

特集：テンサイ黒根病

テンサイ黒根病の発生生態と防除

北海道立十勝農業試験場 ^{しみず}清水 ^{もとしげ}基滋・^{ありた}有田 ^{なかとし}敬俊・^{かじやま}梶山 ^{つとむ}努
北海道立中央農業試験場 ^た田 ^{なか}中 ^{ふみ}文 ^お夫

はじめに

テンサイ (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*) は、アカザ科フダンソウ属の2年生植物で、家畜用などを含むビートのなかの砂糖用品種群である。寒冷地作物としてヨーロッパ、北米、アジアなどの中～高緯度の地域で栽培されており、サトウキビと並ぶ重要な甘味資源作物である。我が国でのテンサイの栽培は、1881年ごろから北海道で始まった。昭和の一時期には本州や九州でも冬作物として導入されたが、現在では北海道のみで栽培されている。近年の作付面積は7万ha前後で推移しており、北海道の畑輪作上なくてはならない作物である。

テンサイ黒根病は、我が国では宇井ら(1962)によって初めて報告された。本病は *Aphanomyces cochlioides* DRECHSLER によって引き起こされる土壤病害で、北海道の主に排水不良地や転換畑で多発して問題となる。しかし近年、内部腐敗を伴わない粗皮症状も黒根病の病徴の一つであることが明らかとなり、程度の差はあるものの全道的に発生が確認されている。ここでは、テンサイ黒根病の発生生態に関するこれまでの知見について概略を述べるとともに、防除対策についての最近の研究成果を紹介する。

I 病徴および被害

黒根病の典型的な症状は、主根の側面あるいは先端部に外観黒色の病斑が形成される。病斑の内部は褐色水浸状を呈し、病斑部と健全部は黒褐色の明瞭な境界ができることが多い。病斑は主に6月下旬から7月に形成され、その後も発病に好適な条件が続くと主根の内部まで腐敗するようになる。また、病斑部を中心に根くびれ症状を起こす場合もある。重症個体では、地上部が黄化して萎凋するようになるが、通常は掘り取るまで発病に気づかないことが多い。根部を腐敗させる病害には黒根病のほかに *Rhizoctonia solani* による根腐病があるが、根

腐病では地下部が侵されると同時に葉柄基部も侵されて黒褐変するのに対し、黒根病の場合、腐敗は地下部に限られる。しかし、腐敗が進行した場合には、両者の区別は困難となる。

さらに近年、主根表面の褐変粗皮症が多発して問題となっていたが、本症状から *A. cochlioides* が分離されること(内野ら, 1996a; 渡辺ら, 1996)、*A. cochlioides* に抗菌活性を示す殺菌剤の施用で本症状が軽減されること(内野ら, 1996b)、さらに礫耕やポットでの接種試験により粗皮症状が再現されること(内野・渡辺, 1996; 内野ら, 1997)から、本症状が黒根病の一症状であることが明らかにされた。なお、我が国では黒根病の英名として Black rot を用いていたが、現在はこの粗皮症状も病徴として加え、*Aphanomyces* root rot としている(内野ら, 1996a)。

粗皮症状が黒根病の病徴に加えられたことから、本病の発病調査基準が新たに提案された(表-1)。梶山・田中(2000)は、この発病指数と被害との関係を調べ、発病指数2以下の個体では収量および品質の低下は認められなかったが、内部腐敗を伴う指数3では根中糖分の低下と不純物価の上昇による被害の顕在化を認めた(表-2)。さらに指数4以上の個体では根重も著しく低下したが、これらの個体は実際には圃場で廃棄されるため、指数4以上の個体率は、ほぼ減収率に直結する被害となる。

表-1 テンサイ黒根病の調査基準

発病指数	症状
0	病徴は認められない
1	内部腐敗を伴わない病斑の面積が1/2未満に広がっている
2	内部腐敗を伴わない病斑の面積が1/2以上に広がっている
3	内部腐敗の病斑が明らかに認められる
4	内部腐敗の病斑面積が1/2以上3/4未満に広がっている
5	内部腐敗の病斑面積が3/4以上に広がっているか、または枯死

Ecology and Control of *Aphanomyces* Root Rot of Sugar Beet.
By Motoshige SHIMIZU, Takatoshi ARITA, Tutomu KAJIYAMA and Fumio TANAKA

(キーワード：テンサイ, 黒根病, 発生生態, 防除)

表-2 テンサイ黒根病の発病指数別収量および品質

発病指数	根重 (g/個体)	根中糖分 (%)	糖量 (g/個体)	不純物価 (%)	修正糖分 (%)	修正糖量 (g/個体)
0	790	15.77	126	4.26	13.46	106
1	811	15.77	128	4.35	13.37	108
2	909	15.47	141	4.66	12.95	118
3	900	13.89	132	5.77	11.22	101
4, 5	665	9.55	70	11.84	6.83	45

注) 2 か年平均のデータ。

II 発 生 生 態

病原菌の *A. cochlioides* は、北海道の畑作地帯に広く存在している (宇井, 1962; 宇井・中村, 1963)。本菌は畑作物ではテンサイにのみ感染し、それ以外ではハウレンソウ、雑草のスベリヒユおよびシロザなどに感染する (宇井・中村, 1963)。テンサイやその他の寄主植物がなくても、*A. cochlioides* は卵胞子で長期間にわたり土壌中で生存が可能であり、通常の4年輪作程度では死滅することはない。卵胞子は宿主植物が植えられると発芽して発芽管を伸ばす。発芽管はそのまま遊走子のうとなり、中に1列の一次遊走子を形成する。一次遊走子は遊走子のうから1個ずつ出ると直ちに被のう胞子となり、遊走子のうの先端で集塊を形成する。この被のう胞子から二次遊走子が泳ぎだし、テンサイの根または胚軸に集まって感染が始まる。感染部位ではさらに遊走子が形成され、新たな部位に感染を繰り返す (横沢・国永, 1977)。

A. cochlioides のテンサイへの感染機会は、発芽直後から始まる。生育年齢の異なるテンサイへ本菌を接種して、被害との関係を見ると、若い苗ほど地際部の胚軸に感染して苗立枯病となる割合が高い (宇井・中村, 1963)。しかし、播種後4週間を経た苗では発病率が低く、かつ罹病個体も症状が軽微で、壊死部が脱落して回復するものも認められる。直播栽培ではコーティング資材に薬剤を混入することによって *A. cochlioides* による苗立枯病はかつてほど問題となっていない。一方、ペーパーポット (紙筒) で育苗して畑に定植する移植栽培では、健全な育苗土の使用と薬剤の覆土処理によって苗立枯病対策が行われており、さらに *A. cochlioides* に感染しても重症個体は移植時に取り除かれる。また、感染苗を移植しても根ぐびれ症状を呈するものが多いことから、移植栽培においても黒根病は本圃感染が主体と考えられている (築尾ら, 1982)。*A. cochlioides* は本圃で紙筒内に進入して、主根の両側に縦にはしる側溝に密集し

た側根に感染する。移植後50日頃の紙筒内の菌密度は紙筒外の根圏土壌より高く、側根からの分離率も紙筒内の方が高いことから、主根が十分肥大して紙筒が破り去られるまで *A. cochlioides* は紙筒内の側根に感染を慢性的に繰り返していると考えられる (清水, 1994b)。本菌の紙筒内への侵入および側根への感染は、早い場合は移植後15日目には成立する。連作畑のように菌密度が高い場合には、側根への感染によって初期生育が阻害され、外観的に無病徴でも根重の低下をまねき、これがテンサイの連作障害の一因と考えられている (松崎ら, 1982; 清水, 1994a; 1994b)。一方、内野・渡辺 (1999) は、この側根で増殖した *A. cochlioides* が側溝および主根への二次的な感染源となり得るとし、黒根病の発生につながる主根への感染は側根付近から起こる可能性が高いと述べている。

黒根病の病徴は7月初旬かそれよりやや早い時期から発生するが、初期病斑には粗皮型の病斑と、粗皮症状を伴わない褐色を呈した病斑の2種類が認められている。この2種類の病斑について内野・渡辺 (1999) は、後者はテンサイの生育に伴い拡大して内部腐敗に至るもので、粗皮型の病斑については、内部腐敗の前段として生じる症状ではなく、テンサイの主根への黒根病菌の感染が一度起こったものの進展せず、表皮の褐変のみの段階で治癒したときに根部の肥大に伴って発生する症状と推察している。

A. cochlioides が主根に感染し、黒根病の症状に至るためには、本病の発生に好適な土壤環境が必要と考えられている。築尾ら (1984) の実験によると、黒根病の発病には土壤水分張力が pF 2.0 以下の過湿条件が必要である。しかし、土壤の過湿だけでは発病条件として十分ではなく、平均地温が 20℃ 以上で多発し、平均地温が 15℃ 前後では過湿条件でも発病が少なかったことから、本病の発病には土壤水分とともに土壤温度が密接に関与する (築尾ら, 1986)。また、渡辺 (2002) は帯広市において 1998 ~ 2001 年の4年間にわたり黒根病の発生推

移を調査し、気象要因のうち気温および降水量と本病の発生との関係について解析した。その結果、20℃以上の有効積算温度と月間降水量との積を「黒根気象指数」とした場合、この指数の7月の値と9月中旬の発病程度の間には有意な正の相関が得られるとした。ちなみに近年で黒根病が最も多発した1999年は、7月下旬から8月上旬にかけての集中豪雨や長雨によって、北海道内各地で深刻な被害に見舞われたが、この年が他の多雨年と異なる点は、集中豪雨の前後に異常な高温が続いたことであった。北海道では、夏期の降雨は低温を伴い冷害年になることが多いが、この年は例外的であった。このため、黒根病の発生に最適の条件がそろい、大発生につながったものと考えられる。

III 防 除 対 策

1 薬剤防除

筆者らは、テンサイ黒根病に対する有効薬剤の探索とその施用方法の検討を行った。その結果、供試した薬剤の中では、フルアジナム水和剤の株元散布と苗床灌注処理で比較的安定的な効果が認められた。なお、本病に対する薬剤の効果判定は、発病指数4以上の株率（廃棄株率）や指数3以上の腐敗株率の薬剤無処理区との差で判定を行った。これは、薬剤施用では粗皮症状を完全に防除することが困難なため、発病度で見たときの防除価は低くなることが多いが、収量に影響の少ない粗皮症状に対する防除効果はあまり重要ではなく、黒根病に対する農薬の効果査定では減収に直結する内部腐敗で評価するのが適当との判断からである。フルアジナム水和剤1,000倍液の200 l/10 a 株元散布の薬剤費に見合うテン

サイの根重は10 a 当たり105 kgで、腐敗株率に換算すると1回散布で4.2ポイント、2回散布では8.0ポイント以上腐敗株率が減少すれば薬剤費に見合う効果と判断した。しかし、筆者らの試験では7月以降の施用では防除効果が不十分な例が多かった。株元散布の施用適期について、内野・渡辺（1998）は *A. cochlioides* に対して活性のある殺菌剤を用いて調べ、その結果5月または6月上旬の散布による防除効果が著しく高く、7月以降ではほとんど効果が得られなかったことを報告している。この防除適期が黒根病の初発よりかなり以前にある理由について、内野・渡辺（1999）は、本病の発病にテンサイ生育初期の側根への *A. cochlioides* の感染程度が関係しているためと推察している。これらのことから、フルアジナム水和剤の株元散布は、移植後約40日程度までが有効な施用時期と考えられる。しかし、この株元散布の施用適期は、他作物の植付け作業などの繁忙期と重なることから、作業競合を考慮すると効率的な薬剤防除法とはいえない。

一方、フルアジナム水和剤100倍液の苗床土壌灌注処理は同様の試算によると、腐敗株率が少なくとも1.2ポイント減少すれば薬剤費に見合うものと考えられた。土壌殺菌を行った柵圃場において移植時期と接種時期を変えてテンサイを栽培し、黒根病の発生を比較すると、同一日に移植しても接種時期が早いほうが腐敗株が発生し、逆に同一日に接種しても移植からの期間が短いほうで腐敗株が発生する。すなわち、移植後の感染時期が早いほど内部腐敗を生じやすいものと考えられるが、同様の接種条件でもフルアジナムの苗床灌注処理を行うと内部腐敗の発生が認められないことから、本処理により初

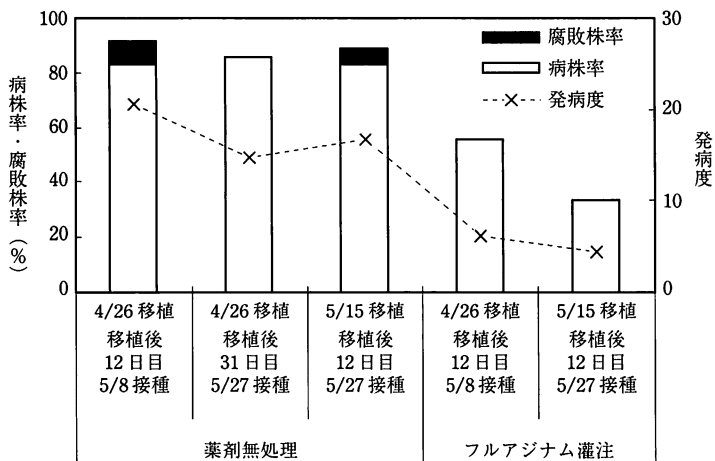


図-1 テンサイの移植時期および *A. cochlioides* の接種時期と黒根病の発病および薬剤灌注の効果（柵試験）

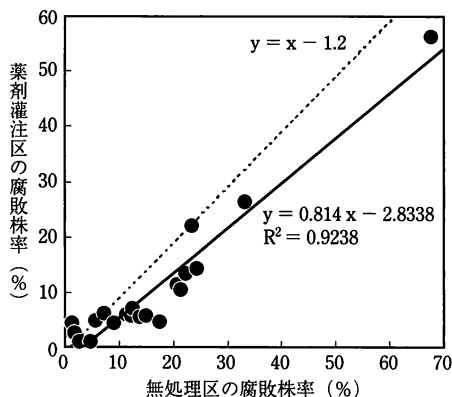


図-2 フルアジナム水和剤の苗床土壌灌注によるテンサイ黒根病に対する防除効果
注) 破線は防除コストに見合う効果の境界で、これより下が有効事例。

期からの感染が抑制されているものと推察される(図-1)。また、筆者が行った本圃における効果試験では、極少発生条件下では効果が判然としない例があるものの、20例中17例で投資に見合う防除効果が認められた(図-2)。以上のように、現在のところ黒根病に対する薬剤防除としては、施用法が省力的である点も考慮するとフルアジナム水和剤 100 倍液の 3 l/m^2 苗床土壌灌注処理が有用と考えられる。ただ、少発生条件では薬剤投資に見合う効果が期待できない場合がある。本施用法は予防的な処理にならざるを得ないので、土壌条件や作付品種の抵抗性から判断して、本病の多発が懸念される場合に選択するなどの判断が必要である。

2 耕種的防除

前述のように黒根病菌は北海道内の畑作土壌に広く分布しているが、輪作畑では土壌中の菌密度も低く、通常では実害を見ることはない。本病は、土壌の高温と過湿という病原菌の活動に最適な条件が整って、初めて主根が侵されて被害を生じる。このため、土壌条件的に透・排水性が不良な畑では、明渠・暗渠の整備、有材心土破壊や客土施工が必要である。一方、本来透水性が良好な畑地でも、プラウ耕やロータリー耕などの機械作業を長年続けると、作土の直下に耕盤層と呼ばれる不透水層が形成されることがあり、これによる排水不良が近年問題となっている。サブソイラーなどによる耕盤層の破壊耕などが透水不良対策に有効であることが示されており、本対策による黒根病の被害低減事例が認められている。

また、石灰資材の施用によって黒根病の被害が抑制される事例が認められており(有田ら、未発表)、その効果は少発生条件では判然としないが、多発条件ほど防除

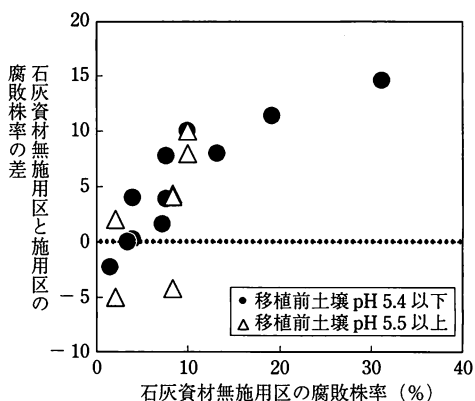


図-3 テンサイ黒根病に対する石灰資材施用の効果

効果が得られる傾向にある(図-3)。また、移植前の土壌 pH が 5.4 以下の圃場と pH 5.5 以上の圃場とで比較すると、前者の方で効果が安定していた。窒素施用量が多いテンサイでは、硝酸化成によって株間の pH が 7 月までに 0.5 ~ 0.7 程度低下し、低 pH 圃場では土壌中のアルミニウムが溶出し始めてテンサイの生育を阻害してしまう。このため、pH 5.5 以下の圃場では pH 矯正が基本とされているが、このような低 pH 圃場においては本病対策としても石灰施用は効果が期待できると考えられる。

さらに、施肥量との関係では、標準の 1.5 倍多肥栽培にすると被害が増加し、その結果増肥しても最終的な収量は標準と同等か劣る傾向にあった。

3 抵抗性品種

黒根病の発生が品種によって異なることは、我が国でも報告されている(築尾ら、1992; 築尾・杉本、1993; 藤井ら、1983)。しかし、本病に対する抵抗性品種利用は、これまで積極的に取り組まれてこなかった。これは前述のように、本病が一部の転換畑などにおける突発性病害と認識されてきたためである。さらに、現在の主要品種は、本病対策があまり重要ではないヨーロッパの育成品種であるため、本病抵抗性が付与されていないものが主体となっていたものと考えられる。

筆者らは、品種、薬剤苗床灌注および石灰資材施用について、それぞれ単独あるいは組み合わせたときの黒根病に対する防除効果を調べた(有田ら、未発表)。その結果、これらの防除対策の中で最も安定した高い効果が認められたのは抵抗性品種の利用であり、本病対策として最も有効と考えられた。一方、薬剤苗床灌注と石灰施用は、少発生条件ではその効果が判然とせず、抵抗性中以上の品種との組み合わせではメリットが少なかった。したがって、薬剤苗床灌注と石灰施用は抵抗性やや弱以

下の品種を選択する場合に施すのが有効と考えられる。

おわりに

以上、テンサイの黒根病の発生生態と防除について概略を述べた。本病防除のためには、総合的な対策が必要であるが、価格支持政策が見直され、これまで以上に生産コストの削減を迫られるなかで抵抗性品種の要望はさらに高まるであろう。近年、テンサイ黒根病圃場検定法の実施マニュアルが作成され、品種の抵抗性に関しては効率的で安定的な評価が可能となった。今後、本病抵抗性優良品種のさらなる導入と普及が期待される。

引用文献

1) 有田敬俊ら (2006): てん菜研究会報 48(投稿中)。

- 2) 築尾嘉章・杉本利哉 (1983): 北農試研究資料 22: 35 ~ 39.
- 3) ————ら (1982): てん菜研究会報 24: 157 ~ 162.
- 4) ————ら (1984): 日植病報 50: 399 ~ 400 (講要).
- 5) ————ら (1986): 同上 52: 142 (講要).
- 6) 藤井勝敏ら (1983): てん菜研究会報 25: 27 ~ 34.
- 7) 梶山 努・田中文夫 (2000): 同上 42: 59 ~ 64.
- 8) 松崎康範ら (1982): 同上 24: 115 ~ 123.
- 9) 清水基滋 (1994 a): 北海道立農試集報 67: 55 ~ 63.
- 10) ———— (1994 b): 同上 67: 65 ~ 71.
- 11) 内野浩克・渡辺英樹 (1996): てん菜研究会報 38: 85 ~ 91.
- 12) ————ら (1998): 同上 40: 85 ~ 91.
- 13) ————ら (1999): 同上 41: 67 ~ 72.
- 14) ————ら (1996 a): 日植病報 62: 265 (講要).
- 15) ————ら (1996 b): てん菜研究会報 38: 79 ~ 84.
- 16) ————ら (1997): 同上 39: 94 ~ 100.
- 17) 宇井格生 (1962): 北大農邦文紀要 4: 50 ~ 65.
- 18) ————ら・中村重治 (1963): てん菜研究会報 3: 78 ~ 95.
- 19) 渡辺英樹 (2002): 同上 44: 82 ~ 88.
- 20) ————ら (1996): 日植病報 62: 225.
- 21) 横沢菱三・国永史朗 (1977): 日植病報 43: 501 ~ 507.

新しく登録された農薬 (18.10.1 ~ 10.31)

掲載は、**種類名**、登録番号: **商品名** (製造者又は輸入者) 登録年月日、有効成分: 含有量、**対象作物**: 対象病害虫: 使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、**適用作物**、適用雑草等を記載。(登録番号: 21797 ~ 21824) 下線付きは新規成分。

「殺虫剤」

●イミダクロプリド液剤

21800: アースガーデン C (アース製薬) 2006/10/4

イミダクロプリド: 0.0050%

花き類・観葉植物: アブラムシ類: 発生初期

ポインセチア: タバココナジラミ: 発生初期

つつじ: ツツジゲンバイ: 発生初期

●CYAP 水和剤

21806: 協友サイアノックス水和剤 (協友アグリ) 2006/10/4
CYAP: 40.0%

りんご: アブラムシ類, キンモンホソガ, シンクイムシ類,
ハマキムシ類, クワコナカイガラムシ: 収穫 30 日前まで

もも: シンクイムシ類, ハマキムシ類, アブラムシ類, モモ
ハモグリガ, カイガラムシ類: 収穫 14 日前まで

ネクタリン: シンクイムシ類, ハマキムシ類, アブラムシ類,
モモハモグリガ, カイガラムシ類: 収穫 21 日前まで

なし (無袋栽培): シンクイムシ類, ハマキムシ類, アブラ
ムシ類, クワコナカイガラムシ: 収穫 45 日前まで

なし (有袋栽培): シンクイムシ類, ハマキムシ類, アブラ
ムシ類, クワコナカイガラムシ: 収穫 7 日前まで

かき: フジコナカイガラムシ, カキノヘタムシガ, カメムシ
類: 収穫 45 日前まで

すもも: アブラムシ類, シンクイムシ類: 収穫 21 日前まで

ぶどう: ブドウスカシバ, フタテンヒメヨコバイ, ハマキム
シ類: 収穫 21 日前まで

おうとう: ケムシ類: 収穫 14 日前まで

みかん: コナカイガラムシ類: 収穫 7 日前まで

マルメロ: シンクイムシ類, アブラムシ類: 収穫 45 日前ま
で

●CYAP 乳剤

21807: 協友サイアノックス乳剤 (協友アグリ) 2006/10/4

CYAP: 50.0%

キャベツ: アオムシ, ヨトウムシ (若~中齢幼虫), タマナ
ギンウワバ, アブラムシ類, コナガ, キスジノミハムシ成
虫: 収穫 21 日前まで

はくさい: アオムシ, ヨトウムシ (若~中齢幼虫), タマナ
ギンウワバ, アブラムシ類, コナガ, キスジノミハムシ成
虫: 収穫 14 日前まで

だいこん: アオムシ, ヨトウムシ (若~中齢幼虫), タマナ
ギンウワバ, アブラムシ類, コナガ, キスジノミハムシ成
虫: 収穫 14 日前まで

きゅうり: アブラムシ類, アザミウマ類: 収穫前日まで

なす: テントウムシダマシ: 収穫前日まで

ねぎ: アザミウマ類: 収穫 21 日前まで

たまねぎ: アザミウマ類: 収穫 14 日前まで

いんげんまめ: マメシンクイガ, フキノメイガ, インゲンテ
ントウ: 収穫 7 日前まで

だいず: マメシンクイガ, フキノメイガ: 収穫 7 日前まで

あずき: マメシンクイガ, フキノメイガ: 収穫 21 日前まで

ばら: アブラムシ類: —

きく: アブラムシ類: —

(9 ページに続く)