

植物防疫基礎講座：土壤病害の見分け方(5)

根こぶ病

独立行政法人農業環境技術研究所

つし
對ま
馬せい
誠や
也

農業環境インベントリーセンター微生物分類研究室

はじめに

アブラナ科野菜根こぶ病菌は1877年にWoroninにより最初に報告され、その後本病の発病機構や防除法などに関する多くの研究がなされた。しかし、本病原菌が培養困難な絶対寄生菌で扱い難いとともに、一方で、環境に対する配慮等から新たな防除法を組み合わせた防除対策が求められているなど(Dixon, 1999)、国の内外で、病害の診断、土壤菌密度の計測および土壤診断等に基づいた総合的な防除法の開発が進められている。ここでは、特に防除の基本となる根こぶ病の病徴について述べるとともに、発病試験を行う際に必要な休眠胞子の分離法と接種法を中心に紹介したい。

I 生活環

根こぶ病菌は休眠胞子の状態で土壤中に長期間生存している。この休眠胞子は宿主の根毛に侵入して一次変形体を形成し、成熟すると二次遊走子のうとなる。二次遊走子のうからは二次遊走子が放出されるが、この二次遊走子は2個融合して主根や側根に侵入すると推定されている。これらは細胞内で発育して多核の二次変形体となるが、この時期に根こぶが形成される。二次変形体の中では核融合(2n)が行われた後、減数分裂を経て一次遊走子のうが多数作られ、根が腐敗すると同時に一次遊走子のうが土壤中に放出される。一次遊走子のう、すなわち休眠胞子は球形～類球形で、直径は平均3.2μmである(池上ら, 1996; 勝本, 1997)。

II 発生様相と病徴

1 発生している作物

根こぶ病菌はアブラナ科植物61種300種以上に根こぶをつくりといわれている。国内では、1977年に全国的に行われたアンケート調査によると、ハクサイ、カブなど、24種類の作物で発生が確認されている(池上, 1978)。その後、近畿中国地域で行われたアンケート調査結果では、ハクサイ、キャベツ、ブロッコリー、コマ

ツナ、ミズナ、ミブナ、チンゲンサイ、大阪シロナ、ヒロシマナ、大カブ、コカブ、赤カブ、ヒノナ、スグキナおよびワサビの15種類で発生が確認され(岩波ら, 1993)、最近では、山形県でセイサイに、福島県ではダイコン(堀越, 2002)に根こぶ病の発生が確認されている。

その他、雑草では国内でナズナ、イヌガラシ、スカシタゴボウ、タネツケバナ、オオバタネツケバナの5種が報告されている(田中, 1996)。これらの根こぶ由来の休眠胞子はアブラナ科作物の根こぶ病の伝染源になる可能性があることから、アブラナ科野菜の作付け前後における雑草での本病の発生を注意しておく必要がある。ちなみに、筆者らが所属していた元東北農業試験場畑地利用部の圃場には、ナズナ、イヌガラシ、スカシタゴボウが自生しており、その中でもナズナには根こぶが多発していることや、その根こぶ由来の休眠胞子がハクサイに病原性を有することが確認されている(對馬, 未発表)。

2 発生時期

本病の発生時期は春から秋にわたるが、春作では播種後15～20日目、秋作では20～25日目に根こぶが形成され、こぶの肥大は30日目以降である。また、一般に、秋播き栽培においては、早播きによる被害が著しい(池上, 1992; 田村, 1977; 内記, 1987)。こぶの形成時期が記述によってやや異なるのは、本病の発生が、温度、土壤水分、土壤pH、土質、日照、土壤中の病原菌密度、および休眠胞子の病原力(内記, 1987; 田中, 1996)に左右されるからである。たとえば、日長が11.5時間以下では発病しにくく(田村, 1977)、平均気温が13～14℃以上のとき発病するが、夏期高温時には発病が少ない(本橋ら, 1957)。

3 病徴

(1) 根こぶ病の病徴

本病の最大の特徴は、根にこぶをつくること、病徴はあるが標徴は認められないことである。一般的には、本病にかかった作物では、根にこぶを生じ、その進展に伴って地上部にも症状が現れる。病状の軽い場合は株を引き抜いて見ると、小形のこぶが認められる。病状が進行すると、植物体の地上部は日中に萎凋するが、夜間になると回復する。さらに、進行すると茎葉の生長は衰え、

Clubroot disease. By Seiya TSUSHIMA

(キーワード: 根こぶ病, 病徴)

退色して淡黄色となり、萎縮し、ついには枯死する(池上ら, 1996)。被害根は褐変して悪臭をはなつため、圃場全体に発病が拡大した場合、悪臭がする。

こぶの形状は宿主作物によって異なる。たとえば、ハクサイとツケナ類は主根が異常に肥大し、これが側根に及ぶとその重さは300~500gになり、このようなこぶは株元の周りに盛り上がって見える。ハクサイは本葉4~5枚ごろから結球開始期にかけて病状の進行が早く、多くは結球しない(池上ら, 1996)。ただし、筆者らの調査では、しばしば主根は健全で側根のみに握りこぶし大の根こぶが形成されているものもあり、このような場合、地上部の生育への影響はほとんど見られなかった。

キャベツも主根と側根にこぶが発生し、ハクサイ等と同様の大小不同の根こぶが認められる。セル育苗した苗では、セルトレイ内の部分は主根や側根の区別がつきにくい、その部分にもこぶの発生が認められる。さらにそこからのびた根系にも大小不同の根こぶが発生する。根の症状が激しい場合には結球せず、症状が軽い場合でも地上部は生育が劣り結球も小さくなり商品価値が著しく低下する。

可食部が根であるカブとダイコンは、発病した場合商品価値を失うことが多い。国内では、ダイコンはカブに比べ抵抗的なものが多い。カブでは、こぶは一般に、白色~淡褐色、大形でその表面は滑らかでしわを生ずることは少ない。根部に発生すると地上部の生育は悪くなり、播種後まもなく罹病すると萎縮して奇形になり、土壌水分の少ない時は日中萎れる(清水, 1998)。カブの地下部の可食部は胚軸と根とが肥大したもので、その根の部位にこぶを生じ、その下部の主根と側根にもこぶができる。こぶが手指状や足指状になることもある(池上ら, 1996)。ダイコンは地上部に症状を認めるにくい。ダイコンでは肥大可食部に亀裂を生じ、この部位に小形のこぶが見られるが、早期に黒変して病状の進行は限られる(池上ら, 1996)。しかし最近、福島県の圃場でダイコンが100%発病し、地上部全体がしおれているのが報告された(堀越・平子, 2002)。ダイコンは気温の上昇に伴う葉の萎れと主根および側根への根こぶ形成が見られた(図-1)。また、主根の先端のみにこぶができたカブは出荷できるものもある(梅林, 私信)。

果菜類であるブロッコリーでも、ハクサイ、キャベツ同様に、主根と側根に大小不同の根こぶの発生が認められる。早い時期に発生した場合には、地上部の生育が著しく抑制され、根張りが弱くなるため、容易に引き抜くことができる(図-2)。しかし、やや抵抗的な品種などでは、地上部の生育がやや低下する程度で可食部の収量

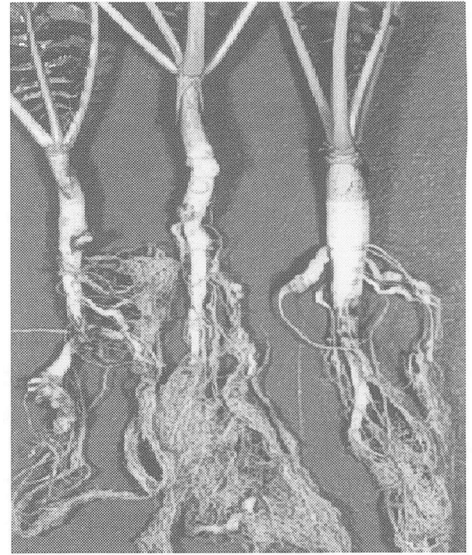


図-1 ダイコンに発生した根こぶ病(品種‘福天下’)

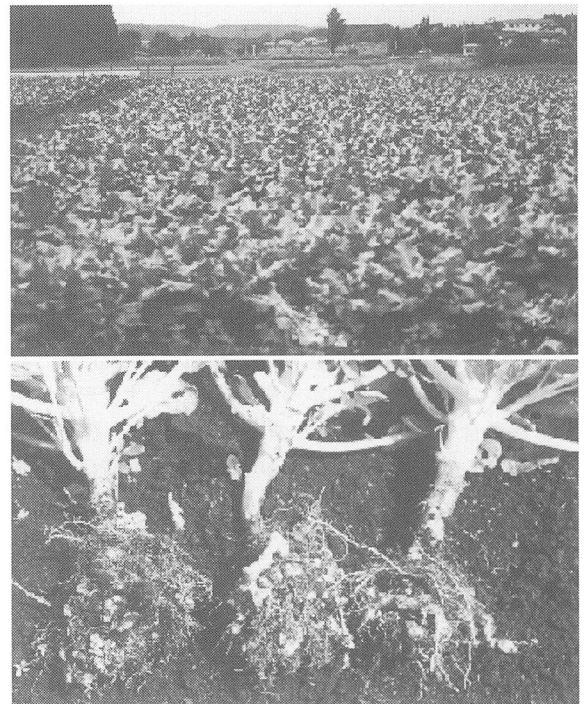


図-2 ブロッコリー根こぶ病(福島県白河市農家圃場)
上図: 圃場全体(発病率100%), 下図: 根こぶ症状。

への影響はハクサイ、キャベツに比べ少ない。筆者らの試験結果では、品種にもよるが圃場の発病度(後述)が中程度(50程度)の場合、その圃場からの出荷率は、ハクサイ、キャベツに比べかなり高い傾向が認められる(対馬ら, 未発表)。カリフラワーでは、罹病した株の地

上部は、晴天の日中しおれ、朝夕には回復する症状をくり返して、生育不良となる。根部は膨らみ、大小不同のこぶを生ずる。重症の株では根は腐敗して、容易に引き抜ける。その他、ワサビでは、主根や側根に大小のこぶを生じる。こぶは最初白色、平滑で、光沢を有するが、のちに黒変し腐敗する。主根にこぶを生じると、植物体は生育が不良となり、萎凋しやすく、しばしば枯死する(田中, 1998)。なお、キャベツでは、温室条件下の汚染土壌で生育した場合、全身感染がおり、我が国でも茎こぶや葉こぶが報告されているようであるが、今後詳細に調べる必要がある(池上, 1978)と報告されている。

(2) 類似症状

一般的には、ネコブセンチュウによってできるこぶは小さいが、この病気によってできるこぶは大型なので区別できるとする報告(本橋ら, 1987; 池上ら, 1996; 清水, 1998)が多い。しかし、発病初期や根こぶが小さい時には、他の病害等と区別しにくいことも予想されるので、他の類似症状について知っておくことも重要である。ここでは、ダイコンそうか病と、ネコブセンチュウ類による症状について紹介したい。

ダイコンそうか病は、根の表面がこぶ状ないしそうか状になるとして1962年に井上らによって報告された。本病は、*Streptomyces* sp. によるが、本病の場合、内部の組織および維管束部の異常はないとされている。

次にネコブセンチュウ類であるが、近岡(1987)によると、ネコブセンチュウ類が寄生した場合、定植苗や本畑での間引きのときに根を調べると、細い根がふくらみ、こぶができており、さらに収穫期には、無数のこぶが見られ、根全体がこぶ状となっていることもある。また、サツマイモネコブセンチュウによるダイコンの根こぶ症状も報告されている(荒城ら, 1991)。この場合、被害が著しい時は根部が上から10 cm 程の部分でいくつも分岐し、根こぶが生じる。被害がほとんど見られない場合も、側根や先端部に根こぶが着生しているものもある。この場合、軽度のものでは、先端近くで若干の分岐が認められ、さらに被害が大きいと根長が短くなり大きな分岐が認められる。さらに激しくなると、根長が著しく短く多数の分岐が認められ、根こぶの中からは成熟した雌成虫が回収される。

III 根こぶ組織からの分離

1 分離方法

単に、根こぶ内の休眠孢子の有無を確認したい時は、こぶの組織の一部をかき取って少量の水を加えて軽くすりつぶし、エッペンドルフチューブ内で等量の染色に浸

漬後顕微鏡観察することで容易に多数の休眠孢子を確認できる。しかし、その後の接種試験等を考えて大量に休眠孢子を回収したい時には、根こぶを水道水で洗い、洗淨して表面の泥を落とした後、殺菌水を加えて「おろし金」ですり下ろすか、細かく切ってミキサーにかける。得られた磨砕液をガーゼ8枚でろ過する。このとき、あまり磨砕液に泥等が混じっている時には、ガーゼ2~4枚で荒ごしするとよい。懸濁液は、2,500 rpm, 5分間遠心分離にかけ、その上清を捨てる。この操作を3~4回反復した後、沈殿物を殺菌水に懸濁する(高橋, 1992, 1995)。

2 根こぶから回収される休眠孢子的染色法と休眠孢子量

休眠孢子的懸濁液ができたら、接種等を考えて通常休眠孢子数を計測する。休眠孢子的計測は、蛍光色素のカルコフルオール・ホワイト M 2 R 水溶液(100 $\mu\text{g}/\text{ml}$)を懸濁液に等量加えて血球計算盤に滴下して落写型蛍光顕微鏡(UV 励起)で計測する。休眠孢子は球形で青色の蛍光を発するので容易に識別することができる(高橋, 1992, 1995)。

回収した休眠孢子を再び接種試験等に利用する場合には、回収に当たって次のことに留意する必要がある。まず、根こぶの大きさ(あるいは発病程度)と回収される休眠孢子量との関係を知る必要がある。筆者らが行った調査では、主根の半分以上に根こぶがついたもの(発病程度3, 図-3)では、握りこぶし大の根こぶ当たり約 10^9 ~ 10^{11} 個の休眠孢子が回収されている。次に、一般に、若いこぶから回収された休眠孢子は成熟した根こぶから回収された休眠孢子より病原力が低いため、安定した発病を再現したい時などは、同一圃場内の種々の病徴を示す根こぶから休眠孢子を回収し、それらを混ぜて使用す

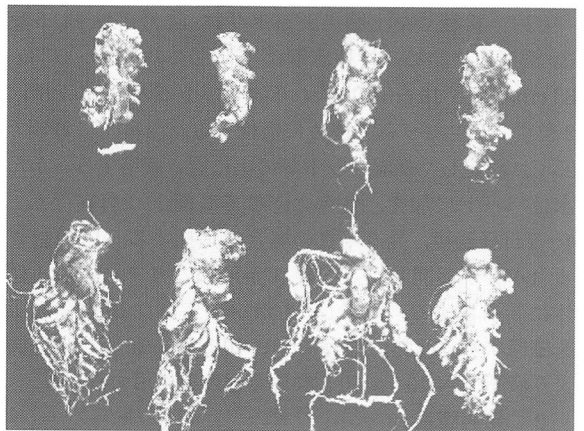


図-3 ハクサイ根こぶ病の根の病徴(発病程度3)

ることが重要である。

IV 接種方法

すでにこれまで多くの接種方法が報告されているので、そちらを参照されたい(高橋, 1992; 1995)。ここでは、発病程度をある程度調整したい場合には、予め休眠孢子密度と発病の関係を調べておくことが重要であることから、発病試験、土壌診断等に対応するために筆者らが作成した Dose-response curve 診断法(DRC法)(TSUSHIMA, 1999; 對馬, 2000)とそこで用いている接種法(MURAKAMI, 2002)を紹介したい。

DRC診断法は、「対象圃場の土壌」、「栽培品種」、「対象圃場から回収した休眠孢子」を用いて、菌密度-発病度曲線(DRC)を求め、そのDRCパターンから根こぶ病の発生を予測し、防除支援システムの中で活用することを目的として作られたものである。本法は、誰もがDRCを求めることができ、かつ得られたDRC情報を共有できるようにするため、接種法を簡便にするとともに、イキュベータ等ではなく温室試験である程度圃場の発生程度を推定できるものである。以下に、根こぶ病マニュアルの中の接種法および発病調査法を示す。なお、DRCの活用については、マニュアルを参照されたい(村上, 2003 a, b)

1 供試汚染土壌の調製と植物の栽培

(1) 圃場より土壌を採取し、5 mmのふるいを通す。10⁶個休眠孢子/g土壌を調製する場合、接種する懸濁液の濃度を4×10⁶(⁸⁺¹)個休眠孢子/mlとし、接種量は土壌1 kg当たり懸濁液25 mlとする。コンテナ(60×40 cm)に入れた土壌を移植ごとで攪拌しながら、該当する根こぶ病菌懸濁液を霧吹きで噴霧接種し、0~10⁶個/g土壌の汚染土壌を作成する。その際、接種菌濃度の低い土壌から調製する。

(2) 接種した土壌を硬質ポリ鉢(4号ポット, 5反復/濃度)に詰め、接種濃度ごとに別々のバット(33×33 cm, 高さ10 cm)に入れる。ポットごとに13か所、2粒ずつピンセットで浅めに播種する。温室内において25°Cに設定した保温マット等の上に置き栽培する。かん水はバットに加え、生育に応じて底面より適宜行う。4~5日経過後、発芽不良の場合は追播する。10日目ごろ(本葉が展開したころ)、1か所当たりそれぞれ1個体に間引きする。ただし、1ポット当たり10個体以上を確保する。追肥は生育に応じ10日目、20日目に底面より液肥でN 10 kg/10 a換算量程度を施用する。

2 発病調査

(1) 病調査は播種後35~40日目に、植物体をポッ

トから土壌ごと取り、水中で根を傷めないように丁寧に洗浄した後、以下の基準に従って発病程度を調査する。

(2) 発病度はポットごとに以下の式により算出する。

$$\text{発病度} = (1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3) / (3 \times N) \times 100$$

n_i: 発病程度の区分がiの個体数, N: 全個体数

発病程度区分 発病状況

- | | |
|---|----------------|
| 1 | 側根のみに根こぶあり |
| 2 | 主根の50%未満に根こぶあり |
| 3 | 根の50%以上に根こぶあり |

おわりに

以上、根こぶ病の病徴を中心に、診断のために必要と思われる休眠孢子分離法と接種法を述べてきた。しかし、防除を考えた場合には、これまでの多数のDRCデータを見ると、明らかに菌量と発病の関係は、作物、土壌等によって異なっていることが分かってきた。また、同一発病程度であっても同一作物内でも品種によって収量(出荷量)は異なるが、特に出荷量は作物が異なると著しく異なってくるため、防除に際しては一度対象農家、地域でDRCを求めることが重要と思われる。

引用文献

- 1) 荒木雅昭・飯塚隆治(1991): 日本線虫学会報 21: 53~54.
- 2) 近岡一郎(1987): 原色野菜病害虫百科-診断と防除-1, 農文協: 201~207.
- 3) DIXON, G. R. (1999): Proceedings of the 1998 International clubroot study meeting: 9~10.
- 4) 堀越紀夫・平子喜一(2002): 北日本病虫研報 53: 58~60.
- 5) 池上八郎(1978): 植物防疫 32: 7~15.
- 6) ———(1992): 土と生物 39: 1~10.
- 7) ———ら(1996): 新編植物病原菌類解説, 養賢堂, 東京: 47~53.
- 8) 井上義孝・駒田 旦(1962): 日植病報 27: 68.
- 9) 岩波 壽ら(1993): 中国農研資料 21: 133~159.
- 10) 勝本 謙(1997): 農業時代 175号: 6~8.
- 11) 本橋精一ら(1957): 東京都農試研報 2: 63~91.
- 12) ———・阿部善三郎(1987): 原色野菜病害虫百科-診断と防除-1, 農文協: 21~26.
- 13) MURAKAMI, H. et al. (2002): Soil. Sci. Plant Nutr. 48: 421~427.
- 14) 村上弘治(2003 a) アブラナ科野菜根こぶ病総合防除マニュアル, p. 1~38.
- 15) ———(2003 b): アブラナ科野菜根こぶ病DRCデータ集, p. 1~30.
- 16) 内記 隆(1987): 土と微生物 29: 25~39.
- 17) 清水寛二(1998): 日本植物病害大事典, 全農協, pp. 339.
- 18) ———(1998): 同上, 全農協, pp. 341~342.
- 19) 高橋賢司(1992): 土壌微生物実験法, 養賢堂, 東京, pp. 98~110.
- 20) ———(1995): 作物病原菌研究技法の基礎, 日植防協, 東京: 282~284.
- 21) 田村 実・竹谷宏二(1977): 石川農試研報 9: 1~26.
- 22) 田中秀平(1996): 植物防疫 50: 281~284.
- 23) ———(1998): 日本植物病害大事典, 全農協, pp. 369.
- 24) TSUSHIMA, S. (1999): Proceedings of the 1998 International clubroot study meeting: 27~28.
- 25) 對馬誠也(2000): 日本農業学会誌 25: 296~299.