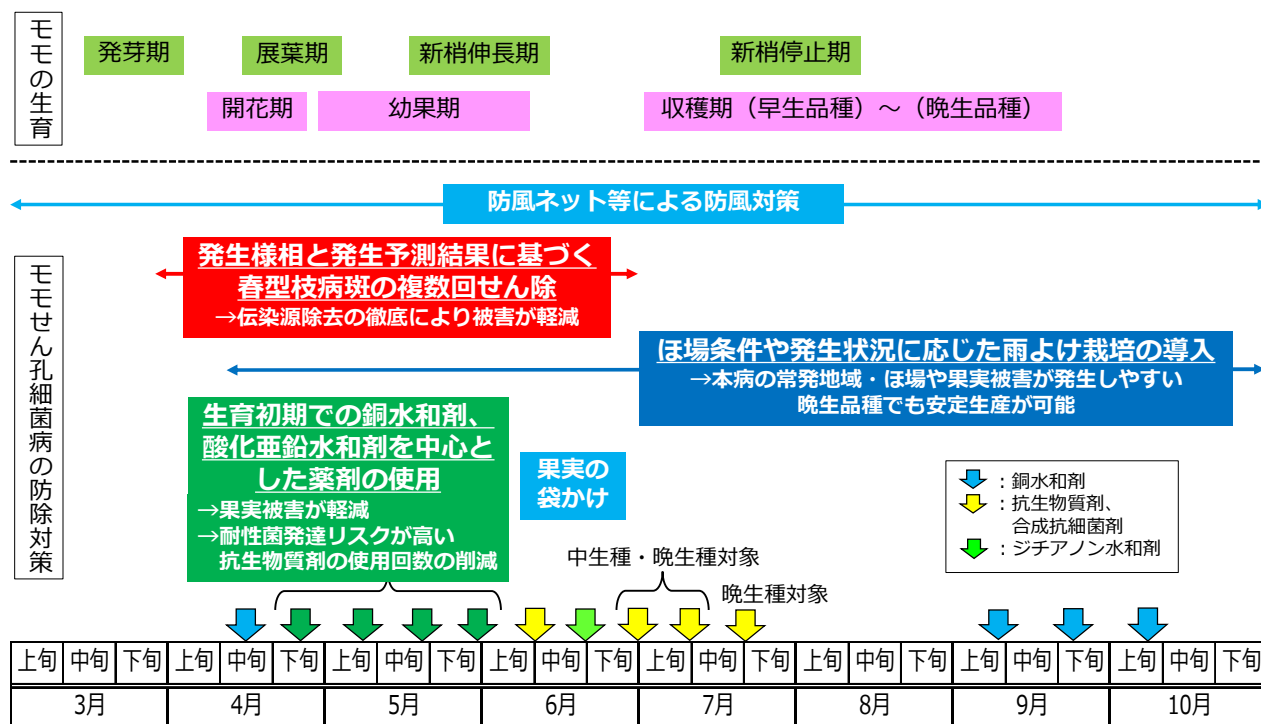


図 7-1 本研究結果を反映させたモモせん孔細菌の防除対策

七海、2016)、本研究で開発した翌年の春型枝病斑の発生予測モデルには9月下旬の新梢葉での発病程度と10月の風を伴った降雨日数が予測因子として含まれており、秋期防除の重要な実施時期は10月であることが示唆された。

そのため、現在秋期防除で使用されている銅水和剤やボルドー液の代替剤の検討や、細菌病であるキウイフルーツかいよう病への防除効果が認められている抵抗性誘導剤(臼杵ら、2024)の銅水和薬剤への添加等、防除効果向上の可能性について検証することが急務であり、当該時期における *X. arboricola* pv. *pruni* の詳細な生態解明も含めて今後の重要な試験課題であると考えられる。さらに、極端な暴風雨による本病の多発を防止するためには、雨よけ栽培に加えて、多目的防災網を用いた防除法(松本ら、2018; 日下部・藤田、2024)も有効な手法であり、導入の推進を図る必要がある。

一方、本病に対して高い防除効果が期待されるストレプトマイシン剤は、病原細菌だけでなく、環境中の常在菌や脊椎動物の潜在的な病原菌にも耐性菌を出現させる可能性があり、EU 諸国では本剤の使用が禁止、または厳しく制限されるようになった(Psallidas and Tsuiantos, 2000)。将来的には国内でも他成分の抗生物質剤も含めて使用基準がより厳格化され、生産現場での実使用場面がより限定されることも想定される。

そのため、防除薬剤については幅広い系統の登録薬剤が必要であるが、今般、古くから使用されてきたマンゼブ水和剤の有効性が明らかになり(高山ら、2020; 七海、2022)、2022年に本病の登録が拡大された事例があることから、現在調査が行われている水酸化マグネシウム(小林ら、2023)やセルロース繊維(日下部、2024)のような新規物質だけでなく、既存の薬剤も含めて実用性と具体的な使用時期を検証することも重要である。

本研究において、春型枝病斑は一年枝の先端部に多く発生することが確認されたが、この性質を考慮すると、春型枝病斑の発生が多く予想される場合や春型枝病斑の発生が恒常的に多いモモ樹の場合、冬季せん定の際に一年枝(葉芽が複数ある中・長果枝が対象)の先端部を切ることによって春型枝病斑の発生そのものが減少し、本病の被害低減に繋がる可能性がある。また近年では、防除対策として重要な抵抗性品種や耐病性品種の育成に向けた研究が始まっており(Suesada et al., 2019; 高橋ら、2021; 佐久間ら、2023)、今後の研究成果が期待される。

国内で初めて本病を報告した鋤塚(1919)は、当時の静岡県内の被害状況について「関係者の話では本病による果実被害は少ない場合で10~20%、通常で30~40%、甚だしい場合は60~70%に達する」と記しており、その後の発生生態の解明と防除薬剤の

開発によって防除対策が確立された現在でも、上記のような甚大な被害が発生する危険性がある。本病による被害から福島県の実産地を守り、発展させるためには、今後の気候変動やそれに伴う本病の発生生態の変化に適応し、ほ場環境やモモの品種・樹齢、本病の被害程度等の様々な条件に対してきめ細やかな対応が可能な防除対策の確立が必須となる。その実現のためには、想定される様々なリスクの解決に向け、病害だけでなく、栽培や育種の分野からのアプローチも含めた更なる研究が不可欠であり、得られた研究結果については本病の対策マニュアル(福島県農林水産部、2021)に反映させるとともに、モモせん孔細菌病対策連絡協議会等を通じて関係機関・団体と共有し、引き続き生産現場での対策の徹底を図る必要がある。

摘 要

福島県内で問題となっているモモせん孔細菌病の防除対策の強化を目的に、国内で3種報告されている病原細菌の分布状況の把握と防除対象種の解明、伝染源である春型枝病斑への対策強化、雨媒伝染性病害の発病抑制効果が高い雨よけ栽培による発病抑制効果および新規防除薬剤の効果の検証を行った。

第2章では、2012~2013年に福島県内の4地域のべ65ほ場から採集した本病のサンプル(一年枝、新梢葉および果実)から得られた病原細菌363菌株を簡易同定したところ、全菌株が *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* であり、本種が県内の優占種かつ防除対象種であることが確認された。

第3章では、2016~2018年に春型枝病斑の発生様相を調査し、発生時期は発芽後(3月下旬~4月上旬)から7~8月の長期間にわたるが、発生盛期は4~5月であること、発生位置は一年枝の先端部に発生が多く、同一枝に連続して病斑が発生する事例があることが確認された。また、2021年の調査により、春型枝病斑からの *X. arboricola* pv. *pruni* の放出時期は、病斑の発生から8月まで確認された。さらに、2017~2018年に春型枝病斑の複数回せん除による防除効果の検証を行い、果実被害を確実に抑制できることが明らかになった。

これらのことから、春型枝病斑は一年枝の先端を中心に観察することで効率的に発見できること、発病枝(春型枝病斑の発生した枝)のせん除は病斑の発見次第、速やかに実施するとともに、発生状況に応じて4~5月を中心に複数回実施することが重要であることが示唆された。

第4章では、春型枝病斑の発生量に応じた防除対策を可能にするため、モモ主産地である県北地域における2009~2020年の発病および気象データを用いた階層ベイズモデルにより、翌年の発病枝率が2%以上となるほ場割合の予測モデルを開発した。本予

測モデルには、9月下旬の新梢葉での発病程度（10%以上）と10月の降水量10mm以上かつ最大風速5m/s以上の日数が予測因子として含まれ、その予測精度は65.7%であった。

第5章では、2015～2016年および2020年に本病の多発生樹を供試し、これまで試験事例がなかった雨よけ栽培による発病抑制効果について検証した。その結果、基幹防除薬剤である抗生物質剤と銅水和剤を使用しない、またはほぼ使用しない条件でも非常に高い発病抑制効果が確認され、本病に対する雨よけ栽培の有効性が明らかになった。

第6章では、新規防除薬剤である落花期以降も使用可能な銅水和剤および酸化亜鉛水和剤について2018～2019年に防除効果の検証を行い、本病の基幹防除薬剤のオキシテトラサイクリン水和剤と同等の防除効果があることが確認された。さらに、2020年に酸化亜鉛水和剤を落花直後と落花10日後頃、銅水和剤を落花20日後頃と30日後頃に組み入れた新たな防除体系について検証したところ、抗生物質剤を主体とした既存の防除体系と比較して新梢葉ではほぼ同等、果実では優る防除効果が認められた。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、東京農業大学大学院農学研究科農学専攻教授 篠原弘亮 博士には指導教授および副査として、同教授 岩波 徹 博士には主査として、同教授 西尾善太 博士、同元教授 根岸寛光 博士ならびに生命科学部分子微生物学科元教授 對馬誠也 博士には副査としてご指導とご助言をいただき、さらに丁寧なご校閲を賜った。また、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構西日本農業研究センター 川口 章 博士には、モモせん孔細菌病の研究に関して長年にわたりご支援いただき、発生予測モデルの共同開発者として、さらに副査として終始格別なご指導とご助言を賜った。

福島県農業総合センター安全農業推進部（病害虫防除所）在籍時には元部長 平子喜一氏、同果樹研究所在籍時には元所長 永山宏一氏、前所長（現福島県農業総合センター生産環境部長）岡崎一博氏、元病害虫科長 荒川昭弘 博士をはじめ、多くの職員の皆様にご支援とご助力をいただいた。ここに深く感謝申し上げる。

引用文献

阿部 薫・井上重雄・志村浩雄・加藤公道・山西久夫・富田 晃・岡田眞治 (2001) モモの作業便利帳 高糖度・安定生産のポイント. 社団法人農山漁村文化協会. 東京. pp35-107.

Bradbury, J. F. (1986) Guide to Plant Pathogenic Bacteria, CAB International, Farnham Royal, UK.

忠 英一・藤川弘幸・柳野利哉・山本晋玄・町田郁夫・坂本 清 (2016) 青森県におけるモモせん孔細菌病の春型枝病斑の発生と果実発病の関係. 北日本病虫研報 67 : 223.

Civerolo, E. L., Keil, H. L. (1969) Inhibition of bacterial spot of peach foliage by *Xanthomonas pruni* bacteriophage. Phytopath. 59 : 1966-1967.

Cox., B. M., Wang, H. W., Schnabel, G. (2022) Copper tolerance in *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* in South Carolina peach orchards. Plant Dis. 106: 1626-1631.

Daines, R., Gray, R. (1957) Streptomycin foliage sprays and control of bacterial spot of peach. Phytopathol. 47 : 448.

Dunegan, J. C. (1932) The bacterial spot disease of the peach and other stone fruits. U.S.D.A. Tech. Bull. 273 : 1-53.

Dunegan, J. C., Wilson, R. A. (1953) Some effects resulting from the introduction of antibiotics into fruit trees. Phytopathol. 43 : 405.

Dunegan, J. C., Wilson, R. A., Morris, W. T. (1953) Effects of terramycin on peach trees affected with bacterial spot. Plant Dis. Repr. 37 : 604-605.

Du Plessis H. J. (1988) Bacterial spot disease of stone fruits, overview of findings. Deciduous Fruit Grower 38 : 128-132.

Fahy P. C., Persley G. J. (1983) Plant Bacterial Diseases: A Diagnostic Guide. Academic Press, Sydney, Australia.

Feliciano, A. and Daines, R. H. (1970) Factors influencing ingress of *Xanthomonas pruni* through peach leafscar and subsequent development of spring canker. Phytopath. 60 : 1720-1727.

福島県農林水産部 (2021) モモせん孔細菌病対策マニュアル (改訂版).
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/440781.pdf>

Fungicide Resistance Action Committee (2022) FRAC 作用機構分類一覧表.
https://www.jcpa.or.jp/assets/file/labo/mechanism/2022/frac_code_list_2022.pdf

Giovarandi, D., Dallai, D., Stefani, E. (2016) Population features of *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* from *Prunus* spp. Orchards in northern Italy. Eur. J. Plant. Pathol. Published online : 25 August 2016.
<https://www.researchgate.net/publication/306930549>

Goto, M., Hikota, T., Nakajima, M., Takikawa, Y., Tsuyumu, S. (1994) Occurrence and properties

- of copper-resistance in plant pathogenic bacteria. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 60 : 147-153.
- 春崎聖一・岩谷章生 (2009) トンネルハウス栽培による早生モモの高品質・安定生産技術. 熊本県農業研究センター研報 17 : 40-46.
- Herbert, A., Hancock, C. N., Cox, B., Schnabel, G., Moreno, D., Carvalho, R., Jones, J., Paret, M., Geng, X., Wnag, H. (2022) Resistance Genes in *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*, the causal agent of bacterial spot in peach. *Front. in Microbiol.* 13.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.821808>
- Hirooka, T., Ishii, H. (2013) Chemical control of plant diseases. *J. Gen. Plant. Pathol.* 79 : 390-401.
- 革新的技術開発・緊急展開事業 (うち地域戦略プロジェクト)「モモ・ナシの高品質・安定生産を実現する病害防除技術体系の実証研究 (2016~2018 年)」農研機構 生物系特定産業技術研究支援センター.
- 金子洋平・福田 寛 (2017) 千葉県におけるナシ収穫期直前のキャプタン水和剤による仮面汚れ軽減を目的とした「まくびか」展着剤の利用. 千葉農林総研報 9 : 49-55.
- 菅野英二・對馬誠也・佐々木正剛 (2003) モモせん孔細菌病に対するモモ果実感受性の推移. 日植病報 69 : 306-307.
- 菅野英二・篠原弘亮・對馬誠也・尾形 正 (2004) 福島県で発生したモモせん孔細菌病の病原細菌と発生状況. 日植病報 70 : 283.
- 菅野英二 (2005) 寒冷地果樹及び落葉果樹における細菌病の発生と防除対策の現状. 寒冷地・落葉果樹合同研究会 (病害) : 7-15.
- 菅野英二・尾形 正・瀧田誠一郎 (2007) モモせん孔細菌病に対する秋期の枝における感染及び数種殺菌剤の防除効果. 日植病報 73 : 278.
- 荻谷和幸・七海隆之・柳沼久美子・篠原弘亮 (2016) 圃場内におけるモモせん孔細菌病菌の薬剤耐性菌の割合. 日植病報 82 : 285.
- Kawaguchi, A., Inoue, K., Inoue, Y. (2014) Biological control of bacterial spot on peach by nonpathogenic *Xanthomonas campestris* strains AZ98101 and AZ98106. *J. Gen. Plant. Pathol.* 80 : 158-163.
- Kawaguchi, A. (2014a) Genetic diversity of *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* strains in Japan revealed by DNA fingerprinting. *J. Gen. Plant. Pathol.* 80 : 366-369.
- Kawaguchi, A. (2014b) Risk factors for bacterial spot on peach in Okayama Prefecture, Japan. *J. Gen. Plant. Pathol.* 80 : 435-442.
- 川口 章 (2019) モモせん孔細菌病に有効な殺菌剤の客観的な選び方—過去データに対するメタアナリシスの適用—. EBC 研究会誌 13 : 22.
- Keil, H. L., Wilson, R. A. (1963) Control of peach bacterial spot with *Xanthomonas pruni* bacteriophage. *Phytopath.* 53 : 746-747.
- Keil, H. L., Carroll, V. J. (1967) Control of peach bacterial spot with terramycin in Maryland. *Plant Dis. Repr.* 51 : 345-349.
- Keil, H. L., Civerolo, E. L. (1979) Effect of trunk injections of oxytetracycline on bacterial spot disease in peach trees. *Plant Dis. Repr.* 63 : 1-5.
- 北島 博・岸 国平 (1959) 桃穿孔性細菌病の第1次伝染源としての Spring canker について. 日植病報 24 : 19.
- 北島 博・山田峻一・岸 国平・中島省二 (1959) 桃穿孔性細菌病に対する抗生物質の効果. 東海近畿農試研究報告園芸部 5 : 115-128.
- 北島 博 (1989) 果樹病害各論. 養賢堂. 東京. pp302-310.
- 古張敏一・齋藤義雄 (2008) 2007 年の福島県におけるモモせん孔細菌病の多発事例. 北日本病虫研報 59 : 236.
- 小林克隆・内田 響・キムオッキョン・岩波 徹・篠原弘亮 (2023) 水酸化マグネシウムによるモモせん孔細菌病の発病抑制効果. 日植病報 89 : 192.
- 小山昌志・島津 康・小松英雄・森下正彦 (2001) モモせん孔細菌の発病に及ぼす風と降雨の影響. 和歌山農林水技セ研報 3 : 89~97.
- 國京瑞希・七海隆之・柳沼久美子・キムオッキョン・根岸寛光・篠原弘亮 (2017) 福島県におけるモモせん孔細菌病菌のストレプトマイシン耐性菌の割合の調査. 日植病報 83 : 237.
- 國京瑞希・七海隆之・柳沼久美子・キムオッキョン・根岸寛光・篠原弘亮 (2018a) 福島県におけるモモせん孔細菌病菌の薬剤感受性の調査. 日植病報 84 : 46.
- 國京瑞希・樋口霧花・堀川英則・江口直樹・七海隆之・柳沼久美子・間佐古将則・キムオッキョン・根岸寛光・篠原弘亮 (2018b) 国内のモモせん孔細菌病菌のストレプトマイシン耐性菌の割合の調査. 日植病報 84 : 219.
- 日下部翔平・藤田剛輝 (2024) 福島県における多目的防災網設置によるモモせん孔細菌病の防除効果. 日植病報 90 : 26.
- 日下部翔平 (2024) モモせん孔細菌病に対するセルロースナノファイバーの防除効果. 日植病報 90 : 221.

- 鍬塚喜久治 (1919) 桃の細菌性穿孔に就て (豫報). 病虫雑 6 : 359-363.
- Kuwatsuka, K. (1921) Some studies on the *Pseudomonas pruni* E. F. Smith. Ann. Phytopath. Soc. Japan 1 : 12-18.
- Li, S., Otto, F. E. L. (2022) The role of human-induced climate change in heavy rainfall events such as the one associated with Typhoon Hagibis. Climatic Change 172. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-022-03344-9>
- 前田光紀 (2015) マスタピース水和剤. 農薬時代 196 : 5-10.
- Mandrekar, J. N. (2010) Receiver operating characteristic curve in diagnostic test assessment. J. Thorac. Oncol. 5 : 1315-1316.
- Martin, H., Woodstock, D. W. (1983) The scientific principles of crop protection, 7th edn. Edward Arnold, London.
- 松本辰也・棚橋 恵・榎田暢美・根津 潔 (2018) 多目的防災網の設置がモモせん孔細菌病の発生や収量・品質に及ぼす影響. 園芸学研究別冊 17 : 81.
- 宮原 実 (1956) 桃の穿孔性細菌病に対する Streptomycin の効果について (豫報). 九州病虫研報 2 : 85-86.
- 森本涼子・南方高志・小山昌志・島津 康・森下正彦 (2006) 異なる発生程度におけるモモせん孔細菌病に対する殺菌剤の防除効果. 関西病虫研報 48 : 17-22.
- 森本涼子・南方高志・小山昌志・森下正彦 (2010) モモせん孔細菌病に対する防風施設の防除効果. 関西病虫研報 52 : 39-43.
- 永井裕史・三宅律幸 (2017) 生育期の銅水和剤散布によるモモせん孔細菌病の抑制効果. 日植病報 83 : 237-238.
- 七海隆之・柳沼久美子・篠原弘亮 (2016) モモせん孔細菌病菌の越冬密度推定のための検出法の開発. 北日本病虫研報 67 : 222.
- 七海隆之・柳沼久美子 (2017) 福島県におけるモモせん孔細菌病の発生助長要因. 日植病報 83 : 237.
- 七海隆之・柳沼久美子 (2018a) ストレプトマイシン感受性の異なるモモせん孔細菌病菌に対するストレプトマイシン水和剤の防除効果. 日植病報 84 : 219-220.
- 七海隆之・柳沼久美子 (2018b) 秋季におけるモモせん孔細菌病菌の密度の推移. 北日本病虫研報 69 : 209.
- 七海隆之・菅野孝盛・藤田剛輝 (2021) 福島県におけるモモうどんこ病の防除対策. 日植病報 87 : 19.
- 七海隆之 (2022) モモせん孔細菌病に対するマンゼブ水和剤の防除効果. 日植病報 88 : 207.
- 日本植物病病理学会 (2024) 日本植物病名目録 (2024年8月版). <https://www.ppsj.org/wp-content/uploads/mokuroku202408.pdf>
- 西山幸司 (1997) アピ 20NE キットおよび追加した11項目の細菌学的性状に基づく植物病原細菌の鑑別表の作成. 農環研報 14 : 1-35.
- 農林水産省 (2022) 農林水産統計作物統計調査令和4年果樹及び茶栽培面積 (7月15日現在). <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/attach/pdf/index-1.pdf>
- 農林水産省 (2023) 令和4年産もも, すももの結果樹面積, 収穫量及び出荷量. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/attach/pdf/index-20.pdf
- 落合政文・林 重昭 (1989) モモ穿孔細菌病の発生消長に及ぼす気象要因の影響と発生予測法. 福島県果樹試験場研究報告 13 : 11-18.
- 落合政文 (2003) 福島県におけるモモ穿孔細菌病の発生の特徴と防除対策の要点. 社団法人福島県植物防疫協会. 福島. pp.1-15.
- Psallidas, P. G., Tsuiantos, J. (2000) Chemical control of fire blight. In : Vanneste, J. L. (ed.) Fire blight : The disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*. CABI publishing, London : pp199-234.
- Randhawa, P. S., Civerolo, E. L. (1985) A detached-leaf bioassay for *Xanthomonas campestris* pv. *pruni*. Phytopath. 75 : 1060-1063.
- Ritchie, D. F. (1995) Bacterial spot.: J. M. Ogawa, E. I. Zehr, G. W. Bird, D. F. Ritchie, K. Uriu, and J. K. Uyemoto, eds. Compendium of Stone Fruit Diseases. American Phytopathological Society, St. Paul, MN. pp 50-52.
- Roberts, J. W., Pierce, L. (1929) A promising spray for the control of peach bacterial spot. Phytopath. 19 : 106-107.
- Roselló, M., Santiago, R., Palacio-Bielsa, A., García-Figueres, F., Montón, C., Cambra, M. A., López, M. M. (2012) Current status of bacterial spot of stone fruits and almond caused by *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* in Spain. J Plant Pathol 94 (1 Suppl) : S1.99-103.
- Saccardi, A., Gambin, E., Zaccardelli, M., Baron, G., Mazzucchi, U. (1993) *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* control trials with phage treatments on peaches in the orchard. Phytopath. medit 32 : 206-210.

- 佐久間宜昭・高橋堯之・山口奈々子 (2023) モモせん孔細菌病の新梢接種試験により病斑拡大程度が小さい育種実生個体を確認した. 福島県農業総合センター (令和4年度研究成果 (春夏作)).
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/566389.pdf>
- 佐野真知子・柳沼久美子・佐々木正剛・七海隆之 (2014) 福島県におけるモモせん孔細菌病菌の抗生物質に対する感受性. 北日本病虫研報 65 : 203.
- 関根崇行・辻 秀明・瀬尾直美・菊地秀喜・池田裕章 (2004) 雨よけによるリンゴの殺菌剤削減の可能性 1. 銅剤を用いた防除体系の検討. 北日本病虫研報 55 : 90-94.
- Smith, E. F. (1903) Observations on hitherto unreported bacterial disease, the cause of which the plant through ordinary stomata. Science 17 : 456-457.
- Smith, E. F. (1909) The occurrence of *Bacterium pruni* in peach foliage. Science 30 : 224.
- Stefani, E. (2010) Economic significance and control of bacterial spot/canker of stone fruits caused by *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*. J. Plant Pathol. 92 (Suppl 1) : 99-103.
- Suesada, Y., Yamada, M., Yamane, T., Adachi, E., Yaegaki, H., Yamaguchi, M. (2013) Varietal differences in susceptibility to bacterial spot (*Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*) among 69 peach cultivars and selections as evaluated by artificial inoculation to shoots. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 82 : 293-300.
- Suesada, Y., Yamada, M., Sawamura, Y., Adachi, E., Yaegaki, H., Yamaguchi, M., Yamamoto, T. (2019) Inheritance of susceptibility to bacterial spot (*Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*) in peach offspring populations derived from Brazilian and Japanese cultivars / selections. Breeding Science. 69 : 11-18.
- 高橋堯之・安達義輝・芝祥太郎 (2021) 菌液接種による新梢におけるモモせん孔細菌病枝病斑長の評価. 福島県農業総合センター (令和2年度研究成果 (春夏作)).
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/438329.pdf>
- 高梨和雄 (1978) モモせん孔細菌病の発生生態に関する研究. 果樹試報 A5 : 1-71.
- 高梨和雄 (1979) モモせん孔細菌病分離菌株のストレプトマイシン剤耐性について. 日植病報 45 : 552.
- 高梨和雄 (1980) モモせん孔細菌病の発生生態と防除. 植物防疫 34 : 485-489.
- 高梨和雄 (1985a) 新たに見いだされたモモせん孔細菌病の2種の病原細菌について. 果樹試報 A12 : 101-114.
- 高梨和雄 (1985b) 数種核果類果樹の越冬枝上における *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* 及び pv. *morsprunorum* 菌の表生. 果樹試報 A12 : 115-124.
- 高野靖洋・志村浩雄 (1999) 透湿防水シートと雨よけ栽培がモモ‘あかつき’の果実品質に及ぼす影響. 東北農業研究 52 : 175-176.
- 高山浩太郎・キムオッキョン・岩波 徹・篠原弘亮 (2020) ストレプトマイシン耐性モモせん孔細菌病菌の生育に影響する物質. 日植病報 86 : 36-37.
- 瀧田誠一郎・七海隆之 (2014) 福島県におけるモモせん孔細菌病とナシ黒星病の発生に関する疫学的解析. 北日本病虫研報 65 : 202.
- Thornberry, H. H., Anderson, H. W. (1933) Overwintering of *Phytophthora pruni* on peach. Phytopath. 23 : 787-801.
- 富田恭範・千葉恒夫・寺門 巖 (2000) 茨城県における簡易雨よけ栽培ブドウの病害発生状況. 関東東山病虫研報 47 : 89-92.
- 富田恭範・宮本拓也・長塚 久 (2007) 茨城県における雨よけ栽培の導入によるブドウ晩腐病に対する殺菌剤散布回数の削減. 農業技術 62 : 261-264.
- Turecek, W. W., Wilcox, W. F. (2005) Evaluating predictors of apple scab with receiver operating characteristic curve analysis. Phytopath. 95 : 679-691.
- 内田正人 (1987) 果樹の薬害事例. 鳥取県果実農業協同組合連合会. 鳥取. pp9-11.
- 臼杵義侑・石賀貴子・坂田七海・石賀康博 (2024) キウイフルーツかいよう病に対するアシベンゾラルS - メチルの防除効果について. 日植病報 90 : 231.
- 柳沼久美子・七海隆之 (2016) モモせん孔細菌病に対する秋期防除の効果と総合的防除対策の必要性. 北日本病虫研報 67 : 222.
- 山口正己 (2003) 核果類における病害抵抗性育種一素材開発の現状一. 植物防疫 57 : 294-296.
- 山口修平・伊山公二・田方康平・夏秋啓子・根岸寛光・篠原弘亮 (2014) モモせん孔細菌病菌 (主に *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*) の薬剤感受性に関する研究. 東京農大農学集報 59 : 74-80.
- Zehr, E.I., Shepard, D.P. (1996) Bacterial spot of peach as influenced by water congestion, leaf wetness duration and temperature. Plant Dis. 80: 339-341.