

資 料

アブラナ科野菜根こぶ病の発生と土壌物理性

岩間秀矩・遅沢省子*・金子幸男**・久保田徹

Occurrence of clubroot disease of crucifers and soil physical conditions

Hidegori IWAMA, Seiko OSOZAWA*, Yukio KANEKO**, and Toru KUBOTA

National Institute of Agro-Environmental Sciences

*Shikoku National Agricultural Experimental Station

**Highland Branch of Gunma Prefectural Agricultural Experimental Station

(Soil Phys. Cand. Plant Growth, Jan, 70, 29-36, 1994)

1 はじめに

近年、畑地における土層改良の目的には、作物根伸張や作業性の改善とともに、品質向上あるいは土壌病害の軽減が含まれるようになり、機械力を駆使した天地返し等の大規模な土層の改変が行われるようになってきている(深谷・宮川 1987; 樋口ら 1988)。天地返し等による土壌病害軽減効果については、病原菌や土壌の種類、表土と下層土の混合状態、有機物施用など土壌管理により変動し(深谷・宮川 1987; 樋口ら 1988; 小林・茂木 1987; 松田・下長根 1983)、土壌特性との関係には未解明な部分が多いとされている(小林 1988; 駒田 1985; 小沢 1983)。

ここでは、キャベツ、ハクサイなど主要なアブラナ科野菜にとって最も被害の大きい土壌病害であり、かつ、土壌水分により発病度が大きく影響されることが知られている根こぶ病を対象として、土壌の物理性制御による病害軽減法を確立するために、いくつか調査を行った結果(Iwama et al. 1994; Osozawa et al. 1994)を紹介する。

2 アブラナ科野菜の根こぶ病

アブラナ科野菜の根こぶ病は、変形菌の一種であるネコブカビ(*Plasmodiophora brassicae* Woronin)に起因する土壌伝染性病害であり、わが国では、1970年以降、野菜産地形成に伴う連作化により被害面積が拡大し、キャベツやハクサイ産地の殆どで激しい被害が発生している(野菜試 1984)。現在、根こぶ病の防除対策は、PCNBなど有機塩素系農薬の土壌への多量施用が主となっ

ているが、効果が必ずしも確実でないことや環境影響への懸念から、土壌pH、土壌水分、土質、有機物施用、日長、土壌中菌(孢子)密度など環境要因の制御や輪作などによる、いわゆる生態的防除の試みも多くなされてきた(桂 1965; 内記 1987)。このうち、土壌水分については、過湿状態で病害発生が著しく、排水改良により軽減されることが知られているが、これは根こぶ病菌特有の感染様式に関連があると考えられている(Dobson, et al. 1982; 桂 1965)。すなわち、土壌中の休眠孢子は根の接近などにより発芽して第一次遊走子を生じ、まず根毛に感染し、そこで増殖して第2次遊走子を形成する。第2次遊走子は再び土壌中に放出され、遊泳して根の皮層細胞に感染を起こすが、この過程には特に潤湿な土壌水分状態が必要とされる(Dobson et al. 1982)。根細胞が肥大する根こぶ病徴を呈するには、後段の皮層感染が必須であり、根毛感染のみでは発病しないことが認められている(Dobson & Gabrielson 1982; 内記 1987)。

3. 根こぶ病発生畑における現地調査

1) 調査圃場

群馬県嬭恋村のキャベツ栽培畑、および神奈川県三浦市の野菜畑を1985年から1986年にかけて現地調査を行った。調査は前者では秋季(9, 10月)に、後者では冬季(12月)に行った。前者の土壌は表層多腐植質黒ボク土であり、表層約50cmは多腐植質であり(以下、多腐植質表土と呼ぶ、全炭素含量約11%)、その下層は黄褐色を呈し、粗い半腐朽浮石層とその下位にある粒径1~3

農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3 * 現四国農業試験場 〒765 善通寺市仙遊町

** 群馬県農業総合試験場高冷地分場 〒377-16 群馬県吾妻郡嬭恋村田代301

キーワード: 根こぶ病, 土壌通気性, 発病限界水分, 抑止型土壌, 孢子移動性

mmの浮石層(両者併せて黄褐色下層土と呼ぶ, 全炭素含量約2%)から構成されていた。地形修正による切土部等には黄褐色下層土が露出し, 斜面下半部では多腐植質表土が厚くなっていた。嬌恋村の黄褐色下層土は, 根こぶ病の発病抑止型土壌であることが報告されているが(木村ら 1983; 小林 1985), 調査地においても根こぶ病は黄褐色下層土露出部で殆ど発生が見られず, 多腐植質表土部で激発していた。

三浦市の土壌は, 起伏に富む海岸段丘上に分布する表層腐植質黒ボク土であり, 表層40~50cmは暗褐色を呈し, 下層は黄褐色のローム層となっていた。ここではやや発病の見られる自然層序に近い畑地と, 天地返しが行われてほとんど発病の見られない畑地において土壌の物理性を調査した。

2) 発病畑と非発病畑の土壌物理性:

表1に畑地の物理性を示したが, 嬌恋村の根こぶ病発生畑と非発生畑では, 前者において耕盤層の圧縮が著しく, 浸透能及び気相率が低下し, 根が物理的制約を受けない非制限有効水分範囲(遅沢ら 1990)もやや狭くなっていた。土壌硬度が根の伸張を阻害する12kg/cm²(山中式)以上となる水分点のpF値については, 両土壌間の差異が小さいが, これは黄褐色下層土に浮石が多く含まれているために, 硬度が高くなったものであろう。三浦市の野菜畑土壌についても, 軽度の発生畑と天地返し畑の間に差異があり, 後者において耕盤層の気相率や透

水性に改善効果が認められた。また, 嬌恋村の多腐植質黒ボク土畑と比較して, 三浦土壌は全体的に物理性が良好で発病頻度が少ない理由として, 三浦では地形的に起伏が大きく排水性が良いこと, 一般に圃区が小さく区切られていて, 大型機械の導入が少なく土壌踏圧が進んでいないことなどが関係するものと考えられる。

2) キャベツ畑の土壌空気中における炭酸ガス濃度の推移と発病度:

根こぶ病は, 多腐植質で圧縮された土壌に激発することから, 土壌中の炭酸ガス濃度との関わりが予想された。そこで群馬県農業総合試験場高冷地分場内(嬌恋村田代)の多腐植質表土畑並びに黄褐色下層土(造成)畑において, キャベツを栽培し, 定植(7月1日)から収穫(9月21日)までの期間, 毎週1回, 株下10cmにおける土壌空気中の炭酸ガス濃度を測定した。なお, 分場内キャベツ畑の土壌物理性についても調査したが, 前項で述べた農家圃場とはほぼ類似していた。収穫時には収量および発病度を調査した。発病度の判定は以下の基準によった。

発病指数 0: 健全

- 1: 小さい根こぶが側根などに見られる
- 2: 明瞭な根こぶが主根・側根に見られる
- 3: 多数の肥大した根こぶが見られる

$$\text{発病度} = \Sigma (\text{指数} \times \text{発病株数}) / (3 \times \text{調査株数}) \times 100$$

表-1 キャベツ根こぶ病発生型土壌と非発生型土壌の物理性

測定項目	踏圧度	土層の排水性				根の生育限界相当水分 pF				pF1.8における物理性		
		仮比重	最終浸透能 Ib	飽和透水係数	24時間含水量	相対ガス* 拡散係数 D/D ₀ =0.02	土壌硬度 H =12kg/cm ²	非制限** 有効水分範囲	非制限** 有効水分病	気相率	D/D ₀	通気係数
群馬県嬌恋村	cm	g/cm ³	mm/hr	cm/s	pF	pF	pF	pF	vol. %	vol. %		×10 ⁻¹ mpa ⁻¹ s ⁻¹
多腐植質黒ボク土 (発生型)	作土 0-20 耕盤 20-44 下層 44-	0.568 0.724 0.614	6	5×10 ⁻³ 4×10 ⁻⁵ 2×10 ⁻⁴	1.71 1.62 —	1.0> 2.8 3.0	4.2< 3.2 3.4	1.8-4.2 2.8-3.2 3.0-3.4	20.9 2.4 4.2	32.2 7.5 5.3	0.080 0.0004 0.0003	42.8 0.2 0.5
黒ボク土黄色下層土造成相 (非発生型)	作土 0-16 耕盤 16-35 下層 35-	0.617 0.753 0.710	220	1×10 ⁻³ 2×10 ⁻³	1.68 1.65	1.1 2.5 2.3	4.2 3.0 2.5	1.8-4.2 2.5-3.0 2.3-2.5	19.8 4.0 2.7	33.8 14.3 20.7	0.073 0.010 0.008	59.6 2.5 6.4
神奈川県三浦市	作土 0-30 耕盤 30-45 下層 45-	0.713 0.786 0.485	114	2×10 ⁻³ 5×10 ⁻⁴ 2×10 ⁻³	1.81 1.79 1.79	1.8 1.9 1.9	4.2 3.8 4.0	1.8-4.2 1.9-3.8 1.9-4.0	26.3 21.6 17.2	17.8 10.0 18.4	0.014 0.008 0.016	4.1 3.7 5.9
多腐植質黒ボク土 天地返し圃場 (非発生型)	作土 0-30 耕盤 30-	0.655 0.622	260	4×10 ⁻³ 7×10 ⁻³	1.74 1.78	1.7 1.8	4.2< 4.2	1.8-4.2 1.8-4.2	23.3 24.7	23.4 21.5	0.027 0.018	15.9 4.2

* 相対ガス拡散係数: 遅沢(1987)の方法により測定された土壌のガス拡散係数の大気中のガス拡散係数との比

**非制限有効水分域: 畑作物の根の生育に制約の加わらない有効水分範囲, すなわち, pF1.8~4.2の範囲内で, さらにD/D₀>0.02となる水分と土壌硬度<12kgcm⁻²となる水分の間をいう(遅沢ら 1990)

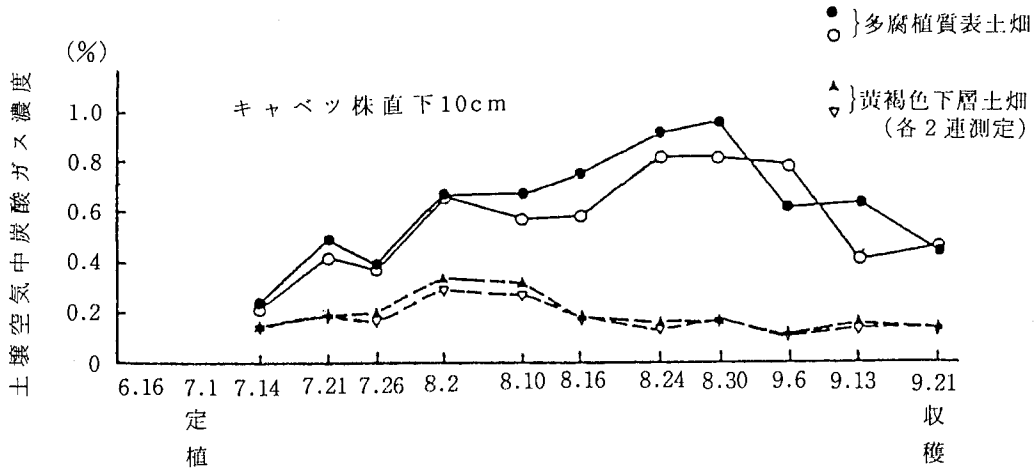


図-1 キャベツ栽培期間における畑地作土中炭酸ガス濃度の推移 (孺恋村圃場, 1988)

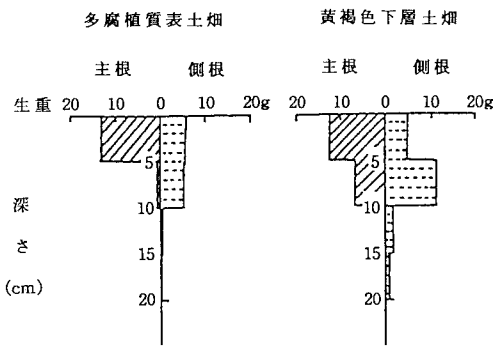


図-2 土壌によるキャベツ地下部重の分布の差異 (孺恋村圃場, 3株平均)

その結果、図1に見られるように、7月から9月までの深さ10cmの土壌空気中の炭酸ガス濃度は、多腐植質表土畑では黄褐色下層土畑より2倍から4倍高い濃度で推移し、8月には最高0.9%まで高まった。他方、黄褐色下層土畑では0.1~0.3%と低く安定していた。また、根こぶ病の発生程度は、黄褐色下層土畑では全く発生が見られなかったのに対し、多腐植質表土畑ではほぼ全株発病し、発病指数も3と著しかった。収穫時におけるキャベツ地上部重量についても、多腐植質表土畑では425g±178g/株、および黄褐色下層土畑では1107g±212g/株であり、前者は後者の4割以下であった。また、図2に示したように、地下部の生育も多腐植質表土畑では主根、側根ともに表層に分布し、黄褐色下層土畑ではより深くまで分布し根量も多かった。

4. 炭酸ガス濃度がコカブの根こぶ病発生に及ぼす影響

上述のように、根こぶ病発生型の多腐植質表土畑では、土壌空気中の炭酸ガス濃度が非発生型土壌より2~4倍高濃度であることが認められたので、ここでは土壌ポットに炭酸ガスを通気して、水分および土壌(発生型・抑止型)を変えたコカブ栽培試験により炭酸ガスの影響を確認しようとした。また、耕盤層の土壌中炭酸ガス分布への影響を明らかにするために、内径25cmの塩ビパイプに土壌を詰め、圧縮により形成した模擬耕盤層の有無と炭酸ガス濃度および土壌溶液pH分布の関係を検討した。

実験1：土壌水分および炭酸ガス濃度とコカブ根こぶ病発生

土壌水分を負圧水循環法(岩間ら 1993)により一定に制御できる容量10Lの土壌槽に、黒ボク土畑表土(4mm>, 筑波表土)を7L充填し、表層7cmには、休眠孢子懸濁液を加えて孢子濃度 $10^7/cm^3$ とした接種土壌を置き、コカブ(四季蒔きコカブ)を播種・栽培した。栽培期間中、土壌水分を発病域(-3kPa, pF1.5, 5節参照)および非発病域(-16kPa, pF2.2)の2段に設定した。また、ポットの底部から、炭酸ガス濃度を10%及び100%とした空気を $20cm^3/min$ にて流入させ、対照区には空気を同一速度で通気した。コカブは屋内窓際で園芸用ランプの補光下で50日間栽培し、根こぶ病徴を観察し前節と同様に発病度を求めた。

その結果、表2に見られるように、根こぶ病は土壌水分が-16kPa(pF2.2)では全く発病せず、-3kPa(pF1.5)の高水分条件において激しく発病した。土壌空気中の炭酸ガス濃度の増大は、後者において発病度を

表-2 土壌水分と炭酸ガス濃度が根こぶ病発生に及ぼす影響 1
(つくば黒ボク土畑表土, 四季蒔きコカブ)

土壌水ポテ ンシャル	処 理		CO ₂ 濃度(%) (深さ10cm)	発病指数				発病株率 (%)	発病度 (%)
	接種	CO ₂		0	1	2	3		
-3kPa (pF 1.5)	+	-	0.20	-	3	3	4	100	70
	+	-	0.20	-	1	1	4	100	83
	+	10%CO ₂ 10cm ³ /min.	0.40	-	-	4	6	100	87
	+	100%CO ₂ 10cm ³ /min.	1.33	-	-	3	7	100	90
-16kPa (pF 2.2)	+	-	0.11	7	-	-	-	0	0
	+	-	0.10	7	-	-	-	0	0
	+	10%CO ₂ 10cm ³ /min.	0.29	6	-	-	-	0	0
	+	100%CO ₂ 10cm ³ /min.	0.89	9	-	-	-	0	0

実験条件……休眠孢子接種濃度：表層7cmに
9.3×10⁶/g soil
照射時間：5:00~19:00
室温：22±2℃
栽培期間：50日

表-3 土壌水分と炭酸ガス濃度が根こぶ病発生に及ぼす影響 2
(孺恋村多腐植質黒ボク土表土, 四季蒔きコカブ)

処 理	CO ₂ 濃度(%)		発病指数				発病株率 (%)	発病度 (%)	
	接種	CO ₂	40日目	47日目	0	1			2
-	空気 7cm ³ /min.	0.5	0.2	6	-	-	-	0	0
+	同上	0.7	0.2	2	4	-	-	67	22
+	1.5%CO ₂ 7cm ³ /min.	1.5	0.7	2	4	-	-	67	22
+	5%CO ₂ 7cm ³ /min.	4.8	2.8	-	-	6	-	100	78
+	10%CO ₂ 7cm ³ /min.	9.6	5.8	-	1	5	-	100	61

実験条件…土壌水ポテンシャル：-5kPa (pF 1.7)
休眠孢子接種濃度：1.8×10⁶/g soil
照射時間：5:00~21:00
室温：15~25℃
栽培期間：56日

増大させる傾向であった。この傾向は反復実験でも認められており、炭酸ガスは土壌水分および菌密度等が発病条件を満たしている場合に、発病や病徴発現を促進するように作用するものと推定された。

実験2 根こぶ病発生型土壌および抑止型土壌における根こぶ病発生と土壌中炭酸ガス濃度：

実験1と同様の装置・方法を用いたが、土壌には孺恋

村未耕地より採取した未感染の多腐植質表土および黄褐色下層土を用いた。根こぶ病胞子を同様に接種し、コカブを播種し、土壌水分ポテンシャルは-5kPa (pF1.7)に設定した。また、炭酸ガスの供給濃度を0% (空気)、1.5%、5%および10%として7cm³/min. にて供給した。

表3には、多腐植質表土の結果のみを示したが、土壌中炭酸ガス濃度増大の影響は、前実験と類似し、発病条件下で病徴発現を促進していた。他方、発病抑止型土壌とされる黄褐色下層土では、土壌水分を発病条件としては十分に高く設定してあっても発病が全く認められなかった。この土壌の抑止性については、既に、小林 (1985) により加熱殺菌によって抑止性は消滅せず、また、胞子を土壌と接触させた場合に抑止効果が発現するとされていることから (小林・茂木 1987)、良好な排水性がその主因ではなく、焼成パーミキュライトについて推定されている胞子吸着等の機構 (宮田 1983) によるものと推察された。但し、圃場においては、排水の良いことも発病抑止に寄与していると思われる。

実験3 土壌カラムにおける炭酸ガス濃度分布：

内径25cm、高さ65cmの塩ビカラムを黒ボク土畑に埋設し、孺恋村未耕地の多腐植質表土と黄褐色下層土を充填した。模擬耕盤層は2.5kgランマーを用いて圧縮成形した。土壌の安定後、無作付条件下で深さ10cm間隔にて、土壌空気と土壌溶液を採取した。

土壌カラム内における気相中炭酸ガス濃度分布を図3に示した。耕盤の無い場合には両土壌の炭酸ガス濃度分布に殆ど差異は認められないが、耕盤のある場合には、耕盤より下層の炭酸ガス濃度が高まる傾向があり、多腐植質表土でその傾向がより顕著であった。これはち密化した耕盤層により、土壌内から発生した炭酸ガスの拡散が妨げられ、耕盤層以下に蓄積する現象であると推察された。

また、耕盤形成土壌について、土壌溶液中に溶存している炭酸ガス量 (強酸添加法による) と、土壌溶液pH値から溶液平衡しているとして求めた炭酸ガス量はほぼ一致しており、通常の畑土壌では炭酸ガスの気液平衡が成り立っていることが確認された。したがって、土壌気相中の炭酸ガス濃度の上昇は土壌溶液pHを低下させることが予想され、実際にも同図内に示したように耕盤層の下層ではpHの低下が認められた。前述のように、実際のキャベツ栽培畑 (多腐植質表土) では、カラム試験におけるよりかなり高い炭酸ガス濃度が観測されており、根の呼吸などの影響とともに、耕盤による排水不良の影響が作土層まで及んでいたことが推定された。以上のことから、炭酸ガス濃度の上昇による病徴発現の促進は、

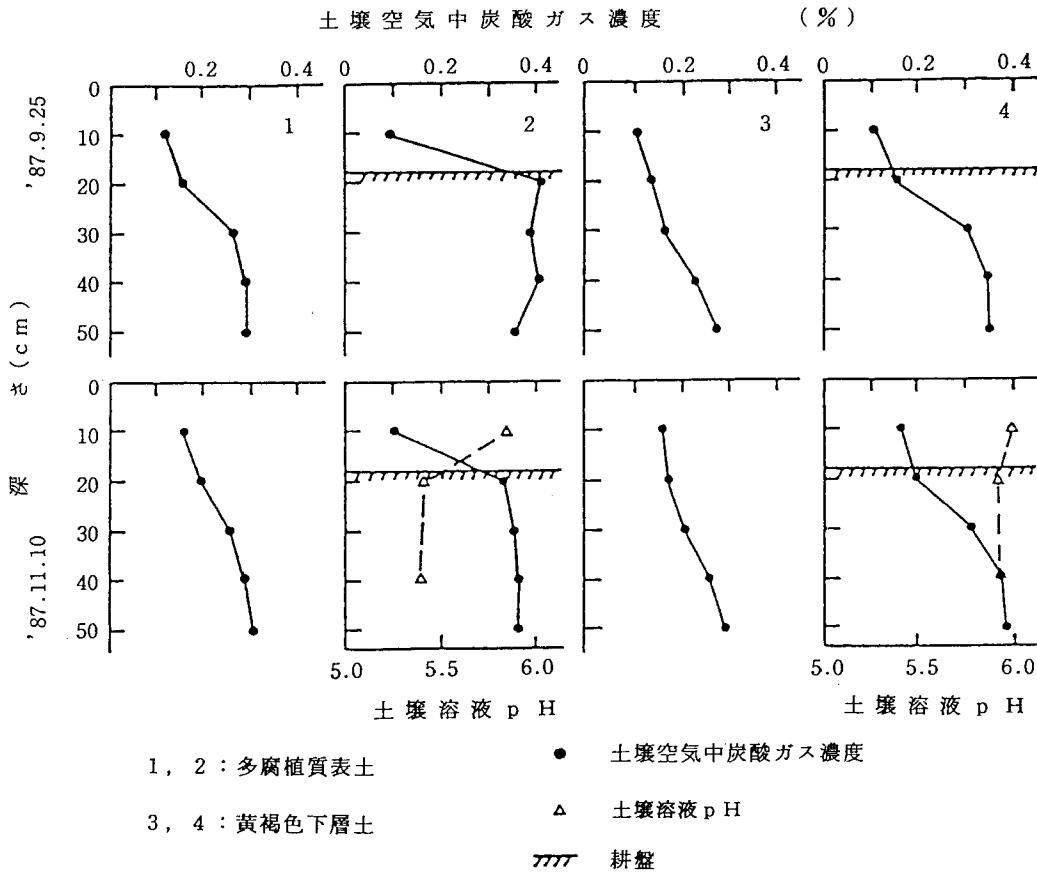


図-3 耕盤が土壌空气中炭酸ガス濃度と土壌溶液pHに及ぼす影響 (土壌カラム試験)

土壌溶液中のpHの低下が根こぶ病菌の活性を高めることにより、あるいはアブラナ科作物の根の活性を低下させることにより生じた可能性が考えられる。

5. 土壌水分・孔隙径と根こぶ病菌の移動性

1) 根こぶ病発病限界水分ポテンシャル

根こぶ病の発病限界水分ポテンシャルについては、Dobsonら(1982)により-150mbars(-15kPa, pF2.2)付近であることが報告されている。しかし、この値は土壌水分を50cmH₂O以上の間隔に設定した実験によるものであり、著者らは表層腐植質黒ボク土(つくば土壌)について、負圧水循環装置を用いてより詳細に調査した。この実験については、既に、別報(岩間ら1993; Iwama et al. 1994)にて報告したので、ここでは概略を述べる。

図4は、病菌接種土壌に発芽から1ヶ月間栽培したコカブの根の発病率を示したものである。根こぶ病は土壌

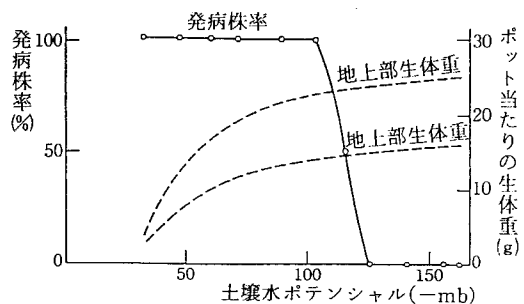


図-4 土壌ポテンシャルと根こぶ病の発生

水分ポテンシャル-11.2kPaより湿潤側で発現し、-12.2kPaより乾燥側では全く認められなかった。したがって、限界値は-12.0kPa(pF2.08)付近であると推定された。この水分値は根毛から第2次遊走子が再度土壌中に出て根の皮層に感染する過程が限界となる値であり、-12.0kPaに相当する毛管直径、およそ25μmより

大きい孔隙が水で満たされていることが、遊走子の遊泳に必要なことを示唆している。

2) 水の毛管上昇による病菌の移動と孔隙径

図5に示すように、休眠孢子懸濁液を浸した粗砂の上に、粒径を異にする砂層フィルターを介して土壌（無接種）カラムを置き、コカブを栽培した。栽培期間中、給水は毛管上昇のみで賄った。結果は表4に示したが、粒径0.1mm以下の砂層フィルターのカラムでは発病が見られず、孢子・遊走子は孔隙径が $30\mu\text{m}$ 以下になると移動が妨げられることが示唆された。これは限界水分ポテンシャルより推定された第2次遊走子の移動限界の孔隙径 $25\mu\text{m}$ とほぼ等しく、根こぶ病菌は休眠孢子、第1、2次遊走子という形態を問わず、移動性はほぼ等しいことを示すものと思われる。ところで、Dobsonら(1982)によれば第1次感染の限界水分ポテンシャルは -800mbar s (-80kPa) 付近とされ、第2次感染の限界水分と大きく異なっている。Dobsonらはその理由として、第2次遊走子が細胞融合した2核体でサイズが大ききことを挙げているが、上記の結果は、孢子・遊走子のサイズによる移動性の差異は大きくないことを示唆している。したがって、第1次と第2次の感染限界水分の差異は、桂(1965)が言うように第1次感染は根毛が伸張して孢子に接触感染するのに対し、第2次感染では根毛から根表面へ遊走子は能動的に移動する必要があるためと推察さ

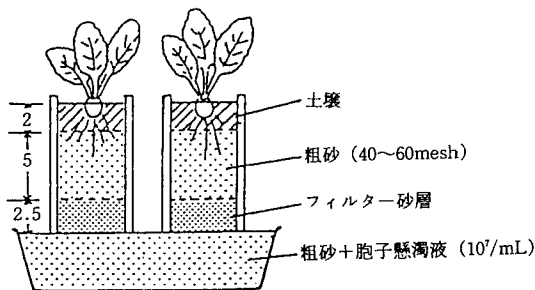


図-5 砂層フィルター毛管上昇による根こぶ病菌休眠孢子的移動性試験

表-4 砂層フィルター毛管上昇による根こぶ病菌休眠孢子的移動とコカブの発病。

フィルター砂粒径	平均孔径	発病株/調査株	発病株率
mm	mm	本/本	%
1. 0.54 -0.38	0.18	12/12	100.0
2. 0.38 -0.25	0.13	6/12	50.0
3. 0.25 -0.15	0.08	10/12	83.3
4. 0.175-0.10	0.055	3/12	25.0
5. 0.10 -0.05	0.030	0/12	0
6. 0.05 -0.02	0.014	0/12	0

れる。

6. 結論

1) 群馬県嬭恋村のキャベツ畑において、根こぶ病が激発する土壌は、多腐植質で保水性に富み、圧縮により排水性等物理性が悪化しやすいが、連作条件でも発病が少ない畑地は、排水が良く、耕盤の物理性があまり悪化していなかった。

2) 群馬県嬭恋村の多腐植質黒ボク表土の畑と浮石質黄褐色下層土の畑における、夏作キャベツ栽培期間中の土壌空气中炭酸ガス濃度は、前者において後者の2~4倍高濃度であった。

3) 圧縮された耕盤層はガス拡散性を阻害し、耕盤層より下層の炭酸ガス濃度を上昇させた。炭酸ガス濃度の上昇は気液平衡により土壌溶液pHを低下させた。

4) 土壌水分を制御したポット栽培接種試験から、土壌中炭酸ガス濃度の上昇は、発病可能条件において病徴発現を促進したが、その理由として土壌溶液のpH低下が推察された。

5) 群馬県嬭恋村の火山性浮石を含む黄褐色下層土の根こぶ病発病抑止性は、圃場での良好な排水性以外の要因、すなわち、孢子的土壌吸着等に起因することが推察された。

6) 腐植質黒ボク土の根こぶ病発病限界土壌水分ポテンシャルは -12.0kPa ($\text{pF}2.08$) であった。 -12.0kPa に相当する毛管孔隙径 $25\mu\text{m}$ は第2次遊走子の移動限界を示すと考えられた。

7) 休眠孢子的の水毛管移動にともなう移動限界孔隙径は $30\mu\text{m}$ であり、第2次遊走子のそれとほぼ等しいことから、第1次感染と第2次感染における限界水分ポテンシャルの大きな差異は、後者において遊走子の能動的な移動を要するという感染様式の差異に起因することを推察した。

8) 以上の結果から、土壌の排水性および通気性の改良による根こぶ病抑制の意義が明らかになり、今後、土壌水分制御および抑止型土壌のより意図的な活用が望まれる。

謝辞 根こぶ病実験について懇切な指導をいただいた駒田 旦氏(現島根大学農学部)ならびに小林紀彦氏(現 野菜茶試久留米支場)、現地調査の便宜をいただいた小林和弘氏(群馬県農業総合試験場)および大林延夫氏(神奈川県園芸試験場三浦分場)に深く感謝いたします。

引用文献

- Dobson, R.L., Gabrielson, R.L. & Baker, A.S. (1982) : Soil water matrix potential requirements for root-hair and cortical infection of chinese cabbage by *Plasmodiophora brassicae*. *Phytopathology* 72, 1598-1600.
- Dobson, R.L. & Gabrielson, R.L. (1982) : Role of primary and secondary zoospores of *Plasmodiophora brassicae* in the development of clubroot in chinese cabbage. *Phytopathology* 73, 559-561.
- 深谷雅博・宮川壽之 (1987) : カリフラワー根こぶ病の発病に及ぼす超深耕の影響. 愛知農総試研報, 19, 187-192.
- 福代和子 (1982) : 数種土壌におけるアブラナ科野菜根こぶ病の発生, 近畿中国農研, 63, 69-76.
- 樋口太重・小松憲一・山田和義・赤沼礼一・林 宏一・松下利定・中村伴蔵 (1988) : 土層反転による野菜の連作障害回避について. 長野中信農試報 6, 97-104.
- 岩間秀矩・遅沢省子・後田経雄・久保田 徹 (1993) : 負圧水循環法による土壌水分制御とその応用. 土壌の物理性, 68, 69-76.
- Iwama, H., Osozawa, S., Ushiroda, T., and Kubota, T. (1994) : Analysis of soil water matrix potential requirement for infection of turnip with *Plasmodiophora brassicae* using negative pressure water circulation technique. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 (2), 293-299
- 桂 崎一 (1965) : 土壌中における絶対的寄生菌の生活様式, 日植病報, XXXI, 407-409.
- 木村康夫・渡辺 進・山崎勝明 (1983) : キャベツ根こぶ病発生と土壌の種類および土壌水分との関係, 群馬園試報, 11, 79-81.
- 小林和弘 (1985) : 高原キャベツの病害防除—根こぶ病を中心として—. 植物防疫, 39, 581-585.
- 小林和弘・茂木正道 (1987) : キャベツ根こぶ病の発病抑止土壌に対する堆肥混合の影響および抑止土壌の苗床と本圃での利用. 関東病虫研報, 34, 64-66.
- 小林紀彦 (1988) : 土壌病害に対する発病抑止土壌とその抑止機構, ならびに生物防除へのアプローチ. 土・水研究会資料, 5, 46-66.
- 駒田 旦 (1985) : 作物の連作障害 (イヤ地) とは. 農土誌, 53, 967-974.
- 松田 明・下長根 鴻 (1983) : 耕起と土壌病害発生との関係, 植物防疫, 37 (1), 23-29.
- 宮田義雄 (1983) : 根こぶ病における物理的発病抑止型土壌モデルとしてのパーミキュライト. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 49 (1) . 101.
- 内記 隆 (1987) : アブラナ科野菜根こぶ病菌の生活環からみた防除視点. 土と微生物, 29, 25-39.
- 遅沢省子 (1987) : 土壌ガス拡散係数測定と土壌診断. 土壌の物理性, 55, 53-60.
- 遅沢省子・小財 伸・久保田徹 (1990) : 「根生育非制限有効水分域」による熊本県主要畑土壌の物理性評価. 土壌の物理性, 60, 6-14.
- Osozawa, S., Iwama, H., and Kubota, T. (1994) : Effect of soil aeration on the occurrence of clubroot disease of crucifers. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40 (3), 445-455
- 小沢龍生 (1983) : は場における根こぶ病の発病抑止現象. 植物防疫, 37, 327-329.
- 野菜試験場 (1984) : 最近における野菜・花きの連作障害の実態. 野菜試研究資料 18, 1-104.
(受稿年月日 1994年3月8日)