

北海道におけるダイコン萎黄病と病原菌*

石井 忠雄** 谷井 昭夫***

Radish Yellow and Its Pathogen in Hokkaido

Tadao ISHII and Akio TANI

昭和47年、著者の1人石井は北海道広島町においてダイコンの生育障害を見出した。症状は茎葉部が下葉から黄化し、根部は導管部が黒褐色に変色して、一見ホウ素欠乏に類似する。しかしホウ素などの微量要素を土壤に施用しても、本生育障害は回避されず、クロールピクリンによる土壤殺菌に著しい障害回避の効果が認められた。また変色した導管部からは *Fusarium* 菌が容易に分離されて、これの接種試験によって同じ症状が再現され、同一菌が再分離された。この菌の形態は、菌糸は白色綿毛状で隔膜を有し、小型分生胞子は卵形で、短担子梗上に擬頭状を呈して多数形成され、大型分生胞子は三日月形を呈し、1~3個の隔膜を有して、その先端は鋭いクチバン状を呈する。接種試験の結果、ダイコンのみに強い病原性を示した。以上の結果から、本生育障害は *Fusarium oxysporum* (Schl.) SNYD. et HANS. f. *raphani* KEND. et SNYD. に起因するダイコンの萎黄病と同定された。

I 緒 言

昭和47年に筆者の1人石井は、野菜栽培地土壤の微量要素欠乏について、広島町と恵庭市において現地調査を行なったが、広島町においてダイコンに1種の生育障害を発見した。両地区は一般に土壤の苦土およびホウ素含量が低く、広島町でのダイコンの生育障害は、地上部茎葉が下葉から黄化し、地下部は根部肉質部が褐色〜黒色に変色するなどの症状から、ホウ素欠乏症の疑いがもたれた。昭和48年に微量要素施用の現地試験を実施したが、それによっても本症状の発現を防止できず、クロールピクリンによる土壤殺菌に高い防止効果を認めた。したがって、本症状は土壤病原菌に由来する病害である可能性が考えられたので、病理学的検討を加えた結果、*Fusarium oxysporum* (Schl.) SNYD. et HANS. f. *raphani* KEND. et SNYD. によ

るダイコンの萎黄病であることを認めたので、その結果を報告する。

本病はわが国では昭和30年に和歌山県において最初にその発生が認められ⁸⁾、その後各地のダイコン栽培地で発生が報告されている^{2,9,12)}。

本道においては、昭和36年に成田ら⁹⁾が札幌市新琴似町においてその発生を認め、本病と線虫との関係について報告しているが、病原菌の同定は行なわれていない。

本研究の遂行にあたり、指導と助言をいただいた北海道立中央農業試験場病虫部・高桑亮部長、同病理科・斎藤泉科長、田村修研究職員、北海道農業試験場牧草第3研究室・荒木隆男室長に心から謝意を表する。

II 障害の発生状況

1 発生ほ場の概況

広島町は札幌市近郊に位置し、道央都市圏を市場として露地野菜を生産している。耕地面積1,800haのうち野菜の作付面積は300haを占め、近年産地指定を受けて大きく飛躍してきた。指定作物はダイコン、ハクサイ、キャベツ、ニンジンであるが、このなかでダイコンは野菜作付面積の35%を占めて、最も多く栽培されている。地域別にみると、夕張川の沖積地帯は

1975年11月20日受理

* 本報の概要は1974年度日本植物病理学会北海道部会で発表した。

** 北海道立中央農業試験場 夕張郡長沼町

*** 同上 (現北海道立十勝農業試験場 河西郡芽室町)

稲作が行なわれ、野菜類は火山灰で覆われた丘陵地帯で栽培されており、特に大曲、輪厚地区ではダイコンの占める割合が高い。本生育障害はこの大曲、輪厚において各1戸の農家は場で発生が認められたもので、発生は場ではいずれもダイコンが15年以上の年数にわたって、ほとんど連作にちかい状態で栽培されていた。他の周囲の農家は場ではダイコンの栽培歴が浅く、一部で5～6年前後の連作畑もあるが、多くは豆類、馬鈴薯、スイートコーンなどを組み入れた輪作が行なわれており、障害の発生はみられない。以上のように本生育障害はダイコンの作付歴および作付頻度の高い場で発生している。また、は場での発生分布は、局所的には坪枯れ状に発生しているが、全体的にみると均一な分布を示している。

2 症 状

本生育障害はダイコンの全生育期間にわたって発生する。発芽後間もなく障害を受けたものでは、根内部が黒褐色に変色し、地上部はあまり黄化することなく青枯状を呈して枯死する。根部が肥大した生育中期に障害を受けたものでは、初め皮層直下の導管部が黒褐色に変色し、それが隣接する導管部にも及んで輪状の変色部をつくるが、症状が進展すると内部に向かって放射状に変色する。根部が障害を受けると地上部は下葉から黄化するが、根部の片側導管だけが侵されることがあり、この場合根部は侵された側に彎曲し、地上部では対応する同じ側の葉のみが黄化する。症状は長

期にわたって進展し、地上部は下葉から黄化するとともに、生育は著しく抑制され、症状の激しいものは芯葉まで黄化し、完全に枯死にいたる。根の外観はロウ白色を呈し、柔軟性を失って折れやすくなる。生育後期に障害を受けたものは被害の程度が軽く、一部の導管部のみが変色し、根部、茎葉部とも外観上は健全なものほとんど見分けがつかない。

III 生育障害の防止効果に関する試験

1 試験方法

本生育障害は、その症状に根部肉質部が黒褐色に変色する特徴があることから、ホウ素欠乏の疑いがもたれたので、昭和48年に現地大曲地区の障害発生は場でその防止試験を実施した。土壌は腐植に富む火山灰土壌（黒色火山性土）で、土性は壤土、地形は波状性台地である。Table 1に土壌の化学性を示したが、可給態ホウ素含量は作土で0.18 ppmと非常に低い。試験内容をTable 2に示したが、ホウ素を含む微量要素対策区のほかに、土壌病害の可能性も考えられたので、薬剤による土壌殺菌区も設けた。土壌殺菌にはクロールピクリンを用い、5月11日に土壌へ注入した。注入量は当初3 ml/30×30 cm²を目標として行なったが、注入器の調整が不調で、実際には6 mlの注入量となった。注入後土壌表面をビニールで1週間被覆したのち、ビニールを除いてガス抜きを3日間行なって耕起し、ダイコンを播種した。しかしクロールピクリンに

Table 1 Chemical properties of experiment field soil

Depth (cm)	pH		CEC (me/100 g)	Exchangable base (mg/100 g)			Available B(ppm)	P ₂ O ₅ absorption coefficient	Available P ₂ O ₅ (Truog—P ₂ O ₅) (mg/100 g)
	H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O			
0～27	5.3	4.5	26	136	20	15	0.18	1,550	7
27～50	5.5	4.9	24	58	19	27	0.04	2,125	0

Table 2 Treatment of trace element fertilizers and fungicide to soil

Treatment	Applied material volume (kg/10 a)			
	Sodium borate	Magnesium sulfate	Lime stone meal	Fritted trace element
1 Control				
2 B	5			
3 B+Mg	5	80		
4 B+Mg+Ca	5	80	400	
5 F・T・E				10
6 Sterilization*				

* Chloropicrin was injected into the soil at the rate of 6 ml/30×30 cm² and depth of 15—20 cm, and vinyl film was covered over the soil.

よる葉害のため発芽が皆無であったので、再度耕起してガス抜きを行ない、6月20日に再播した。供試品種は美濃早生ダイコンで、収穫期まで栽培した。

2 試験結果

試験結果はTable 3に示すとおりで、無処理区では生育途中で枯死するものが多く、欠株率は54%にも達した。また枯死しないまでも根部の導管が黒褐色に変色したものが17%あり、それらを合わせると71%の高い障害発生率であった。一方、微量要素施用の各区の欠株率は約60%に達し、導管部の黒褐色に変色したものは10~11%で、両者を合わせると無処理区と同じ70%前後の障害発生率となり、微量要素添加による障害防止効果はほとんど認められなかった。これ

Table 3 Result of application test of trace element fertilizers and fungicide in field

Treatment	Percentage of damaged plants*		
	Total	Died out	Root vascular discoloration
1 Control	71	54	17
2 B	73	62	11
3 B+Mg	71	60	11
4 B+Mg+Ca	72	61	11
5 F・T・E	75	65	10
6 Sterilization	19	9	10

* Determinated at harvesting time

Table 4 Host range and pathogenicity of the causal *Fusarium*

Crops	Inoculated soil		Control	
	Number of plants	Percentage of diseased plants infected*	Number of plants	Percentage of diseased plants infected*
Radish: (Tokinashi daikon)	40	100	40	0
Chinese cabbage: (Hibari)	27	0	9	0
Cabbage: (Ume)	20	0	9	0
Turnip: (Hatsunishiki)	32	0	9	0
Tomato: (Houkan nigo)	24	0	8	0
Egg plant: (Manryo)	15	0	15	0
Carrot: (Gosun ningin)	16	0	16	0
Onion: (Sappo ki)	24	0	—	—

* Determinated by root discoloration when transected at harvesting time

に対して、土壤殺菌区では欠株率が9%と著しく低下し、導管部の変色したものの10%を合わせても19%の低い障害発生率で、殺菌による高い障害防止効果が認められた。

以上のように、土壤殺菌に高い障害防止効果が認められたことから、本生育障害は、ホウ素などの微量要素欠乏に起因するものではなく、土壤病害であることが推察されたので、さらに病理学的検討を加えた。その結果 *Fusarium* 菌による土壤病害であることが判明したので、以下、本生育障害の病理学的研究結果について記述する。

IV 生育障害についての病理学的検討

1 病原菌の分離

根部の褐変した部位を検鏡すると、導管内に多くの場合菌糸が認められた。それらの褐変した部位を5 mm 角に切り取り、常法にしたがってアンチホルミンで表面殺菌し、ブドウ糖加用馬鈴薯煎汁培地（以下PDA培地と略）を用いて、25°Cで分離を行なったところ、高い頻度で *Fusarium* 菌が分離された。

2 病原菌の接種試験

分離された *Fusarium* 菌の接種による発病の再現性と寄主範囲を確かめるために、次に示すような試験を行なった。

分離 *Fusarium* 菌の菌叢磨砕物を殺菌水で稀釈して850 mlとし、これを corn-sand 培地 (0.7:10) 10 kgに加えて、5月中旬の開放した温室中で10日間培養し

た。培養終了後乾物 5 kg 相当量を 1 m² の粹土壌に 15 cm の深さに加えて混合した。供試作物はダイコン、ハクサイ、キャベツ、カブ、トマト、ナス、ニンジン、タマネギで、このうちダイコン、カブ、ニンジンは直播し、他の作物は移植によって、それぞれ慣行の栽培法にもとづいて収穫期まで栽培した。生育中期に一部を抜き取り、収穫期に残りの全個体を抜き取って、地上部および根部導管について異常の有無を調査した。

その結果は Table 4 に示すとおりである。それによると、ダイコンを除く他作物は接種の有無に関係なく終始良好に生育し、異常は全く認められなかった。これに対してダイコンでは、無接種区は良好な生育を示したが、接種区は著しく高い発病を示した。すなわち、接種区では発芽直後から萎凋、枯死するものが多く、根部を切断すると導管部のみならず全面が黒褐色に変色していた。枯死しないものも地上部はしだいに下葉から黄化し、根部の導管部は褐変しており、現地は場における自然発病株と同じ症状が再現され、枯死したものも含めて罹病率は 100 % を示した。さらにそれらの罹病株から接種菌が再分離された。以上の試験結果から、根の褐変した導管部から分離された *Fusarium* 菌は、本病の病原菌であることが確認され、その病原性はダイコンに対してのみ強く、他作物に対しては全く病原性を示さないことが明らかとなった。

3 病原菌の形態

PDA 培地を用い、25°C で培養したものを随時検鏡観察した。それらの結果は次のとおりであるが、分生

孢子、厚膜孢子の測定値を Table 5 に示した。

(1) 菌糸：菌糸は隔膜を有してまっすぐに伸長し、分岐して放射状を呈する。白色綿毛状の空中菌糸をよくつくり、多くの場合菌叢は赤紫色に着色するが、時に淡黄色あるいは鉛色に着色することがある。

(2) 小型分生孢子：供試 PDA 培地上で容易に形成され、無隔膜の短担子梗の先端に擬頭状を呈して多数形成される (Fig. 1)。卵形または長楕円形で 2 個の油滴を含む。大きさは $1.8 \sim 3.1 \times 5.1 \sim 7.6 \mu$ 、平均 $2.4 \times 6.3 \mu$ である。

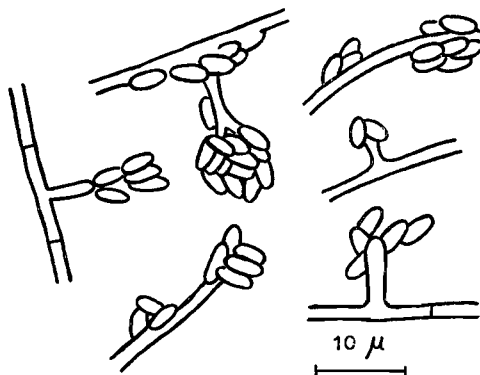


Fig. 1 Microconidia of the causal *Fusarium* on PDA medium

(3) 大型分生孢子：大型分生孢子も比較的容易に形成されるが、Fig. 2 に示したように 1~3 個の隔膜を有し、このうち単隔膜のものが多く、多隔膜のものは

Table 5 Size of conidia and spores of the causal *Fusarium* on PDA medium

Conidia and spores	Range (μ)	Mean (μ)
Macroconidia	1 septum $2.5 \sim 3.8 \times 11.4 \sim 20.3$ ($2.1 \sim 3.6 \times 10.5 \sim 25.2$)	2.8×14.9 (2.7×15.6)
	2 septa $2.5 \sim 3.8 \times 14.0 \sim 25.4$ ($2.1 \sim 4.2 \times 12.6 \sim 28.5$)	3.2×19.4 (3.0×21.0)
	3 septa $2.5 \sim 3.8 \times 17.8 \sim 25.4$ ($2.1 \sim 4.1 \times 18.6 \sim 35.7$)	3.3×22.7 (3.0×24.0)
Microconidia	$1.8 \sim 3.1 \times 5.1 \sim 7.6$ ($1.5 \sim 3.3 \times 3.9 \sim 13.5$)	2.4×6.3 (2.4×6.6)
Chlamydo spores	Single $5.1 \sim 10.2 \times 5.1 \sim 16.5$ ($3.6 \sim 14.1 \times 4.8 \sim 14.1$)	8.6×11.1 (6.6×6.8)
	Double $5.1 \sim 10.2 \times 10.2 \sim 27.9$ ($3.0 \sim 11.7 \times 3.9 \sim 14.4$)	7.7×16.5 (6.6×9.0)

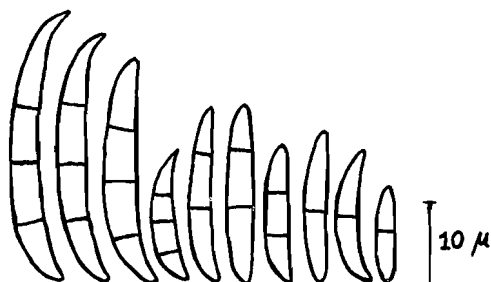


Fig. 2 Macroconidia of the causal *Fusarium* on PDA medium

少ない。多隔膜の大型分生孢子は *Fusarium* 菌特有の三日月形で、その両端は鋭いクチバン状を呈し、単隔膜のものはまっすぐな形をしたものが多い。大きさは単隔膜 $2.5 \sim 3.8 \times 11.4 \sim 20.3 \mu$, 平均 $2.8 \times 14.9 \mu$, 2 隔膜 $2.5 \sim 3.8 \times 14.0 \sim 25.4 \mu$, 平均 $3.2 \times 19.4 \mu$, 3 隔膜 $2.5 \sim 3.8 \times 17.8 \sim 25.4 \mu$, 平均 $3.3 \times 22.7 \mu$ である。

(4) 厚膜孢子: PDA 培地上で容易に多数形成され、Fig. 3 に示したように、球形、卵形、洋梨形を呈するものがあり、菌糸の先端と中間に形成される場合がある。また単性、2~3 個連結したもの、さらに表面が平滑なものや突起を有するものがある。大きさは単性 $5.1 \sim 10.2 \times 5.1 \sim 16.5 \mu$, 平均 $8.6 \times 11.1 \mu$, 連結性 $5.1 \sim 10.2 \times 10.2 \sim 27.9 \mu$, 平均 $7.7 \times 16.5 \mu$ である。

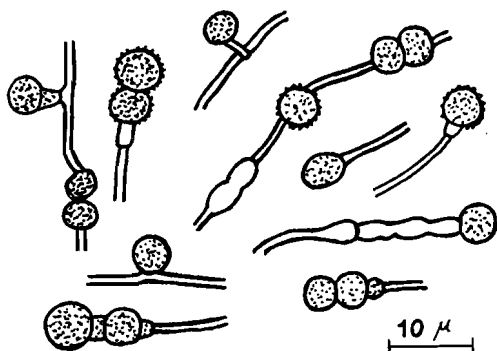


Fig. 3 Chlamydospores of the causal *Fusarium* on PDA medium

V 考 察

広島町において発生したダイコンの生育障害は、根の導管部が黒褐色に変色し、地上部は下葉から黄化して、症状の激しいものは枯死にいたる。本症状は一見して糸賀と新留³⁾によって報告されたホウ素欠乏に起因する褐色芯腐病に類似する。しかし、ホウ素などの

微量要素肥料の施用によっては、障害の発生は回避されず、クロールピクリンによる土壌殺菌に高い障害防止効果が認められた。また、変色した根の導管部から *Fusarium* 菌が高頻度で分離され、分離菌のダイコンに対する接種試験の結果、同じ症状が再現し、変色した根の導管部から接種菌が再分離された。以上の結果から、本生育障害は、土壌中の *Fusarium* 菌に起因する病害であることが明らかとなった。

分離 *Fusarium* 菌の PDA 培地上における諸形態はつぎのとおりである。菌糸は白色綿毛状で隔膜を有し、多くの場合、赤紫色の色素を生産する。分生孢子および厚膜孢子をよく形成し、小型分生孢子は卵形または楕円形で、無隔膜の短担子梗上に凝頭状を呈して多数形成される。大型分生孢子は 1~3 個の隔膜を有し、三日月形でその先端は鋭いクチバン状を呈する。

SNYDER & HANSEN の分類体系を基礎とした松尾^{6,7)}の検索表では、species は主として菌糸や孢子などについての比較形態学的方法によって分類されているが、それによれば分離菌はその諸形態から *Fusarium oxysporum* に分類される。

species に続く form の分類は、主として接種試験による病原性の比較検討によって行なわれているが、本報における分離菌は、ダイコンなどのアブラナ科作物を含む 4 科 8 作物に対する接種試験の結果では、ダイコンのみに強い病原性を示し、他の作物に対しては全く病原性を示さなかった。

KENDRICK & SNYDER⁴⁾ および SNYDER¹¹⁾ らも本報と同じダイコンの病害を見出したが、分離された *Fusarium* 菌はダイコンのみに強い病原性を示すことから、*Fusarium oxysporum* の new form であるとして、*Fusarium oxysporum* (Schl.) SNYD. et HANS. f. *raphani* KEND. et SNYD. と命名した。これに対して、ARMSTRONG & ARMSTRONG¹⁾ らおよび POUND & FOWLER¹⁰⁾ は、ダイコンから分離した菌について、各種アブラナ科作物に対する接種試験を行ない、ダイコン以外のキャベツ数品種に弱い病原性を認めた。このことから彼らは、本病と類似したキャベツ萎黄病の病原菌 *Fusarium oxysporum* f. *conglutinans* に対して、これを race 1 とし、ダイコンから分離した菌に対しては new form として扱わず race 2 として区別した。

一方、松尾⁵⁾ は本邦における *Fusarium* 菌の form を整理統一するにあたって、2 種以上の寄主を侵す菌の form には、強い病原性を示す植物名をとることを提唱して、ダイコンに強い病原性を示す菌に対しては

Fusarium oxysporum (Schl.) SNYD. et HANS. f. *raphani* KEND. et SNYD. と命名した。

中野・片野⁸⁾も著者らと同じ症状のダイコンの病害を報告し、ダイコンから分離した菌はハクサイ、キャベツ、カブなどにも弱い病原性を示すが、ダイコンのみに強い病原性を示すことから、松尾⁵⁾の提唱した学名を採用し、病名をダイコンの萎黄病と命名した。

著者らがダイコンから分離した菌はダイコンのみに強い病原性を示し、他のアブラナ科作物に対しては全く病原性を示さなかった。この点は KENDRICK & SNYDER⁴⁾ および SNYDER¹¹⁾ の報告と一致するが、本報では、病原性の検討は1作物に対して1品種しか行っていないので、さらに多くの品種について検討した場合、分離菌はダイコン以外のアブラナ科作物に対しても病原性を示すことが考えられる。また、分離菌の形態ばかりでなく、分生孢子および厚膜孢子の大きさも、中野・片野⁸⁾ の報告したものと比較するとほぼ一致しており、同一の菌と考えられる。

以上の結果から、本報のダイコンの生育障害は、その病徴、病原菌の形態ならびに病原性から、松尾⁵⁾ の分類による *Fusarium oxysporum* (Schl.) SNYD. et HANS. f. *raphani* KEND. et SNYD. に起因するダイコンの萎黄病と同定された。

文 献

- 1) Armstrong, G. M., Armstrong, J. K. 1952 : Physiologic races of the *Fusarium* causing wilt of the cruciferae. *Phytopath.* 42 : 255-257.
- 2) 井上義孝, 駒田旦 1958 : フザリウムに因るダイコンの導管病. *日植病報* 23 : 19. (講要)
- 3) 糸賀繁人, 新留伊俊 1955 : 大根褐色芯腐病について (第1報). *日植病報* 20 : 28 (講要)
- 4) Kendrick, J. B., Snyder, W. C. 1942 : *Fusarium wilt of radish*. *Phytopath.* 32 : 1031-1033.
- 5) 松尾卓見 1961 : 日本産フザリウム菌の分類について. *日植病報* 26 : 43-47. (講演要旨)
- 6) _____ 1965 : 病原菌の分類と同定 (*Fusarium* 菌). 土壌病害の手引 : 57-67.
- 7) _____ 1969 : フザリウム菌の見分け方. *植物防疫* 23 : 473-480.
- 8) 中野昭信, 片野恒雄 1967 : ダイコン萎黄病とその防除に関する研究. *和歌山県農試研報* 2 : 1-57.
- 9) 成田武四, 馬場徹代, 山田英一 1961 : ダイコン萎黄病と線虫との関係. *北日本病害虫研究会年報* 12 : 10-12.
- 10) Pound, G. S., Fowler, D. L. 1953 : *Fusarium wilt of radish in Wisconsin*. *Phytopath.* 43 : 277-280.
- 11) Snyder, W. C. 1949 : Cross inoculation with the vascular *Fusaria* of stock, cabbage and radish. *Phytopath.* 39 : 863.
- 12) 杉本堯 1962 : ダイコン萎黄病に関する研究 (第1報). *日植病報* 27 : 68 (講要)

Radish Yellow and Its Pathogen in Hokkaido

Tadao ISHII* and Akio TANII**

Summary

A growth injury to radishes was observed in a replanting field in Hiroshima town, Hokkaido, in 1972. The injured plants showed yellowing and dropping of leaves from the lower to the upper part, which were frequently confined to one side of the plants, root vascular discoloration, severe stunting, and in many cases, death of the plants. The symptom showed some resemblance to that of boron deficiency in radishes. However, it was recovered by soil sterilization with chloropicrin, and not by applying boron to soil. Furthermore, from the discolored vascular of the roots, a fungus of genus *Fusarium* was isolated. In an inoculation test to radishes with the isolates, the same symptom as those found in nature was observed, and identical organisms with the inoculums were obtained from the discolored vascular of the roots.

Morphologically, this fungus fell into species *Fusarium oxysporum* (Schl.) SNYD. et HANS. Pathogenicity tests with eight varieties of crops showed the causal fungus to be selectively pathogenic only to radishes.

From the facts described above, it may be concluded that the growth injury to radishes was a disease, radish yellow, caused by pathogen *Fusarium oxysporum* (Schl.) SNYD. et HANS. f. *raphani* KEND. et SNYD.

* Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069—13

** Ibid. (now Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, Hokkaido, 082)

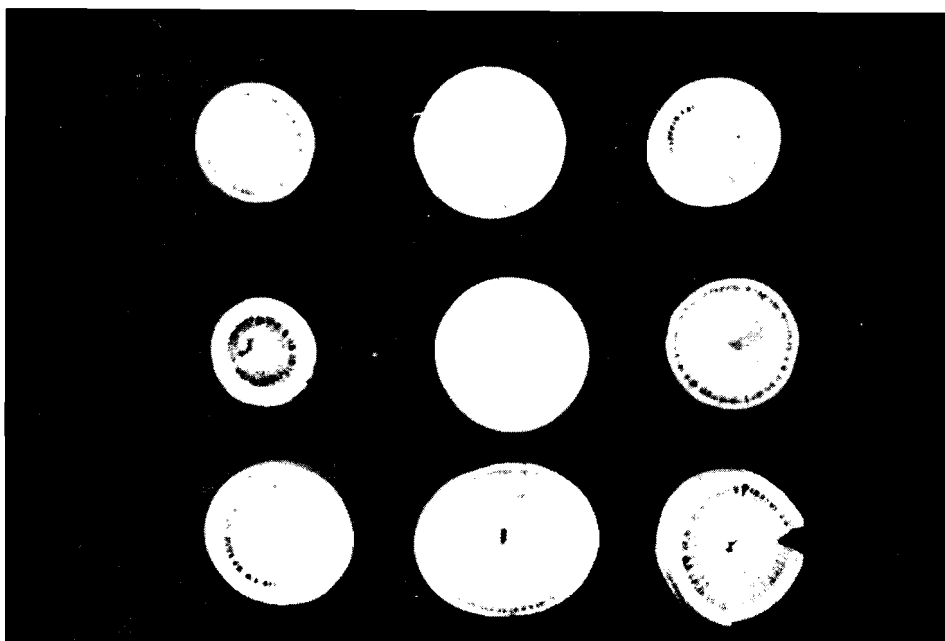


Fig. 4 Cross section of radish roots. Center : normal
Others : diseased plants



Fig. 5 Vertical section of radish roots. Light : normal
Others : diseased plants