HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コムギ眼紋病の病原菌とその防除に関する研究［全文の要約］
Author(s)	竹内, 徹
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第7075号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74295
Type	doctoral thesis
File Information	Toru_Takeuchi_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

博 士 論 文 の 要 約

博士の専攻分野の名称： 博　士（農学）　　氏名　竹　内　徹

学 位 論 文 題 名

コムギ眼紋病の病原菌とその防除に関する研究

コムギ眼紋病は *Oculimacula yallundae* および *Oculimacula acuformis* によって引き起こされる病害で，世界各地のコムギ栽培地帯で発生している．我が国では，1983 年秋田県八郎潟において（古屋，1984），また時期をほぼ同じにして北海道でも美唄市および滝上町で発生が確認された（宮島・斉藤，1984）．その後，北海道における本病の発生は拡大し，1988 年にはコムギ栽培地帯のほぼ全域の 10 支庁管内の 99 市町村で発生が確認された（尾崎，1990）．本病が北海道で発生した背景には，1970 年に始まった水田転換政策が関係している．水田転換畑では使用する作業機械や栽培の省力性からコムギの栽培が急増し，コムギを連作するほ場も増えた．また，畑作地帯においても経営規模の拡大に伴い，省力栽培が可能なコムギの過作傾向が進んだ．このようなコムギの連作または過作が増加する状況で，土壌伝染性であるコムギ眼紋病の発生および被害が拡大していった．本病はコムギの地際葉鞘や茎に眼紋状の病斑を形成し，病斑が進展すると茎基部が腐敗して早期倒伏の原因となるため被害は著しいことから，北海道のコムギ栽培において大きな問題となった．そこで，北海道立中央農業試験場（当時）において，コムギ眼紋病に対する緊急防除対策を確立するための研究を 1989 年より開始した．本研究の成果は 1996 年にとりまとめられ，本病の発生生態に基づく防除対策技術として道内に普及されるに至った．

本論文は，本研究課題において筆者が実施して明らかにした，北海道におけるコムギ眼紋病の病原菌，発生生態，被害解析および防除対策をとりまとめたものである．

１．病原菌

（１）病原菌の同定

北海道から分離されたコムギ眼紋病菌は，培養形態から PDA 平板上で生育が速く菌叢の先端が全縁平滑の菌群（fast-growing, even-edged type：FE 型），生育が遅く菌叢の先端が不定形羽毛状の菌群（slow-growing, feathery-edged type：SF 型）の 2 菌群が存在した．これら 2 菌群を Nierenberg（1981）の記載と比較すると，FE 型菌および SF 型菌は，培養性状および分生子の形態から，分生子の大きさがやや小さいものの，それぞれ *P. herpotrichoides* var. *herpotrichoides* および *P. herpotrichoides* var. *acuformis* と一致した．さらに，培養性状およびコムギおよびライムギに対する病原性の違いから，FE 型菌および SF 型菌は，それぞれ Lange de la Camp（1966）および Scott *et al.*（1975）による *P. herpotrichoides* の W タイプおよび R タイプに相当する．しかし，これら 2 菌群は培養形態から容易に識別できるが，分生子の大きさおよび形態，コムギおよびライムギに対する病原性は識別が不明確であった．

以上の結果から，北海道から分離されたコムギ眼紋病菌は，Crous *et al.*（2003）の記載に従い，FE 型菌を *Oculimacula yallundae* (Wallwork & Spooner) Crous & W. Gams （アナモルフ：*Helgardia herpotrichoides* (Fron) Crous & W. Gams），SF 型菌を *Oculimacula acuformis* (Boerema, R. Pieters & Hamers) Crous & W. Gams（アナモルフ：*Helgardia acuformis* (Nirenberg) Crous &W. Gams）と同定した．

（２）系統解析

コムギ眼紋病菌 *Oculimacula yallundae*，*Oculimacula acuformis* およびこれらの近縁種との遺伝的関係を解明するために核 DNA の再会合速度解析による DNA 類縁性を調査した．*O. yallundae* お

よび *O. acuformis* 同種内の DNA 類縁性は，分離地が世界各国に及んでいるのにも関わらず *O. yallundae* 6 菌株間で 82～97%，*O. acuformis* 4 菌株間で 93～99%と高かった．*O. yallundae* と *O. acuforims* との間では 24～34%であった．*O. yallundae* および *O. acuformis* と *H. anguioides* および *H. aestiva*，*H. anguioides* と *H. aestiva* との間の DNA 類縁性は 0～24%と低かった．

異なる分化型および病原型を含む同一種内の菌株間の DNA 類縁性が 60～70%以上とする既往の報告に従うと，本試験の結果から 2 種のコムギ眼紋病菌 *O. yallundae* と *O. acuformis* とは遺伝的に分離した別種に相当することが示された．本研究における DNA 類縁性の解析では *O. yallundae* の菌株間では 82～97%で，*O. acuformis* の菌株間の 93～99%に比較して，遺伝的に多様であることが示されたことから，*O. yallundae* が *O. acuformis* よりも変異が進んでおり，多様な環境条件に適応した可能性があることを示唆された．

コムギ眼紋病菌 *O. yallundae*，*O. acuformis* およびこれらの近縁種との遺伝的関係を解明するため，ミトコンドリア DNA（mtDNA）の制限酵素断片長多型を調査した．9 種類の制限酵素処理による mtDNA の断片長パターンは，*O. yallundae* と *O. acuformis* との間で差異が認められた．これらコムギ眼紋病菌 2 種の mtDNA の断片長パターンは *H. anguioides* および *H. aestiva* と大きく異なった．*O. yallundae* 6 菌株では 89%以上の断片が共有で，mtDNA 塩基配列多様性指数（p 値）は 0.010～0.020 であった．*O. acuformis* 6 菌株では検出された全ての断片が共通で， p 値は 0.000 であった. *O. yallundae* と *O. acuformis* との間では比較的高い多型性が認められ, 共有する断片は 43%で, p 値は 0.139～0.145 であった. コムギ眼紋病菌 *O. yallundae* および *O. acuformis* と *H. anguioides* および *H. aestiva* と間では共有する断片は 9～17%と低く，p 値は 0.300～0.401 であった．

既往の研究では同種または同じ分化型内の菌株間の mtDNA の塩基配列の多様性は約 0.07～0.08 以下の p 値を示すことから，*O. yallundae* および *O. acuformis* の菌株間に高い p 値（0.139～0.145）が観察された結果からこれら病原菌が別々の種に対応した遺伝的に異なる分類学的集団であることを示された．多様な地理的起源および異なる病原型の菌株を含む *O. yallundae* および *O. acuformis* の種内の mtDNA において，*O. yallundae* に多様性が認められたが，*O. acuformis* には認められなかったことから，*O. yallundae* が *O. acuformis* よりも遺伝的多様性が高いことが示唆された．

以上の系統解析の結果から，コムギ眼紋病菌は培養形態に基づいて識別される明確に遺伝的に独立した *O. yallundae* および *O. acuformis* の 2 種からなることが示された．

（３）病原菌の分布

コムギ眼紋病には 2 種類の病原菌 *O. yallundae* および *O. acuformis* が関与し，両菌が北海道から分離されているが（竹内ら，1992; 古屋ら，1993），その発生割合および分布は明らかにされていない．そこで，北海道内のコムギほ場から 1989 年に 1017 菌株，1992 年に 1931 菌株のコムギ眼紋病菌 *O. yallundae* および *O. acuformis* を分離してその分布を調査した. 1989 年分離菌は 47.7%が *O. yallundae*，52.3%が *O. acuformis* であった．1992 年分離菌は，56.3%が *O. yallundae*，43.7%が *O. acuformis* であった．病原菌の分布は 2 カ年で大きな差異は認められなかったが，菌種によって地理的分布が異なり，道南および道央地域では *O. yallundae*，道東および道北地域には *O. acuformis* がそれぞれ優占した．

コムギ眼紋病菌 *O. yallundae* および *O. acuformis* の菌種による地理的分布が異なった要因について考察した. 2 種のコムギ眼紋病菌 *O. yallundae* および *O. acuformis* は DMI 剤であるプロピコナゾール乳剤に対する感受性には明らかな差が認められ，*O. acuformis* は感受性が低い．しかし，プロピコナゾール乳剤が使用される前の 1989 年と本剤が使用されるようになった 1992 年では *O. yallundae* および *O. acuformis* の比率と分布に大きな差異は認められていない．よって，本剤の使用による選択圧が菌種の分布に影響を及ぼしたとは考えにくい．*O. acuformis* は *O. yallundae* に比べ，ライムギに対する病原性が高いとされているが（Hollins *et al.*, 1985; Lucas *et al.*, 2000），北海道におけるライムギの栽培はごくわずかであることからその影響は考えられない．*O. yallundae* と *O. acuformis* は同一ほ場で共存し，ほ場における最終的な発病程度に差はないが（Lucas *et al.*, 2000），*O. yallundae* は *O. acuformis* に比べて早い時期から発病が進展することが報告されている（Goulds and Fitt, 1990; Bateman, 1993; Bock *et al.*, 2009）．環境を制御した接種試験において，10～15℃では *O. yallundae* は *O. acuformis* に比べて病原性は強いが（Fitt *et al.*, 1987; Creighton *et al.*, 1989），それより低温条件（平均温度 7℃）では，病原性は弱い（Hollins *et al.*, 1985）．また，*O. yallundae* による発病程度が高いほ場において，低温年では *O. acuformis* による発病が上回ること

が報告されている（Goulds and Fitt, 1990）．本研究の調査結果では，*O. acuformis* が優占したほ場は，冷涼な気候条件の地域に多かった．そこで，調査した市町村ごとの *O. acuformis* の分離割合とアメダス調査地点における 4 月の平均気温（調査年を含む過去 5 年間の平均）との関係をロジスティック回帰分析を行ったところ，いずれの調査年においても両者に有意な関係が認められ，*O. acuformis* が優占する地域は平均気温が低い傾向があった．また，北海道に比べ気象が温暖である秋田県では，*O. yallundae* のみが分離され，*O. acuformis* は分離されていないことも（古屋ら，1993），平均気温と病原菌の分布の関連性を示すものと考えられる．このように北海道において菌種の分布の差異を生み出している要因は，気象条件の相違による可能性が示唆された．これまで *O. yallundae* と *O. acuformis* のほ場における発病の進展の違いを示した報告はあるが，本菌の地理的分布の違いに言及した報告はない．

２．発生生態

（１）伝染源

コムギ眼紋病の第一次伝染の実態を解明するため，汚染土壌の混入による伝染の可能性を明らかにするとともに，コムギ眼紋病未発生ほ場にコムギを栽培し，作業機械に付着した汚染土壌の移動による本病の第一次伝染を確認した．

コムギ眼紋病発生ほ場を作業後の作業機械に付着した汚染土壌を 1%混和しただけでも，わずかながら発病が認められ，汚染土壌の混入割合を増すにしたがって発病茎率および発病度は高くなった．本病発生連作ほ場と未発生ほ場を連続して作業することにより，コムギ栽培 1 年目から本病の発生が認められ，コムギ連作 2 年目において連作ほ場と同程度の発病となったことから，コムギ眼紋病菌は作業機械に付着した汚染土壌の移動により，未発生ほ場に容易に侵入，蔓延，定着し，連作わずか 2 年目で発病ほ場となることが明らかとなった．北海道で発生が確認されて以降，発生と被害が短期間に拡大したのは，本病の高い伝染性によるものだと考えられる．このため，本病の発生と発病を防止するのは極めて困難である．

（２）発病経過

北海道におけるコムギ眼紋病の発病経過を 1989～1990 年および 1990 年～1991 年の 2 カ年調査した．コムギ眼紋病の初発は調査 2 カ年ともコムギ出芽 40 日後の 11 月 4 日および 10 月 25 日に認められた．その後の発病は増加することはなく，根雪前の 11 月中旬の調査においてもいずれの年も発病茎率は 2.5%であった．融雪前の 3 月下旬の発病茎率は根雪前と同程度に低かったが，融雪後の 4 月下旬から急激に増加し，5 月上旬の発病茎率は約 60％に達した．5 月上旬に稈が形成されてから 5 月中旬以降に稈の発病が急増し，6 月下旬～7 月上旬にはほぼ 100%近い発病茎率に達した．発病度は 5 月中旬以降に急減に増加し，6 月下旬～7 月上旬に最終的な発病度に近い値となった．本試験の結果から北海道におけるコムギ眼紋病の発病経過は以下の 3 段階に分けることができた．Ⅰ期：葉鞘に病斑が形成される（出芽後から節間伸長期：5 月上旬まで），Ⅱ期：病斑が葉鞘から稈に移行する（節間伸長期～止葉期：5 月中～5 月下旬），Ⅲ期：稈の病斑が拡大する（止葉期以降：6 月上旬以降）．

（３）気象要因と発病

コムギ眼紋病は，北海道と秋田県でのみ発生が確認されている低温性の病害であるが，発病程度の年次変動が大きいことから，気象条件が発病に影響している可能性が高い．しかし，発病に関与する気象要因は，海外における報告があるが（Fitt *et al.*, 1988; Vanova *et al.*, 2005; Matusinsky *et al.*, 2009），国内では報告例はない．そこで，コムギ連作ほ場において 1995～1996 年まで 10 シーズンの期間，コムギ眼紋病の発病程度の年次変動を調査した．本病は発病指数 3 以上でコムギの減収が生じることから，指数 3 以上の発病茎を重症茎とし，重症茎の発生割合で発病程度を評価した．

コムギ眼紋病の発病と気象要因との関連について単変量ロジスティック回帰分析を行った結果，重症茎は気温と負の関連，降水日数と正の関連を示す期間が多かった．5 月上旬の最低気温（オッズ比 0.253，95%信頼区間 0.175～0.332）と 11 月上旬の降水日数（オッズ比 2.144，95%信頼区間 2.102～2.186）は重症茎と高い関連性が認められた．

本病の第一次伝染である罹病残渣上の分生子の形成適温は低く，10℃以下の 5℃とされている（Higgins and Fitt, 1984; Fitt *et al.*, 1988）．また，感染の適温は 6～10℃と比較的低い（Lange de la Camp, 1966; Schrödter and Fehrmann, 1971; Clarkson, 1981）．コムギのは種後の約 1 ヶ月となる 10

月中旬以降は，気温はおおむね10℃以下となる期間が増加し，本病の分生子形成および感染に十分な条件にあるため，本病の罹病残渣からの第一次感染が起きる時期と考えられる．積雪前の期間は，発病の進展は認められないが，この期間の降水日が多いと，地表面の罹病残渣からの第一次感染の機会が増え，融雪後の発病の進行にも影響を及ぼす．11月上旬は降水日数が他の期間に比べても多く，気温も 2～10℃と分生子形成に最適な期間となるため，本病の重要な一次感染期間であると考えられた．

融雪後の起生期以降，根雪前の感染による病斑上に形成された分生子も重要な感染源となる．さらに 4 月中旬から 4 月下旬にかけて感染に適した温度条件となるため，4 月下旬以降に発病は進行する．その後の 5 月上旬は平均気温が 10℃以上となる期間であるが，この期間に最低気温が低いと感染適温である 10℃を下回る期間が長くなり，感染期間が長期化するため，5 月の最低気温が発病程度に影響するものと推察された．

発病程度に対する影響が大きかった 5 月上旬の最低気温と 11 月上旬の降水日数の 2 要因に対して多変量ロジスティック回帰分析を行った．その結果，これらの要因の間に交互作用が認められたことから，11 月上旬の降雨日数が多いと一次感染が増加して感染率が高まり，それが 5 月上旬の最低気温の効果に影響し，発病程度を高める効果をもたらすことが示唆された．

以上のように，本病の発病程度に及ぼす時期別の気象要因は，北海道における発病経過とこれまでに報告されている本病の発生生態でよく説明することができた．

３．被害解析

コムギ眼紋病は，病勢が進展すると茎基部が腐敗して早期倒伏の原因となるため，減収や品質低下などの被害は著しい．しかし，倒伏による被害のみが認識されることが多く，発病程度と減収や品質低下との関係は不明であった．そこで，コムギ眼紋病の発病とコムギの減収および品質低下との関係について検討を行った．

発病指数別に茎単位の減収および品質低下の程度を調査したところ，倒伏に至らなくても，発病指数 3 以上，すなわち病斑が茎を完全に取り囲むようになると，減収および品質低下が認められた．本病によるコムギの収量構成要素および品質に及ぼす影響を検討したところ，穂数および 1 穂粒数にはほとんど影響しないが，千粒重の減少および品質の低下が認められた．北海道では発病初期～中期は葉鞘にのみ病斑を形成し，病斑が稈に移行して拡大するのはコムギの節間伸長期以降である．節間伸長期前までに穂数および 1 穂粒数は概ね決まるため，これらに対する本病の影響は小さいが，この後のコムギ粒の肥大が進む時期に発病が進展して病斑が茎を囲むと，水分および養分の転流が阻害されるため，千粒重が減少し，リットル重，整粒歩合などのコムギ粒の品質，アミログラム特性値によるコムギ品質の低下を引き起こすものと考えられる．

本病による被害が生じる発病茎率および発病度を検討した．発病茎率と子実収量との関係では発病茎率 90%以下では減収は生じないと推察された．発病度と子実収量との関係では発病度 40 以下では減収は生じないと考えられた．本病は発病指数 2 以下の茎では減収が認められないことから，発病度 40 以下では発病指数 2 以下の茎がほとんどを占めるためだと推察される．

コムギ眼紋病による減収および品質低下は倒伏によってさらに大きくなった．コムギの倒伏はその年の気象やコムギに生育によって影響を受けるため，年次間差が大きかったが，発病茎率 90%以上で倒伏面積割合の顕著な増加が認められた．また，発病度との関係では，発病度が 40 以上で倒伏面積割合が顕著に増える傾向が認められた．発病度 40 以上では，病斑が茎全体を取り囲む発病指数 3 以上の茎が増加するためだと考えられる．

以上の結果から，コムギ眼紋病によって被害が生じる発病水準は，発病茎率で 90%，発病度で 40 と推定された．コムギ眼紋病は，水平進展の後に垂直進展が起こるため，ある程度の発病茎率にならないと被害にはつながらない．本病は減収を生じない範囲の発病ではほとんど問題とならず，土壌伝染性の病害であるが，許容できる発病レベルは高い．したがって，本病は発病を防止するのではなく，実質的な被害が生じる発病レベルに達しない対策を講じることが効率的である．本研究で設定した発病水準は，防除対策の検討の目安として活用できる．

４．薬剤防除

（1）ベンゾイミダゾール剤の効果

北海道におけるコムギ眼紋病菌のベンゾイミダゾール剤に対する感受性および耐性菌の分布を

明らかにした．また，ベンゾイミダゾール剤であるチオファネートメチル水和剤散布による防除効果を検討するとともにコムギほ場における耐性菌密度と効果の関係を明らかにした．

薬剤処理の異なるほ場および試験区から分離したコムギ眼紋病菌 120 菌株を供試し，ベンゾイミダゾール剤であるベノミルおよびチオファネートメチルに対する感受性を検定したところ，三峰の分布曲線を示し，2 ppm 以下の濃度で明らかなピークが認められた．そこでベノミル感受性頻度分布で感性菌と耐性菌の境界となる MIC 値を 2 ppm とし，ベノミル 2ppm 添加培地によって耐性検定を行うことにした．なお，耐性菌の頻度分布から，ベノミル 200ppm 以上の高濃度で生育する菌株群と 2ppm 以上 20ppm 以下までの中濃度で生育する菌株群が存在することが判明した．

北海道におけるベンゾイミダゾール系薬剤に対する耐性菌の分布は，耐性菌の検出されたほ場が 1989 年で 65.5%，1992 年で 75.3%，耐性菌の割合が 1989 年で 49.0%，1992 年で 47.5%存在したことから，かなり広範囲に及んでいることが明らかとなった．特にオホーツク海および太平洋側の日高，十勝および網走管内ではすべてのほ場で耐性菌が検出され，耐性菌の割合も高かった．一方，日本海側の桧山，後志および留萌管内では感受性菌がほとんどであった．このように太平洋側の耐性菌の密度の高い地帯は雪腐大粒菌核病の発生地帯で（冨山，1955），根雪前にチオファネートメチル水和剤の散布が行われているため，これが耐性菌の密度を高めたものと考えられた．

異なった耐性菌密度を示すほ場におけるチオファネートメチル水和剤の茎葉散布は，耐性菌が 30%以下では有効であったが，50%以上の場合では防除効果が認められなかった．

以上の結果から，チオファネートメチル水和剤は耐性菌密度が高い道東地方ではほとんど防除効果が期待できないと考えられた．一方，耐性菌密度の比較的低い地帯においても広範囲から耐性菌が分離されていること，また，同一市町村内においても耐性菌密度は薬剤の使用歴により著しく異なることから．本剤散布にはほ場ごとの耐性菌密度の把握が必要となる．しかし，ほ場ごとに精密に耐性菌密度を調査するのは現実的ではなく，本剤のコムギ眼紋病に対する使用の判断は，各ほ場のベンゾイミダゾール系薬剤の使用歴などから推定せざるを得ない．したがって，耐性菌の割合が低い道央および道南地方では，ベンゾイミダゾール系薬剤の最小限の使用により，現在以上に耐性菌の密度を高めないことが必要である．そのための対策として，他の病害防除にはベンゾイミダゾール系薬剤を使用せず他系統の薬剤を用いることが有効であると考えられるが，チオファネートメチル水和剤はコムギ赤かび病の防除に重要な薬剤であるため，使用の制限は困難である．北海道においてコムギ眼紋病の防除にベンゾイミダゾール系薬剤を使用することは困難であることが明らかとなった．本病に対する薬剤防除は本剤に代替する薬剤の実用化が必要である．

（２）DMI 剤の効果

北海道から分離されたコムギ眼紋病菌について，DMI 剤（ステロール脱メチル阻害剤）に対する感受性を明らかにした．また，DMI 剤であるプロピコナゾール乳剤およびプロクロラズ乳剤散布による防除効果を検討するとともに，コムギほ場における病原菌の菌種構成と効果の関係を明らかにした．

O. yallundae および *O. acuformis* の DMI 剤に対する感受性を調査した結果, EC_{50} 値でプロピコナゾールではそれぞれ 0.16～0.32 ppm および 1.0～4.5 ppm，プロクロラズではそれぞれ 0.03～0.09 ppm および 0.04～0.18 ppm で, *O. acuformis* のプロピコナゾールに対する感受性が低かった. 19989 年および 1992 年 2 カ年とも両剤に対する感受性は同様の傾向であった．*O. acuformis* の割合が 5.0～100%と異なるほ場でプロピコナゾール乳剤およびプロクロラズ乳剤に対する防除効果を調査した．プロピコナゾール乳剤は *O. yallundae* が優占するほ場では効果が認められたのに対し，*O. acuformis* が優占するほ場では効果が認められなかった．一方，プロクロラズ乳剤はいずれのほ場においても安定した効果が認められた．

北海道内に *O. acuformis* が広く分布していることから，北海道においてプロピコナゾール乳剤を本病に対する防除薬剤として使用するのは難しいと判断される．一方，同じ DMI 剤であるプロクロラズ乳剤は，菌種にかかわらず安定した防除効果が得られた．本剤はヨーロッパでは眼紋病の防除に広く使用されており（Leroux and Gredt, 1997; Parnell *et al*., 2008），北海道においてもプロピコナゾール乳剤に替わる薬剤として 1998 年に農薬登録となった．しかしながら，本剤は我が国において薬剤単価が高いことから使用は限定的である．また，ヨーロッパではプロクロラズに対する低感受性菌による防除効果の低下が問題になっている（Leroux *et al*., 2013）．これらのこと

から，特定の系統剤にのみ依存しない薬剤防除が重要である．

（３）シプロジニル剤の効果

北海道におけるコムギ眼紋病の対する薬剤防除に関して，ベンゾイミダゾール系薬剤による防除が困難であること，DMI 剤に依存しない薬剤防除が必要であることが示された．そこで，これらに替わる本病に対する防除薬剤としてアニリノピリミジン系薬剤であるシプロジニル水和剤の防除効果を検討した．その結果，1994 年および 1995 年の試験においてシプロジニル水和剤は，菌種に関わらず安定した効果が認められ，北海道では 1999 年から本剤防除に広く使用されるようになった．

しかし，本剤についても 2008 年に耐性菌の出現が確認され（小松ら，2010），防除効果が低下する事例が報告された．本試験においても，シプロジニル耐性菌が検出された 2009 年美唄市の試験で明らかな防除効果の低下が認められた．Babij *et al.*（2000）は，シプロジニルの連続使用によってコムギ眼紋病菌のシプロジニル感受性が低下し，耐性化は 1 因子によるものであり，本剤の耐性菌出現による防除効果の低下のリスクを報告している．コムギ眼紋病に対しては薬剤にのみ依存した防除対策には限界があることが示された．

（４）薬剤散布時期

チオファネートメチル水和剤およびプロクロラズ乳剤を用いて薬剤散布時期別の防除効果を検討した．その結果，最も効果が高い時期は 5 月上旬（GS31）（GS：生育ステージ）で，その前後の 4 月下旬（GS30）と 5 月中旬（GS33）の効果も高い傾向にあることが明らかになった．散布適期は 4 月下旬（GS30）から 5 月中旬（GS33），なかでも 5 月上旬（GS31）が望ましいと判断された．4 月下旬～5 月中旬（GS30～GS33）の期間の発病経過は，葉鞘の病斑が増加し，葉鞘に形成された病斑から稈に感染する時期に相当する．本病は上位葉鞘にまで発病が進展することはほとんどなく，下位葉鞘は発病の如何に関わらず枯死するため，葉鞘の発病は伝染源としては重要であるが，直接被害をもたらすことはない．最終的な発病程度を決め，被害に影響を及ぼすのは稈の発病であることから，この期間に稈への感染を抑える防除の効果が高いと推察された．5 月下旬（GS37）以降では防除効果が劣る傾向がみられたが，発病経過から見てこの時期はすでに稈への感染が進んでいるためであると考えられた．

コムギステージの GS30～GS33 の時期は幼穂形成期から節間伸長前期に相当する．本病に対する薬剤防除は 2～3 週間程度の散布時期の幅の中では防除効果の差は大きくないことから，防除効果が認められる薬剤散布期間が比較的広い．そのため，薬剤によっては，コムギうどんこ病やコムギ赤さび病との同時防除も可能である．

コムギ眼紋病は 11 月上旬の降水日数が多く，5 月上旬の最低気温が低いと発病程度が高くなる．また，本病は防除効果が認められる薬剤散布時期が比較的広く，5 月中旬においても効果が得られた．これらの結果から，5 月上旬の薬剤散布が最も効果は高いが，5 月中旬の防除でも一定の効果が確認できたため， 5 月上旬までの気象要因をもとに本病の多発を予測し，5 月中旬に防除を行うことで効率的に本病の被害を軽減できる可能性が示唆された．

本研究では伝染源密度が高いコムギ連作ほ場で試験を行ったが，本病の発病はコムギ連作や栽培環境によって影響を受けるため，過去の発病状況などを踏まえて発病の多発を判断し，本病の多発が予想されるほ場で連作する場合にのみ薬剤防除を行う必要がある．

５．耕種的防除

（１）非寄主作物の栽培

本病の第一次伝染源はほ場における前作の罹病残渣であるため，コムギの連作によって発病は増加する（Fitt *et al.*, 1988; Lucas *et al.*, 2000）．そのため，連作ほ場での被害が大きい．そこで，輪作による本病の対策を確立する目的で，非寄主作物の栽培による発病抑制効果を検討した．

寄主作物であるジャガイモおよびアズキの栽培によってコムギ眼紋病の発病度は減少し，発病は抑制された．その効果はジャガイモとアズキで差はなく，栽培年数によって異なった．1，2 および 3 年間の栽培でそれぞれ 22.2～38.7%, 48.2～56.3%および 69.0～73.1%の発病抑制効果が認められた．本病によってコムギの被害が生じるのは，発病茎率で 90%以上，発病度で 40 以上であることから，多発条件においても 2 年以上の非寄主作物の栽培で実質的な被害を回避できると考えられる．また，多発条件ではない場合には，1 年の非寄主作物の栽培でも実用的な効果が期待できる．一方，寄主作物を 1～3 年間栽培して本病の発病を抑制しても，その後に連作すると長期

連作区と同様の発病程度となり，発病抑制効果は認められなくなった．本病はある程度の発病を許容できることから，連作は避けることを最優先とし，発病状況によって 2 年または 3 年以上の輪作体系を維持することで本病による実質的な被害を回避することができる．そのため，本病多発ほ場でやむを得ず連作する場合以外は薬剤防除を行う必要はない．

コムギ眼紋病は，非寄主作物の栽培によって実質的な被害を防ぐことができることを示した．北海道では薬剤防除に依存しない輪作体系の維持を基本とした対策が指導されており，現在は一部のコムギ過作地帯を除いて大きな問題となっていない．今後も本病対策には被害を回避できる発病レベルに抑えるために適正な輪作体系を維持することが重要である．

（２）栽培管理

コムギ眼紋病の発病と被害を軽減するための栽培管理による耕種的防除法を確立するため，播種法（播種時期，播種量およびうね幅）および窒素施肥が発病に及ぼす影響を検討した．

播種法では，播種時期が早いほど，播種量が多いほど発病は増加した．うね幅は 30cm 以下であれば影響は認められなかった．これら播種法によってコムギの生育に差が生じ，その差はコムギの茎数および穂数で認められた．そのため，本試験において，コムギの茎数および穂数は，播種時期が早いほど増え，播種量が多いほど増えた．融雪後のコムギ起生期以降の 4 月中旬から 5 月上旬までは平均気温が 5～10℃と感染に適した温度条件となるため，発病は進行する．この期間にコムギの茎数が多いと，コムギ葉鞘が地表面と接している部分が増えるため，新たな感染が起きやすくなると推察される．また，すでに病斑を形成している茎からの同じ株の茎への感染も起きやすくなると考えられる．さらに，コムギ地際部が感染に十分な湿度に保たれやすいことも考えられる．以上の結果から，適正な播種量，適正な播種時期期を厳守し，茎数過剰とならない栽培を行うことにより本病の発病を減らすことが可能であることが示された．ただし，穂数不足となると減収となるので，適正な茎数にコントロールし，収量増につながらない過剰な茎数増加を避ける必要がある．

窒素追肥の本病の発病に対する影響は認められなかった．同じ追肥量であれば，発病程度に大きな差はなかったが，分肥でコムギの倒伏は減少した．同じ発病程度であってもコムギの倒伏を伴うと減収は増加し，コムギの品質も低下するが，穂数が多いとコムギは倒伏しやすくなる．分肥では起生期の窒素施肥が減少する分，穂数が減少したが，止葉期の窒素追肥で千粒重が増加するため，減収することなく穂数を減らすことができる．コムギの収量を確保しつつ本病による被害を軽減させるためには，茎数に合わせた適正な起生期追肥を行い，目標収量に合わせた分肥を行うことが重要である．

（２）抵抗性遺伝資源の探索と抵抗性系統の作出

国内外の 108 品種・系統のコムギ眼紋病に対する抵抗性を明らかにした．北海道および国内の品種・系統はアメリカ合衆国で本病に感受性とされる「Stephens」（Murrey and Bruel, 1983）と同程度の感受性とみられ，耐病性の品種・系統として有望なものはなかった．明らかな抵抗性を示した“強”判定の品種・系統以外では，穂数が多い品種・系統で発病程度が高くなる傾向がみられた．本病は茎数が増える栽培法で発病が助長される傾向が認められていることから，コムギの茎数が発病に影響しているものと推察された．本病による被害を軽減するためには茎数過剰になりやすい品種の栽培を避けることも有効であると考えられる．

本試験の結果は，Murray and Bruehl（1983）によるワシントン州で行った試験に比べて抵抗性の品種・系統間差が明確であったことから，本試験法はコムギ眼紋病に対する抵抗性を評価できるほ場検定法として利用できることが示された．

北海道および国内で育成された品種・系統の中には抵抗性を示すコムギはなかったが，「VPM-1」，「Madsen」，「Cappelle-Desprez」，「Cerco」が本試験において抵抗性を示し，これらは北海道における抵抗性品種開発のための母本となりうることが示された．「VPM-1」，「Cappelle-Desprez」，「Cerco」，「Madsen」はアメリカ合衆国ワシントン州における試験においても抵抗性が認められている（Murrey and Bruel, 1983; Murrey and Bruel, 1986; Cadle and Murray, 1997）．「VPM-1」は *Aegilops ventricosa* を起源とする抵抗性遺伝子 *Pch1* をもち（Doussinault *et al*., 1983; Delibes *et al*., 1988），「Madsen」の抵抗性は「VPM-1」由来の *Pch1* であることが示されている（Allan *et al*., 1989）．「Cappelle-Desprez」は別の抵抗性遺伝子 *Pch2* をもつことが明らかにされている（de la Peña *et al*., 1996）．「VPM-1」由来の *Pch1* 遺伝子および「Cappelle-Desprez」はコムギ眼紋病の抵抗性育種に広く使われている（Wei *et al*., 2011）．

抵抗性が示された品種・系統のうち，「Madsen」はコムギ縞萎縮病に対する抵抗性遺伝子をもつことが明らかにされており（竹内ら，2010），北海道のコムギ育種でも交配母本として使われている品種で，コムギ眼紋病の抵抗性品種を開発するにあたって有望な遺伝資源である．コムギ眼紋病抵抗性遺伝子 *Pch1* に連鎖した DNA マーカーは海外で報告があり（Groenewald *et al*., 2003; Leonard *et al*., 2008; Chapman *et al*., 2008），本研究で用いた DNA マーカー*XustSSR2001-7DL* は *Aegilops ventricosa* 由来のエンドペプチダーゼ遺伝子 *Ep-D1b* と強連鎖している（Groenewald *et al*., 2003）．Meyer *et al*.（2011）は，ドイツにおける 104 品種について，抵抗性の評価と *Ep-D1b* の有無を調査し，*Ep-D1b* を持つ品種が抵抗性を示すことを報告している．これらのことから，DNA マーカーを用いて「Madsen」由来の抵抗性を持つコムギを選抜することで，ほ場での検定を省略しても抵抗性系統が得られると考えられる．コムギ眼紋病抵抗性遺伝子 *Pch1* に連鎖した DNA マーカーを用い，「Madsen」を 1 回親，「きたほなみ」を戻し親として連続戻し交配と DNA マーカー選抜によって準同質遺伝子系統（NILs）を 3 系統得ることができた．「きたほなみ」は優れた農業特性をもつ現在の北海道における基幹品種であることから，これらの準同質遺伝子系統は，今後，コムギ眼紋病の抵抗性品種の育成に利用できる．