

雪腐病（7）

誌名	北農
ISSN	00183490
著者名	松本,直幸
発行元	北海道農事試験場北農會
巻/号	77巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 360-364
発行年月	2010年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



<総 説>

雪 腐 病 (7)

松 本 直 幸*

4. 防 除

ほとんどの雪腐病において病原菌の生活史は、積雪下の活動相と菌核などの形態で越冬する休眠相に明確に区別される(松本 1985, 1988, 2009)。このような雪腐病菌の活動相に応じていくつかの防除法が考えられるが、現実的で確実に効果が期待される対策は、根雪直前の農薬散布による菌糸生育・感染の抑制である(表7)。植物の生理状態を考慮した栽培管理法としては、秋期後半の施肥、刈取りなども重要である(表7)。また、越冬性の高い草種、品種の選定はいうまでもないし、播種期によって雪腐病の被害は大きく異なる。積雪下での拮抗菌を利用した生物防除は、実験的には、圃場条件下でも可能である(Burpeeら1987, Matsumoto & Tajimi 1992, Wuら1998)。

雪腐病に罹るおもな植物として、農作物では牧草と秋播コムギ、農作物以外では芝草があげられる。これらの宿主植物は、利用形態、単位面積当たりの経済的価値、および人為的攪乱の程度に違いがあり、これらの要因は雪腐病の防除方法に直接的に関係している(表8)。ゴルフ場のグリー

ンでは春のオープンまでにパッチが残ることは許されないで、芝草の雪腐病では被害の回復を待つ時間が限られている。牧草では、1番草の刈取りまでに施肥などの栽培管理によりある程度、被害から植物を回復させることが可能で、秋播コムギは越冬後の茎葉でなく穀物を利用するので、十分な時間を回復に費やすことができる。芝草は農作物も含めもっとも集約的に管理されるが、牧草はその対極にある。秋播コムギは両者の中間にあり、この順番は経済的価値に一致する。すなわち、芝草ではかなりの金額を雪腐病防除に費やしても見合うのである。生息場所としての安定性は耕起により攪乱されるので、牧草地がもっとも安定しており、死にかけた植物組織など拮抗菌の利用できる基質も多い。秋播コムギ圃場は毎年耕起され、しかも輪作体系に組み込まれているほとんどの作物は雪腐病の非宿主(積雪下では栽培されない)なので、生息場所としては攪乱が著しく、拮抗菌は定着しづらい。

これらの要因を考慮すると、同じ雪腐病が発生しても有効な防除法は宿主植物により自ずと異なってくる(表8)。牧草には育種・栽培による耕種

的防除が現実的な手段である。輪作は秋播コムギにおいて有効な防除手段となる一方、攪乱された生息場所における雪腐黒色小粒菌核病菌個体群は病原力が強くなる傾向がある(Matsumoto

表7 雪腐病菌とその宿主植物の季節毎の生育相に応じた雪腐病の防除法

	春夏	秋	冬
雪腐病菌の生育相	菌核などによる 耐久生存	菌核発芽などによる 活動再開	植物を侵害
宿主植物の生育相	萌芽 栄養成長	ハードニング	休眠
防除法	耕種的防除 (適期に播種)	耕種的防除 (施肥の量や時期の調節、 適期に最終刈取り)	耕種的防除 (融雪促進)
	生物的防除 (耐久体の減少)	化学的防除(晩秋～初冬) (菌糸生育、感染の抑制)	生物的防除 (菌糸生育、 感染の抑制)

現実的な対応策は斜字体で示した。

* 松本(2010)参照

表8 作物タイプ毎の雪腐病防除法(Matsumoto 1998を改変)

	牧草	秋播コムギ	芝草
回復後利用までの時間	+	++	±
栽培の集約度	±	+	++
拮抗菌の永続性 (生息場所の安定性)	++	±	+
耕種的防除	++	+	-
化学的防除	-	+	++
生物防除	+	±	++

* 北海道農業研究センター Naoyuki MATSUMOTO

& Tajimi 1993)。農薬の使用により雪腐病は見かけ上完全に防除できるの¹で、高い防除水準が求められる芝草では欠かせない。秋播コムギでは、経済的な制約から農薬による防除水準は芝生ほど高くないが、防除しないと深刻な被害を受けることもある（図20, Matsumotoら 2000）。生物防除は拮抗菌が永続し、茎葉のダメージで被害が直接的に評価される牧草と芝草で有効である²。ただ、生物防除は大量の拮抗菌を導入する必要があるため、牧草では経済的に見合わない。



図20 網走地方における雪腐黒色小粒菌核病菌生物型Aによる秋播コムギの被害

1998年は根雪の始まりが平年より1月近く早く、多くの圃場で農薬散布ができなかった。このため、翌春には多くの圃場で耕作が放棄された。

1) 農薬による防除

秋播コムギや芝草においては、雪腐大粒菌核病、雪腐黒色小粒菌核病、雪腐褐色小粒菌核病、および紅色雪腐病に対し農薬が散布される。一般に、日和見感染菌による病気は環境を改善することで防ぐことができるが、雪腐病においては除雪による積雪下環境の改善は現実的ではない³。根雪前に適当な農薬を散布すると、土壤伝染性、空気伝染性を問わず雪腐病はほぼ完全に抑えられる。空気伝染する雪腐大粒菌核病などは、感染源が外部から飛散してくるので、毎年防除する必要がある。土壤伝染する雪腐黒色小粒菌核病においても、前

年薬剤防除により被害を完全に防いだ箇所にも翌年薬剤散布をしないと病気が発生しうる。芝草においては、多いと平米あたり1リットルの農薬を散布するが、これは降水量に換算すると1ミリである。1ミリの降雨は表面を濡らすだけで、地中まで到達しない。すなわち、通常の雪腐病防除では地上部の植物組織のみを保護しているだけなので、地下部をも侵害する雪腐病の被害から植物を守ることはできない。土壤伝染する雪腐黒色小粒菌核病菌生物型Bが、芝草で優占する（Matsumoto & Tajimi 1993）のはこのためである。紅色雪腐病は汚染種子によっても発生する（Hewett 1983）ので、種子消毒も有効な防除手段である。

光合成のできない積雪下において、植物は貯蔵養分をエネルギー源として雪腐病菌に対し積極的に抵抗していることが最近の研究で明らかになってきた（川上 2004）。農薬の中には直接病原菌に作用するのではなく、植物の抵抗性を増強するものも知られている。このような農薬がどれほどの残効性を示すのか不明の点も多いが、有効成分が低温条件下で120日間作用する農薬の開発が望まれる。

2) 生物防除

拮抗微生物を利用する生物防除は、70年代半ばよりとくに植物地下部に発生する土壤伝染性病害で、盛んに研究された。当初、病気を抑える拮抗菌は一度土壤に導入されると、そこで半永久的に生存し、病気を抑えると期待された。しかし、多くの拮抗菌は圃場への導入段階で失格となった。拮抗菌は土着の微生物相に割り込めず、定着できなかったためである。いいかえれば、土壤中には拮抗菌が住み着ける余地がなかったのである。このような背景には、生物防除に関する生態学的考察の欠如もその一因と考えられる。

1 後述のように、芝生では平米当たり1リットルの農薬を散布することもあるが、それでも雪腐黒色小粒菌核病菌生物型Bによる地下部の加害を止めることはできない。

2 天北地方では年間積雪日数が140日にも達するにもかかわらずペレニアルライグラスが経済的に栽培されている。その原因の一つとして、この地方には拮抗性の高い *Typhula phacorrhiza* が多く、本菌による生物防除が自然条件下で起こっていることが示唆されている（Matsumoto & Tajimi 1992）。

3 積雪は外気の低温を遮断し植物を保護する作用があるので、除雪により凍害が発生する可能性もある。

松本 (1985, 1988, 1993) および Matsumoto (1998) は、雪腐病の生物防除に関して生態学的な考察を加えた。すなわち、雪腐病菌の生活段階を休眠相と活動相に分け、拮抗菌が雪腐病菌から受ける影響に基づいて、どのような拮抗菌・雪腐病菌相互関係が存在しうるかを考察した (表 9)。拮抗菌は休眠中の雪腐病菌菌核に寄生するので、正の影響 (拮抗菌が増殖) を受けるが、拮抗菌が減少するような負の影響はないと思われる。雪腐病菌の活動相においては、拮抗菌は様々な影響を受ける。多くの拮抗菌は雪腐病菌と植物組織という資源を巡って競争し、その結果発病低下にいたるが、詳しいメカニズムは不明である。この相互関係に基づく生物防除はいくつかの拮抗菌を用いた実験で成功している。積雪下という環境条件こそ、雪腐病の生物防除が圃場レベルで成功している要因である。すなわち、積雪下の微生物相は貧弱で、多くの菌は低温のため休眠し、低温に耐性のあるもののみが活動している。積雪下という菌の生息場所には生態的空白が多く、低温性であればほとんどの菌が定着できる。雪腐病に拮抗性を示す低温性微生物としては、*Typhula phacorrhiza* や *Humicola grisea* などの糸状菌の他に、細菌として *Pseudomonas fluorescens* が知られている (Matsumoto 1998)。積雪下で生育中の雪腐病菌菌糸に寄生する拮抗菌は見つかっていない。

生物防除の効果は被害レベルが低い場合にのみ有効で、またコストが高つくことが欠点である。雪腐病は牧草、秋播コムギ、芝草と経済的価値が様々な異なる作物に発生するが、芝草の経済的価値は作物の中でも極めて高いので、他の条件も考慮するともっとも現実的な対象作物であると考えられる (Matsumoto 1998, 表 8)。すなわち、

表 9 病原菌と拮抗菌の相互関係

病原菌の活動相	拮抗菌が病原菌から受ける影響		
	—	±	+
休眠相	なし	なし	寄生 (菌寄生菌)
活動相	競争 (腐生菌・病原菌)	片害	寄生 (菌寄生菌)

松本(1985)より

() 内は拮抗菌の種類を示す。

芝草は融雪直後に100%の防除効果が期待され、被害の回復を待てないなどの問題はあるにせよ、もっとも集約的な栽培がなされるので、生物防除資材の利用にあたって、施用量を増やす、他の資材との併用など拮抗菌の働きやすい環境を作りやすい。*T. phacorrhiza* は雪腐病の生物防除資材として、もっとも多く研究がなされている。

Typhula phacorrhiza (Tp) は雪腐小粒菌核病菌と同属である。Tpを用いた芝草雪腐病の生物防除に関してはカナダで大規模に研究されている (Burpee ら 1987, Wu ら 1998)。様々に製剤化したTpを平米当たり20g施用することで防除効果が得られている (Wu ら 1998)。Tpは芝草に定着し、処理後2年間は残存効果を示した (Hsiang ら 1999)。また、Tpは紅色雪腐病にも有効であった (Hsiang and Cook 2001)。*Humicola grisea* もTpのように残効性を示す (巢立, 私信)。*H. grisea* の残効性は、本菌が菌核のような耐久体を持たないので、エンドファイトとして常に植物体内に存在していると推定される。

雪腐病菌の菌糸や菌核に特異的に付随する細菌 *Pseudomonas fluorescens* は、雪腐病菌の菌糸伸長を抑制し (Matsumoto and Tajimi 1987)、雪腐黒色小粒菌核病が自然発生するゴルフ場での有効性も確認された (大志万1996)。その効果は拮抗菌が産生する抗生物質に負うところが大きい。カナダ東部では、融雪直後の雪腐黒色小粒菌核病菌菌核が細菌に汚染され、越夏中に生存力を失ってしまうことが知られている (E. Schneider 私信)。通常、細菌は菌核の外皮層細胞を貫通できず、菌核の生存には積極的に外皮層細胞を貫穿できる糸状菌が一次的な役割を担っている (Matsumoto & Tajimi 1985)。菌核形成時には他の微生物の菌核内部への侵入を排除しているのが普通であるが、カナダの細菌は特別な性質を持っているのであろう。

3) 耕種の防除

実際の栽培には、品種がある程度の雪腐病抵抗性レベルにあることが前提である (国井 1987,

手塚・古明地 1980)。牧草においては、秋の施肥や刈取り時期が越冬態勢と翌春の1番草収量に及ぼす影響を調査した研究が多い（例 近藤 1973, 坂本・奥村 1973, 1974, 能代・平島 1974, 山神・奥村 1976)。すなわち、イネ科牧草では10月上旬頃に刈取ると貯蔵養分量はもっとも減少し、そのために越冬性が低下する。また、秋に重点をおいた施肥法により、越冬性は高まり1番草は増収し永続性も向上する。一方、秋播コムギにおいては、秋に施肥すると越冬性は低下する（例 国井1980b)。このように牧草とコムギで秋の施肥に対する反応が異なる結果は、どのように説明できるのであろうか。すなわち、ともに越冬性のための施肥適正レベルが存在し、牧草ではそのレベルまで達しておらず、コムギではレベルを超えて施用されていたためと考えられる（図21)。早く播種し根雪までに大きく成長した植物ほど一般に抵抗性である（例 Bruehl 1967, Bruehl & Cunfer 1971, 国井1980a)。また、発芽したてのコムギも雪腐病に抵抗性であるので、この現象を利用して春まきコムギの初冬栽培法が考案された（松本 2010参照)。

4) むすび

通常の栽培条件下では、農作物（ゴルフ場の芝

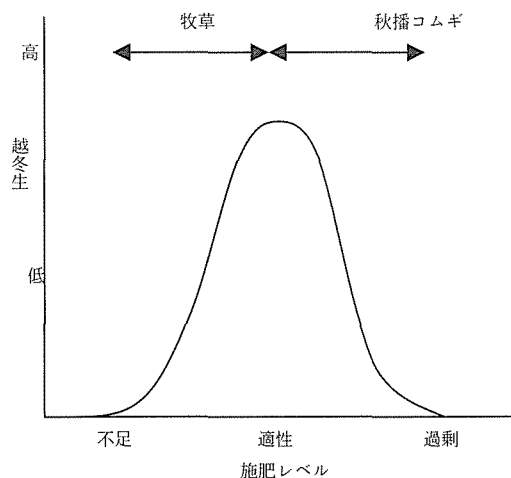


図21 牧草と秋播コムギにおける越冬性に関する施肥反応の違い。

牧草の施肥レベルはそもそも低かったので施肥により越冬性は向上し、秋播コムギでは高かったので施肥量を減らすことで生存が良くなる。両者に本質的な違いはないと考えられる。

草を除く)の雪腐病が特別問題になることはない。品種等の選定（例 手塚・古明地 1980, 国井 1987)と栽培法がほぼ確立しているからである。したがって、雪腐病の被害を育種と栽培技術で最小限に防ぐことは、基本的に可能であると考えられるが、異常気象による突発的な被害は現状では回避できない。たとえば、1998-99年の冬は根雪が早く始まったため、網走地方を中心に多くの秋播コムギ圃場で農薬散布ができなかった。その結果、雪腐黒色小粒菌核病が大発生し、30%の圃場が廃耕を余儀なくされた（図20, Matsumotoら 2000)。農家は、保険として毎年秋播コムギに農薬を散布しているように私には思われる。雪腐病防除には1ha当たり1,340ml, 6,582円の農薬が費やされている（北海道農業技術体系第3版)。北海道の秋播コムギ圃場は10万ha以上あるので、農薬の使用量は膨大なものになる。おそらく北海道は、秋播コムギ雪腐病防除のために農薬を散布している世界で唯一の所である。農薬散布の必要性を考え直す時期に来ているのではなかろうか。

謝 辞

秋播コムギにおける雪腐病の防除費用に関しては、道立中央農試濱村寿史氏及び相馬潤氏よりご教示いただいた。お礼申し上げます。

文 献

- 1) Bruehl GW (1967) : Effect of plant size on resistance to snowmold of winter wheat. Plant Dis. Repr. 51 : 815-819.
- 2) Bruehl GW & Cunfer BM (1971) : Physiologic and environmental factors that affect the severity of snowmold of wheat. Phytopathology 61 : 792-799.
- 3) Burpee LL, Kaye LM, Goulty LG & Lawton MB (1987) : Suppression of grey snow mould on creeping bentgrass by an isolate of *Typhula phacorrhiza*. Plant Dis. 71 : 97-100.
- 4) Hewett PD (1983) : Seed-borne *Gerlachia nivalis* (*Fusarium nivale*) and reduced establishment of winter wheat. Trans. Br. Mycol. Soc. 80 : 185-186.

- 5) 北海道農政部技術普及課 2005. 北海道農業技術体系第3版 442頁
- 6) Hsiang T, Wu C & Cook S (1999) : Residual efficacy of *Typhula phacorrhiza* as a biocontrol agent of grey snow mold on creeping bentgrass. Can. J. Plant Pathol. 21 : 382-387.
- 7) Hsiang T & Cook S (2001) : Effect of *Typhula phacorrhiza* on winter injury in field trials across Canada. Interntl. Turfgrass Soc. Res. J. 9 : 669-673.
- 8) 川上 顕 (2004) / : コムギの雪腐黒色小粒菌核病抵抗性の解析 北海道大学学位論文 203pp.
- 9) 近藤秀雄 (1973) : 牧草地に対する秋施肥に関する研究 第2報 オーチャードグラス草地の早春の生産性に対する秋季の施肥時期の影響 北海道農試報告 107 : 63-72.
- 10) 国井輝男 (1980a) : 上川地方における秋播小麦冬損に関する研究 第2報 越冬前の生育量と冬損, とくに越冬茎歩合との関係 北農 47 (6) 1-12.
- 11) 国井輝男 (1980b) : 上川地方における秋播小麦冬損に関する研究 第3報 施肥量特に基肥窒素の量と冬損について 北農 47 (7) 1-9.
- 12) 国井輝男 (1987) : 上川地方における秋播小麦冬損に関する研究 第7報 雪腐褐色小粒菌核病菌接種による品種間差異の検定 北農 54 (3) 28-39.
- 13) 松本直幸 (1985) : 雪腐病生物防除についての試論 北農 52 (11) 1-11.
- 14) 松本直幸 (1988) : 雪腐小粒菌核病の生物防除 植物防疫 42 : 231-234.
- 15) 松本直幸 (1993) : 微生物利用による積雪下病害防除の可能性—雪腐黒色小粒菌核病を中心に— 農業および園芸 68 : 593-597.
- 16) Matsumoto N (1998) : Biological control of snow mold. In Plant Cold Hardiness, eds Li P & Chen T, pp. 343-350. Plenum, New York.
- 17) 松本直幸 (2009) : 雪腐病 (1) 北農 76 : 143-149.
- 18) 松本直幸 (2010) : 雪腐病 (6) 北農 77 : 249-253.
- 19) Matsumoto N & Tajimi A (1985) : Field survival of sclerotia of *Typhula incarnata* and of *T. ishikariensis* biotype A. Can. J. Bot. 63 : 1126-1128.
- 20) Matsumoto N & Tajimi A (1987) : Bacterial flora associated with the snow mold fungi, *Typhula incarnata* and *T. ishikariensis*. Ann. Phytopath. Soc. Japan 53 : 250-253.
- 21) Matsumoto N & Tajimi A (1992) : Biological control of *Typhula ishikariensis* on perennial ryegrass. Ann. Phytopath. Soc. Japan 58 : 741-751.
- 22) Matsumoto N & Tajimi A (1993) : Effect of cropping history on the population structure of *Typhula incarnata* and *Typhula ishikariensis*. Can. J. Bot. 71 : 1434-1440.
- 23) Matsumoto N, Kawakami A & Izutsu S (2000) : Distribution of *Typhula ishikariensis* biotype A isolates belonging to a predominant mycelial compatibility group. J. Gen. Plant Pathol. 66 : 103-108.
- 24) 能代昌雄・平島利昭 (1974) : 極寒冷地域における放牧草地の維持管理法 IV. 主要イネ科牧草の貯蔵炭水化物蓄積に及ぼす秋の刈取りと施肥の影響 道農試集報 30 : 75-84.
- 25) 大志万浩一 (1996) : ゴルフ場に発生する雪腐黒色小粒菌核病の微生物防除に関する基礎研究 三重大学学位論文 211pp.
- 26) 坂本宣崇・奥村純一 (1973) : 晩秋から早春にかけての牧草の生育特性と肥培管理 第1報 秋期の刈取り時期が翌春の収量に及ぼす影響 道農試集報 28 : 22-32.
- 27) 坂本宣崇・奥村純一 (1974) : 晩秋から早春にかけての牧草の生育特性と肥培管理 II. 秋期の施肥時期が翌春収量に及ぼす影響 道農試集報 30 : 65-74.
- 28) 手塚光明・古明地通孝 (1980) : 天北地方におけるペレニアルライグラスの越冬性と晩秋季収量の品種間差異 北海道立農試集報 44 : 52-61.
- 29) Wu C, Hsiang T, Yang L & Liu LX (1998) : Efficacy of *Typhula phacorrhiza* as a biocontrol agent of grey snow mould of creeping bentgrass. Can. J. Bot. 76 : 1276-1281.
- 30) 山神正弘・奥村純一 (1976) : 晩秋から早春にかけての生育特性と肥培管理(3)Ⅲ 模擬的越冬実験による越冬, 再生過程での施用窒素の動きについて 道農試集報 34 : 41-50.