

土壤中におけるフザリウム菌の生態ならびに  
輪作と有機物施用によるキュウリつる割病の防除

下長根 鴻

Ecology of Fusarium in Soil and Prevention of Cucumber Fusarium Wilt  
by Crop Rotation and Applying Organic Fertilizers.

Kou SHIMONAGANE

# 序 文

土壌伝染性病害の中で、フザリウム病は各種の畑作物に大きな被害を及ぼしているが、この病害菌の土壌中での発生生態、あるいは畑輪作や有機物施用等が病害発生にどのような効果を及ぼすか等についてはほとんど明らかになっていなかった。このように、被害が大きく、また防除が極めて困難な病害の防除技術を開発するため、国の試験研究の一環として茨城県農業試験場の指定試験地において、「畑土壌病害生態防除法」を課題とした土壌病害の試験研究を実施してきた。

本報告書は、昭和56年までに実施した土壌伝染性病害フザリウム菌の生態及び代表的なフザリウム菌であるキュウリつる割病の畑輪作と有機物施用による防除効果の試験成績を取りまとめたものである。

この研究成果は、畑作物の土壌伝染性フザリウム病の防除において、農薬施用量を削減するための生態的防除として利用され、畑作物の栽培に寄与することが期待される。また、今後重点的に取り組む必要のある環境保全型農業の確立と、そのための技術開発に大きく寄与すると考えられる。

報告書の刊行に当たり、試験研究の実施と成績の取りまとめに当たられた指定試験研究者と茨城県農業試験場の方々に対し深く謝意を表すものである。

平成 4 年

農林水産技術会議事務局振興課長

細 田 敏 昭

本報告には、首席研究員病虫部長下長根 鴻の提出した「土壌中におけるフザリウム菌の生態ならびに輪作と有機物施用によるキュウリつる割病の防除」の試験成績を登載した。

土壌伝染生フザリウム病は畑作物の重要な病害として広く分布し、その被害も大きい。この成果がフザリウム病、とくに、キュウリつる割病の生態的防除法として広く利用され、ひいては、畑作物の栽培に寄与するところがあれば幸いである。

平成 4 年

茨城県農業試験場長

稲 生 稔

# 土壤中におけるフザリウム菌の生態ならびに\* 輪作と有機物施用によるキュウリつる割病の防除

下長根 鴻

## 目 次

I. 緒 言	1	変動	41
II. 研究史	4	4) 土壤中におけるキュウリつる割病 菌の分布に及ぼす作物根圏の影響	43
III. 土壤中におけるフザリウム菌の生態	7	5) 考 察	44
1. 土壤中におけるフザリウム菌分生子 の発芽および厚膜胞子の行動	7	4. 連輪作土壤中におけるネコブセンチュ ウ寄生とフザリウム病の発生	45
1) 土壤中におけるフザリウム菌分生 子の発芽と厚膜胞子形成ならびに 厚膜胞子の発芽	7	1) ネコブセンチュウ寄生根圏におけ る病原菌数および微生物相の変動	45
2) 考 察	16	2) ネコブセンチュウの寄生したキュ ウリ根の活性および表皮細胞の浸 透圧の変化	49
2. キュウリつる割病発生と病原菌の感 染能力との関係	18	3) ネコブセンチュウの寄生したキュ ウリの体内成分の変化と寄生根が フザリウム菌胞子発芽に及ぼす 影響	52
1) 土壤中の病原菌密度と発病との関 係	18	4) 土壌の殺線虫剤処理とキュウリつ る割病の発生	53
2) 考 察	24	5) 考 察	55
IV. 連輪作がフザリウム病の発生に及ぼす 影響	26	V. 有機物とくに乾燥豚ふん施用によるフ ザリウム病の防除	57
1. 連輪作とフザリウム病発生	26	1. 各種有機物および乾燥豚ふん施用に よるフザリウム病の防除	57
1) 病原菌と土壌微生物相の変動から みたフザリウム病の発生	26	1) 各種有機物施用土壌におけるキュ ウリつる割病の発生	57
2) 考 察	32	2) 連作条件下におけるキュウリつる 割病に対する乾燥豚ふんの連用効 果	62
2. 連輪作土壤中における病原菌の行動	34	3) 乾燥豚ふん多量施用の持続効果な らびに土壌の化学性とキュウリ作 物体内成分に及ぼす影響	66
1) 各種作物栽培土壌に接種した病原 菌の変動ならびに発病	34		
2) 各種作物栽培跡地土壌における病 原菌の厚膜胞子形成	34		
3) 考 察	36		
3. 作物根とフザリウム菌の行動	37		
1) 作物根圏におけるキュウリつる割 病菌の生態	37		
2) 土壌および作物根圏におけるフザ リウム菌の分布	39		
3) 各種作物根圏の分画と病原菌数の			

4) 土壌の種類と乾燥豚ふんの施用効果	70	キュウリ根圏土壌の病原菌と微生物相	80
5) 乾燥豚ふんの施用時期とキュウリ つる割病の防除効果	71	5) 乾燥豚ふん施用土壌に栽培した キュウリ根圏におけるつる割病菌厚 膜胞子の発芽	81
6) 数種土壌病害に対する乾燥豚ふん の施用効果	73	6) 乾燥豚ふん施用土壌中における病 原菌密度とキュウリのつる割病発 生	82
7) 考 察		7) 考 察	85
2. 乾燥豚ふん施用効果発現の原因解析	74	VI. 総合考察	89
1) 土壌および乾燥豚ふんの殺菌とフ ザリウム病の発生	74	VII. 摘 要	94
2) 乾燥豚ふんの施用土壌の熱処理と フザリウム病の発生	77	VIII. 引用文献	97
3) 乾燥豚ふん施用土壌で育苗したキ ュウリのつる割病発生	79	IX. Summary	103
4) 乾燥豚ふん施用土壌に栽培したキ ュウリ		図 版	108

## I 緒 言

近年、わが国における野菜栽培は、育種技術の進歩と栽培技術の高度化などによって、高品質の生産物を大量に供給し、さらに、温室やビニールハウスなどの施設栽培や生産物の貯蔵技術の開発などによって周年出荷が可能になった。さらに、大型機械の導入は基盤整備や高原林地などの畑化を容易にして高冷地での大規模な野菜栽培を盛んにした。しかし、経済的な効率化をねらう規模拡大および指定産地育成にともなう、単一作物の連作および短期輪作が余儀なくされている。このために、全国各地の野菜生産団地では連作障害の発生が年々増加し、産地の壊滅ひいては産地移動の一要因となっている。

連作障害の原因については、1977年に農林水産技術会議が、また、1978年には農林水産省野菜試験場が全国的なアンケート調査を行った。それらの結果を見ると、一部に虫害や土壌の理化学性の悪化などを原因とみなすものもあったが、病害によるとしたものが最も多かった。連作障害に関与する土壌伝染性病害として、フザリウム病、根こぶ病、半身萎ちょう病、疫病、リゾクトニア病、ピシウム病などがあげられている。これらのなかで、フザリウム病は被害作物の種類が多く、さらに、各作物の被害も甚大であり防除が困難であることから、適確な防除法の確立が強く望まれてきた。一部のフザリウム病は抵抗性品種の作付けや抵抗性台木への接木などによって発病が回避できるものの、抵抗性品種の育成には長年にわたる時間と労力を必要とし、品質面での問題も多い。また、せっかく育成された品種でも栽培年月の経過とともにそれらを侵す新しい病原菌の系統が出現して問題となっているものもある。また、抵抗性台木への接木栽培でも接木不親和、抵抗性台木を侵す病原菌の出現や他病害への抵抗性の低下など実用上の問題点が多い。

連作障害に関与するフザリウム菌の防除にあたっては、病原菌が土壤中に生存するために根

本的には土壌消毒に頼らざるを得ない。その方法の一つとして実施されているクロルピクリンくん蒸剤などのガス剤による土壌消毒は、とくに市街地周辺でしばしば処理時のガスによる公害問題の発生がとり上げられている。そして、近年、その防止対策として省農薬あるいは無農薬的な土壌伝染性病害の防除法の確立が要望されるに至っている。

フザリウム菌は植物病原糸状菌のなかで、とくに変異性が著しく大きい。そして、あるフザリウム菌は一つの作物のみを侵すが、あるフザリウム菌は多数の作物を侵す。フザリウム菌の一つの種である *Fusarium oxysporum* のなかでウリ科作物を侵すものとして、*F. oxysporum* f. sp. *niveum*, *F. oxysporum* f. sp. *melonis*, *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *F. oxysporum* f. sp. *luffae*, *F. oxysporum* f. sp. *lagenariae* などがあり、それぞれスイカ、メロン（マクワウリも含む）、キュウリ、ヘチマ、ユウガオとそれぞれの菌で侵す宿主が限定されている。しかし、他の種である *F. solani* f. sp. *radicicola* はジャガイモ、コンニャク、サトイモ、チューリップ、サツマイモ、ヤマゴボウ、ハス、ナガイモ、ウドと、また、*F. roseum* f. sp. *cerealis* は各種イネ科作物、ダイズ、ソラマメ、カーネーション、リンドウ、アルファルファ、クローバなどと多くの作物が宿主となり得る。

*F. oxysporum* は、一般に根や茎の導管部に侵入して褐変させ地上部を萎ちょう枯死させる特徴をもっている。本菌は厚膜胞子を形成して土壤中に生存し、畑作物の連作障害の主要な原因となるものが多い。

本研究は土壌伝染性フザリウム菌、なかでも宿主分化の小さいキュウリつる割病菌 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Snyder et Hansen) を対象として、土壤中における生態を他のフザリウム菌の生態と比較しつつ明らかにするとともに、本菌の土壤中における生存密

度と発病に関与する諸条件，すなわち，土壤微生物数，分生子または厚膜胞子の発芽と厚膜胞子形成などとの関連を究明して，その生態に基づいて，農業に依存しない輪作や有機物の土壤施用による生態的防除法を確立することを目的とした。

病害の発生は病原菌と作物と環境の三者間の相互関連によって起こることはいうまでもないが，土壤伝染性病害においては，誘因としての土壤条件の影響が極めて大きいものと考えられる。その土壤条件のなかで物理的および化学的条件もさることながら生物的な要因もかなり重要である。このような観点にたって発病軽減効果の原因解析では，とくに，土壤センチウを含めた土壤微生物の発病に及ぼす影響について研究した。

生態的防除法とは，今関(1963)<sup>39)</sup>が述べているように，農業や熱など化学的，物理的に病原菌を撲滅するような過激な方法を用いず，耕種的あるいは生物的方法によって農耕生態系における病原菌の生存を困難にしたり，病原菌の活性を低下させたり，あるいは宿主の抵抗性を高めるなど，宿主と寄生者間の親和性を遮断して土壤伝染性病害の被害を回避あるいは軽減しようとする方法である。実際には，土壤水分または酸度の矯正，深耕，作付期の変更，抵抗性品種および接木の利用，輪作などの耕種的防除法，前作物の罹病残さ持ち出しなどの圃場衛生，有機物施用による土壤微生物の活性化，拮抗微生物の導入などの生物的防除法がある。

耕種的防除はまず土壤水分や土壤酸度の矯正および深耕などによって病原菌の活動を抑制したり，病原菌の密度を低下させたり，あるいは作付期の変更によって発病を回避しようとする方法で，病原菌の生存環境を制御して発病を軽減させようとするものである。土壤伝染性病原菌には環境条件に対して許容力の大きいものと小さいものがあり，小さい病原菌に対しては極めて有効な方法である。抵抗性品種の利用はトマト萎う病，キャベツ萎黄病の抵抗性品種の実用化でみられるように発病軽減効果は極めて高い。しかし，品種の育成に長年要することや

品質上の問題が残ることは避けられない。抵抗性台木への接木はウリ類つる割れ病防除対策として，スイカのユウガオ台木への接ぎ木やキュウリのカボチャ台木への接ぎ木などが行われてきた。しかし，ユウガオを侵すつる割病菌 (*F.oxysporum* f. sp. *lagenariae*) やカボチャを侵す立枯病菌 (*F.solani* f. sp. *cucurbitae* race 1) が一部の地域で発生し問題になっている。また，輪作は古来から行われてきた最も有効な発病軽減方法である。しかし，その効果発現の原因について明らかにしている研究は少ない。圃場衛生では，ほとんどの土壤伝染性病原菌は被害作物の遺体で生存し，跡作への伝染源になるので，被害作物は抜き取って焼却する方法，また，農機具，種苗などでの無病畑への病原菌の持ち込を回避する方法などがあるが研究例は少ない。

生物的防除は土壤中の微生物とくに病原菌の活動や生存に悪影響を及ぼす微生物の活動を盛んにして病害発生を軽減しようとする方法である。なかでも種々の有機物を土壤に施用して土壤伝染性病害の発生を軽減しようとする試みは，近年，化学肥料のみの多施用の反省から起こった「土づくり運動」とともに盛んに行われるようになった。しかし，施用する有機物は多種多様であり必ずしも発病を軽減するもののみではない。また，効果のあるものについても輪作と同じように，その効果発現の原因について明らかにしている研究例は少ない。土壤伝染性病害の防除に拮抗微生物を含めた有用微生物を導入した生物的防除は，近年盛んに研究されており，実用化されているものもある。

本研究では種々の生態的防除のうち，輪作による発病軽減効果ならびに有機物とくに乾燥豚ふんの土壤施用による防除効果について検討した。輪作の効果については，イネ科作物との輪作がキュウリつる割病の発生を著しく軽減すること，その効果は非宿主作物根圏における病原菌密度の抑制ならびに発病助長要因としてのネコブセンチウ寄生の低下によるところが大きいことを明かにした。また，乾燥豚ふんを土壤に施用した場合，キュウリを連作した場合にお

いても発病抑制効果は著しく、とくに、キュウリ果実の収量に大きく影響する枯死株率の減少が著しく、栽培土壤にクロロピクリン剤処理を行った場合とほぼ同等の増収効果を認めた。この効果は無殺菌の畑土壤においてのみ認められること、施用土壤を蒸気殺菌した場合その効果が減少することから、その土壤に栽培されたキュウリ根圏で特異的に増殖する微生物が病原菌の活性を低下させること、キュウリへの抵抗性の増強などが発病抑制に関与していることを明らかにした。

本論文の一部は日本植物病理学会大会<sup>81~85, 88, 100</sup>、同学会土壤伝染病談話会<sup>101, 102</sup>で講演発表したほか、関東東山病虫害研究会<sup>103</sup>、茨城県農業試験場研究報告<sup>80, 86, 87</sup>に発表したか、ここにとりまとめて報告する。

なお、本研究は特記しない限り、1962年4月から1968年3月までは、元茨城県農業試験場環境部（石岡市茨木）で、また、1968年4月以降は同場病虫部（水戸市上国井町）で行ったものである。

本研究を行うにあたり、元茨城県農業試験場松田明博士には本研究の端緒を与えられ終始ご指導と激励を賜わり、本論文をとりまとめるにあたり、有益なるご教示をいただいた。また、元農林水産省農業研究センター渡辺文吉郎博士（当時茨城県農業試験場環境部指定試験主任、後に病虫部長）ならびに元福島県農業試験場病理昆虫部平野喜代人博士（当時茨城県農業試験場環境部指定試験主任）には研究推進上、終始、懇篤なるご指導をいただいた。

本論文のまとめに際しては元岩手大学農学部教授津山博之博士ならびに北海道大学農学部教授生越明博士、同農学部教授木村郁夫博士、同農学部教授喜久田嘉郎博士、同農学部助教授小林喜六博士からは懇篤なるご指導と綿密なるご校閲を賜わった。ここに慎んで深甚なる感謝の

意を表する。

千葉大学名誉教授飯田格博士、元農林水産省農業環境研究所荒木隆男博士、農林水産省森林総合研究所渡辺恒男博士、農林水産省農業環境研究所岡崎博氏、農林水産省野菜・茶業試験場小林紀彦博士、農林水産省農業研究センター小川奎博士からは機会あるごとに懇切なるご指導とご助言を賜わった。また、元信州大学教授松尾卓見博士、東京都農業試験場飯島勉博士ならびに農林水産省草地試験場（当時農林水産省農業技術研究所）植松勉博士からは供試菌の分譲をいただいた。記して衷心より厚くお礼を申し上げる。

元茨城県農業試験場長故森田潔氏、同有賀武典博士、同小川敏雄氏、同黒沢晃氏、同飯田栄氏、同石川昌男博士、同関口計主博士には研究上種々のご配慮と激励を賜わった。また、元茨城県農業試験場病虫部尾崎克己氏（現農林水産省野菜・茶業試験場）、同西野新次氏（現茨城県病害虫防除所）ならびに千葉恒夫氏（現茨城県園芸試験場）には研究推進上多大のご援助をいただいた。茨城県農業試験場元病虫部長川田惣平氏、同部長故内田和馬博士、同部長稲生稔氏（現茨城県農業試験場長）、同部長高井昭氏、同部長祝迫親志博士、元病虫部谷芳明氏（元茨城県病害虫防除所長）、同小林誠氏（現茨城県農林水産部農業技術課）、また、現茨城県農業試験場病虫部上田康郎氏、同渡辺健氏、元病虫部山崎（旧姓戸嶋）郁子氏、同小森隆太郎氏（現茨城県病害虫防除所）、同河又仁氏（現農林水産省農業生物資源研究所）の各位にも多大のご協力をいただいた。さらに、試験圃場管理は故矢倉保信氏、中崎栄市氏、中崎新氏、笹島みつ氏各位のご援助によるところが大きかった。これら関係各位には心から感謝の意を表する。

なお、本研究は農林水産省の指定試験事業により行ったものである。



## Ⅱ 研 究 史

### 1. 土壌中におけるフザリウム菌の生態

土壌伝染性フザリウム菌の土壌中における生態研究は、1960年代に入ってから生態防除<sup>99)</sup>の基礎研究として盛んに行われるようになった。とくに、米国では、Snyder一派によるインゲン根腐病菌(*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*)についての研究が勢力的に行われ<sup>15, 25, 77, 88, 96-99, 106, 110, 111)</sup>、厚膜胞子の発芽および形成条件などの生態をみごとに解明している。

土壌伝染性フザリウム菌の厚膜胞子は土壌中で栄養が与えられなければ発芽することなくそのまま生存し、糖類やアミノ酸および有機酸の供給によって発芽が刺激されるが<sup>16, 111)</sup>、通常水だけでは発芽しない<sup>96, 110)</sup>。また、厚膜胞子は宿主やその他の植物根からの分泌液で発芽することが明らかになっている<sup>111)</sup>。Schrothら(1963)<sup>98)</sup>は、インゲン根腐病菌(*F. solani* f. sp. *phaseoli*)の厚膜胞子はインゲンの根から分泌される22種のアミノ酸のうち2種類を除いてはすべて発芽を促進する効果のあることを報告している。Adamsら(1968)<sup>1)</sup>は作物残さの分泌液も胞子発芽を促進することを認めている。インゲン根腐病菌の他にエンドウ根腐病菌(*F. solani* f. sp. *pisi*)についても土壌中の生態研究が行われ<sup>17, 104)</sup>、同様の結果を得ている。我が国では、駒田ら(1969)<sup>90)</sup>がダイコン萎黄病で、洪(1969)<sup>49)</sup>がキュウリつる割病で分生子の発芽と厚膜胞子形成をみているが、洪(1969)<sup>49)</sup>によると、キュウリつる割病菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)の分生子は殺菌土壌中において発芽すると発芽管の先端に分生子を形成して厚膜胞子となり、Nashら(1961)<sup>77)</sup>がインゲン根腐病菌(*F. solani* f. sp. *phaseoli*)を殺菌土に入れた場合に胞子から発芽管が伸長してその発芽管(菌糸)上に厚膜胞子を形成する現象とは異なった行動をとることを明らかにした。*F. moniliforme*について、鍵渡(1963)<sup>43)</sup>は培地上では厚膜胞子を形成しないこと、また、渡辺(1974)<sup>113)</sup>は土壌中で厚

膜胞子を形成せず菌糸で生存すると述べている。

これらの現象から、フザリウム菌の土壌中における生態はフザリウム菌の種(species)によって異なることが暗示される。

Lockwood(1964)<sup>57)</sup>は、自然土壌中において胞子の発芽や菌糸の伸長が抑制される現象に対して土壌静菌作用(soil fungistasis)という概念を提唱した。この作用の発生する機作についてはまだ不明の点も多いが、この作用の失われるのは植物の根圏であり、土壌に糖、アミノ酸や有機酸などの栄養源を添加したり、それらを溶出する有機物を施用したり、土壌を殺菌した場合である。また、殺菌土壌に微量の無殺菌土壌を接種すると静菌作用が回復するので、静菌作用に土壌微生物が何らかの関連をもっているものと考えられる。

Nashら(1961)<sup>77)</sup>によると、*F. solani* f. sp. *phaseoli*の小型分生子は大型分生子よりも静菌作用に感受性であるという。このように、土壌中においてフザリウム菌の小型、大型分生子および厚膜胞子はそれぞれの性質に応じてこの静菌作用の影響をうけているものと思われる。

Burke(1965)<sup>11)</sup>はインゲンの連作によって根腐病に汚染された土壌(root rot soil)と連作にもかかわらずわずかにしか発病のみられない土壌(resistant soil, 抑止土壌)とを用いて、両土壌中での病原菌(*F. solani* f. sp. *phaseoli*)の行動の違いから抑止土壌での発病抑制の機構を明らかにしようとした。大型分生子を土壌中に埋設してその行動を観察したところ、抑止土壌では汚染土壌よりも発芽管の伸長が良好で厚膜胞子の形成は遅く小さくて少なかった。Smith(1977)<sup>105)</sup>らも同様に二種類の土壌中での*F. oxysporum*の厚膜胞子の発芽とその後の菌糸の伸長を観察して、抑止土壌では汚染土壌に比較して菌糸伸長は小さいが、この原因として抑止土壌では*Arthrobacter* sp.が発芽管の周辺で著しく増加していることよるとした。

このように、病原菌の種類のみならず、土壌の種類によってもフザリウム菌の土壌中での生態の異なることが暗示される。

Garrett(1956)<sup>26)</sup>は病原菌が植物に発病をおこし得る潜在的な能力をinoculum potential(感染能力あるいは感染源ポテンシャル)と呼んだ。圃場においてフザリウム病の発病条件を明らかにするためには病原菌のinoculum potentialと発病との関係を明らかにする必要がある。

病原菌の密度と発病との関連については、Cook(1968)<sup>18)</sup>が*F. roseum* f. sp. *cerealis*で、Baker and Maurer(1967)<sup>5)</sup>が*F. solani* f. sp. *phaseoli*で、駒田(1976)<sup>51)</sup>がダイコン萎黄病、キュウリつる割病、トマト萎ちょう病で研究し、病原菌密度と発病程度とは一致することを報じている。また、Baker and Cook(1974)<sup>7)</sup>は多くの病原菌について菌密度と発病との関係について総括している。

病原菌のinoculum potentialは植物に寄生的な定着を成立させるエネルギーの総和であるので<sup>28)</sup>、土壌伝染性病害の場合には菌密度のみならず土壌条件の影響も考慮する必要がある。Curl(1963)<sup>19)</sup>は未分解有機物施用土壌では病原菌密度と発病とは必ずしも相関のないこと、松田ら(1968<sup>59)</sup>, 1969<sup>60)</sup>)は消石灰の土壌施用が病原菌に作用してinoculum potentialに影響を及ぼすことを明らかにしている。また、伊藤(1974)<sup>42)</sup>や小川・駒田(1982)<sup>81)</sup>は病原菌の質的要因すなわち病原力が各種の土壌条件で差の生じていることを報告している。

一方、宿主作物からみると、村田・大原(1936)<sup>76)</sup>や木谷ら(1957)<sup>48)</sup>が石灰施用土壌で研究しているように、抵抗性の賦与による発病の軽減なども考慮する必要があるが、これらについての研究例は極めて少ない。

## 2. 連輪作とフザリウム病の発生

輪作のフザリウム病に対する発病軽減効果は古くから報告されている。インゲン根腐病の発生はトウモロコシ、アルファルファ、コムギ、オオムギとの輪作で軽減し<sup>37, 58, 106, 112)</sup>、トマト萎ちょう病はアルファルファ、リクトウ、ト

ウモロコシとの輪作で軽減し<sup>30, 62)</sup>、ジャガイモ萎ちょう病<sup>30)</sup>やテンサイ黄化病<sup>75)</sup>はアルファルファとの輪作でそれぞれ軽減する。しかし、サツマイモつる割病<sup>88)</sup>やバナナ萎ちょう病<sup>10)</sup>のように輪作によっても効果のみられなかった例もある。Baker and Cook(1974)<sup>7)</sup>は春コムギを栽培することにより病原菌密度を低下させてコムギ紅色雪腐病を防除できることを報告した。さらに、輪作の効果について、伊藤(1975)<sup>42)</sup>や東田ら(1982)<sup>34)</sup>は病原菌の病原力の低下によるところが大きいと述べている。

Hiltner<sup>35)</sup>が1904年に、いわゆる「根圏」という概念を提唱して以来、多くの研究者らによって作物根圏での病原菌の生態を解明する研究が盛んに行われるようになった<sup>31, 84, 92, 96)</sup>。また、鈴木・石沢(1965)<sup>107)</sup>によって水中分画法が考案され、作物根圏を根面から根の影響の及ばない土壌までを区分して、根圏での菌密度をより詳しく測定できるようになった。

Rovira(1965)<sup>92)</sup>は作物根から病原菌胞子の発芽を助長するようなアミノ酸、有機酸、ビタミン、酵素などが分泌されていることを明らかにした。また、同様に、作物根の分泌物が病原菌胞子の発芽を助長したとする研究は多い<sup>18, 17, 23, 31, 84, 96~99, 104, 110)</sup>。しかし、作物根は病原菌の活動を活性化させる物質を分泌するのみならず、Timonin(1941)<sup>109)</sup>のいうように、アマ立枯病の抵抗性品種の根からは病原菌の活動を抑制する青酸が分泌されたり、Davis(1964)<sup>22)</sup>のいうように、キャベツやワタの根が多くの*F. oxysporum*の種の生育を抑制する物質を含んでいることなど、作物根は一方では病原菌の活性を抑制する作用をもっていることが推察される。

フザリウム病の発生にネコブセンチュウが関与しているという報告は、Atkinson(1892)<sup>4)</sup>によって*F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum*とネコブセンチュウとの関連で初めて観察されて以来、数多く研究されている<sup>36, 40, 44~46, 81, 66)</sup>。このような現象の起きる原因として、センチュウの寄生によって寄生根からの分泌作用が盛んとなり<sup>8, 38)</sup>、作物根圏のフザリウム菌が増加

すること<sup>8, 24)</sup>、さらに、病原菌に対する抵抗性が変化するという報告もある<sup>9, 89, 90)</sup>。

### 3. 有機物施用とフザリウム病の発生

土壌伝染性病害の発生を軽減するために、土壌へ有機物を施用する試みは1920年代から行われている。ジャガイモそうか病に対して青刈ダイズをすきこむと発病を軽減するが<sup>91)</sup>、青刈ライムギ、青刈オオムギ、青刈クローバーでは効果がなかった<sup>91, 93, 94)</sup>。Weinhold and Bowman (1968)<sup>114)</sup>は青刈ダイズ、青刈オオムギをすきこむと土壌中の細菌や拮抗菌(*Bacillus subtilis*)が増殖すること、青刈ダイズをすきこんだ場合の拮抗菌の産生する抗生物質の量は、青刈オオムギをすきこんだ場合に比較して2~3倍も多く、この抗生物質が病原菌に作用して発病を軽減したと推察している。

ワタ根腐病に対して鶏ふん、その他の有機物施用の効果が認められた<sup>47)</sup>。Mitchellら(1941)<sup>71)</sup>はこの防除効果について、これらの有機物の施用によって一般的な土壌微生物の活性が高まって菌核が死滅することに起因するとした。

この他、インゲン根腐病に対してC/N比の高い有機物の施用が<sup>108)</sup>、また、エンドウファノマイセス根腐病<sup>85)</sup>、ゴマ根腐病<sup>2)</sup>、インゲン茎腐病<sup>83)</sup>に対してC/N比の低い有機物の施用が有効であった。キュウリつる割病に対しては、馬ふん、牛ふん、豚ふんやパーク堆肥の連用効果が、エンドウ根腐病に対してはキャベツ、コカブ、カラシナなどの茎葉のすきこみの効果が認められている<sup>85)</sup>。

しかし、有機物施用時期との関連で効果が異なる場合がある。とくに、未分解有機物施用の場合、施用してからある程度の放置期間が必要で、施用直後に作物を播種するとかえって障害が出るとの研究例が多い<sup>87, 83, 85, 86, 95, 118)</sup>。

有機物施用効果の現れる原因としては、Baker (1968)<sup>8)</sup>、Lewis and Papavizas (1973)<sup>55)</sup>、Mitchell (1973)<sup>74)</sup>などの総説があが、これまでの研究からすると拮抗菌や分解物質とするものが多い。Lewis and Papavizas (1971)<sup>54)</sup>によると、アブラナ科植物の残さは分解産物としてメチオニンおよびメチルシステイン硫酸塩のような含硫黄化合物と揮発性の含硫黄物質を産生して病原菌の発芽を阻害して発病が軽減したという。同様の結果がChinnら(1953)<sup>14)</sup>、Griffin (1964)<sup>29)</sup>、Mitchell and Alexander (1962)<sup>72)</sup>、Mitchell (1963)<sup>73)</sup>、Zentmeyer and Thompson (1967)<sup>118)</sup>、Gilpatrick (1969)<sup>28)</sup>およびGilbertら(1969)<sup>27)</sup>など多くの研究者によって認められている。

さらに、有機物施用によって土壌静菌作用が増強して発病が軽減したとする報告<sup>83, 118)</sup>、あるいは細菌と糸状菌の割合、B/F値を高めて土壌を細菌型にすることによって発病を軽減したとする報告<sup>41, 108)</sup>がある。また、有機物施用が作物の生育に影響して病害に対する抵抗性を高めたとする研究例もある<sup>55, 78)</sup>。

本研究の対象とした乾燥豚ふんの土壌施用効果についての研究はこれまでのところ見当たらない。

### Ⅲ 土壤中におけるフザリウム菌の生態

土壤伝染性フザリウム菌の土壤中の生態，すなわち，生存様式，厚膜胞子の発芽条件などに関する研究は近年著しく進展した。とくに，*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*に関する研究成果は土壤中におけるフザリウム菌の複雑な生態を見事に解明している<sup>77, 96~99, 110</sup>。土壤伝染性フザリウム菌は土壤中で厚膜胞子として長期間生存するが<sup>77, 96</sup>，宿主作物の根や残さなどからの分泌液によってその発芽が促進されるといわれる<sup>1, 16, 17, 96~99, 104</sup>。*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*の厚膜胞子はインゲンの根から分泌される22種類のアミノ酸のうち，2種類を除けばすべて発芽が促進されるという<sup>98</sup>。

フザリウム菌の厚膜胞子は，外部から栄養源が供給されないかぎり発芽することはなく長期間生存できる<sup>111</sup>。したがって，厚膜胞子形成条件を明確にするならば土壤中の病原菌密度，いわゆる感染能力 (inoculum potential<sup>26</sup>) を減少させて生態的防除法の一手段として応用できるものと考えられる。

本章では主として*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*によるキュウリつる割病の生態的防除法の確立を目標にして土壤環境条件，栄養条件，土壤の種類などによって受ける直接

的および間接的な胞子の形態ならびにその量的な変化を把握するとともに，病原菌数と発病との関連について究明しようとした。そのためフザリウム菌の増殖の指標となる分生子，生存形態である厚膜胞子の発芽とこれにともなう経時的な形態変化の観察ならびに各種土壤条件下における病原菌密度が発病に及ぼす影響について検討することが必要と考え以下の実験を行った。なお，本章ならびに以下の章で供試したフザリウム菌ならびにその他の病原菌を第1表に示した。

#### 1. 土壤中におけるフザリウム菌分生子および厚膜胞子の行動

##### 1) 土壤中におけるフザリウム菌分生子の発芽と厚膜胞子形成ならびに厚膜胞子の発芽

フザリウム菌の分生子および厚膜胞子は土壤中において，栄養源が与えられると発芽し，やがて栄養物質が欠乏すると厚膜胞子を形成することが知られている。その行動がフザリウム菌の種によってどのように異なるか，土壤の種類ならびに土壤温度や湿度が及ぼす影響，また，各種栄養源が厚膜胞子の発芽に及ぼす影響とその持続期間などについて明らかにした。

第1表 供試病原菌の一覧表

供試病原菌	学名	来歴
キュウリつる割病	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	茨城農試分離菌(1965)
トマト萎ちょう病	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	東京都農試からの分譲菌(1958)
ダイコン萎黄病	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i>	信州大からの分譲菌(1977)
エンドウ根腐病	<i>F. solani</i> f. sp. <i>pisi</i>	同上(1965)
リクトウ株枯病	<i>F. moniliforme</i>	茨城農試分離菌(1959)
コンニャク根腐病	<i>Pythium aristosporum</i>	同上(1975)
ジャガイモそうか病	<i>Streptomyces scabies</i>	農技研からの分譲菌(1976)

### 実験方法

#### (1) 各種フザリウム菌の分生子発芽と厚膜胞子形成

供試菌：①*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* (キュウリつる割病菌，以下F. o. cと略す)，②*F. oxysporum* f. sp. *lycoopersici* (トマト萎ちょう病菌，以下F. o. lと略す)，③*F. solani* f. sp. *pisi* (エンドウ根腐病菌，以下F. s. pと略す)，④*F. moniliforme* (リクトウ株枯病菌，以下F. mと略す)。

分生子の発芽および厚膜胞子形成観察法：供試フザリウム菌の麦粒培地(25Cで30日間培養)に殺菌水を注ぎ分生子を浮遊させ，二重ガーゼで濾過した後，蒸留水で3回，遠心沈殿法(3,000r. p. mで3分間)によって洗滌して集菌した。この分生子液を0.1%の寒天水で希釈し，顕微鏡一視野(Zeiss, K15×40倍)内の胞子数を10~20個とした。この胞子懸濁液をChinn(1953)<sup>19)</sup>に準じて，殺菌した清浄スライドグラス上に1mlのメスピペットで1滴ずつ3カ所に滴下した。胞子懸濁液を風乾後，ただちに供試土壌をつめた300ml容ビーカーにスライドグラスを埋設し，28Cの定温器内に保ち，埋設5日，10日，15日，30日および60日後にこれを取り出して，火焰固定後ローズベンガル液(Rose bengal 1.0 g, CaCl<sub>2</sub> 0.01 g, 5%

フェノール100ml)で染色し，分生子の発芽および厚膜胞子の形成状況を調査した。なお，厚膜胞子の形成数は10視野(Zeiss, 15×40倍)について測定した。

供試土壌：厚層腐植質黒ボク土(石岡市茨木，茨城農試場環境部，イネ科雑草繁茂土)を2mm目のフルイを通し，無殺菌状態および蒸気殺菌(120C, 30分間)状態で供試した。土壌水分は飽和含水量の45%となるように調整し，5日ごとに蒸発水分量を給水した。

#### (2) 土壌の種類とフザリウム菌の分生子発芽および厚膜胞子形成

供試土壌：第2表に示した供試土壌を採取後風乾し，2mm目のフルイを通して植物残さおよび礫を除いた後，蒸気殺菌(100C, 30分間)を行った。その後，蒸気殺菌土を用いて，各無処理土壌を所定の濃度に希釈した。これらの土壌に前試験に準じてキュウリつる割病菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)の小型分生子を0.1%寒天水に懸濁したもの(46×10<sup>6</sup> CFU/ml)を滴下して風乾したスライドグラスを埋設して，25Cに保った。供試土壌の水分は，新治土，石岡土および岩井土では飽和含水量の約40%，息栖土では飽和含水量の約30%であった。分生子の発芽および厚膜胞子形成状況は，前実験に準じて調査した。

第2表 供試土壌の種類および来歴

供試土壌	土壌の種類*	採取地，その他
新治土	厚層多腐植黒ボク土	茨城県真壁郡協和町久地楽 前作：ダイコン，PH4.2(KCL)
石岡土	厚層腐植黒ボク土	茨城県石岡市茨木，農試場内 雑草繁茂地，PH5.3(KCL)
岩井土	淡色黒ボク土	茨城県岩井市岩井 雑草繁茂地，PH4.4(KCL)
息栖土	砂丘未熟土	茨城県鹿島郡神栖町息栖 前作：コムギ，PH4.5(KCL)

\*土壌の種類は日本土壌肥料用語集<sup>19)</sup>による。

### (3) 土壤温度ならびに土壤水分含量とフザリウム菌厚膜胞子の発芽

供試菌の厚膜胞子形成法：キュウリつる割病菌 (*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) のバレイショ煎汁寒天平板培地で28C, 14日間培養した菌叢に殺菌水を注いで分生子を浮遊させ、二重ガーゼで濾過した後、蒸留水で1回、遠心沈殿法 (3,000r. p. m. で3分間) によって洗滌して集菌した。この分生子液を0.1%素寒天水で希釈し、濃度が $89.3 \times 10^6$  CFU/mlの胞子懸濁液を作成した。この液を殺菌したスライドグラス上に1mlのメスピペットで1滴ずつ滴下し風乾した後、ただちに厚層多腐植質黒ボク土 (水戸市上国井町, 茨城県農業試験場内圃場の雑草繁茂土) の蒸気殺菌土 (120C, 30分間) に埋設し、28Cで約2カ月間保って厚膜胞子を形成させた。

供試土壤は前記した同一土壤を無殺菌のまま約2カ月間風乾して使用した。土壤温度に関する実験では、土壤水分含量を飽和容水量に対して40%となるように純水のみを加えた区と、さらに、グルコースを1,000ppmとなるように調整した区を設けた。これらの土壤を300ml容ビーカーにつめて、上記の厚膜胞子を形成させたスライドグラスを埋設して、5, 10, 15, 20, 25, 28, 30および35Cで62時間保った。また、土壤水分含量に関する実験では、上記の実験に準じて土壤水分含量を飽和容水量に対して30, 40および50%となるように純水のみを加えた区と、さらに、グルコース溶液を加えて1,000ppmとなるように調整した区を設けた。厚膜胞子の発芽状況は前実験に準じて調査した。

### (4) 各種栄養源の濃度とフザリウム菌厚膜胞子の発芽

前実験と同時に作成したキュウリつる割病菌 (*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) の厚膜胞子を形成させたスライドグラスを用い、これを各種栄養源を添加した前実験と同じ土壤に埋設して実験を行った。

栄養源としては、グルコース、キシロース、フラクトース、アスパラギン、アスパラギン酸、グルタミン、グルタミン酸、バリン、メチオニ

ン、コハク酸およびクエン酸を供試した。これらの栄養源の溶液を前実験と同じ供試土壤に添加して、その濃度が500, 1,000および2,000ppmで、さらに、土壤水分含量が飽和容水量の40%となるようにした。

これらの土壤に前実験に準じてスライドグラスを埋設して、厚膜胞子の発芽状況を調査した。

### (5) 栄養源土壤添加後の厚膜胞子発芽助長の持続期間

供試土壤：厚層腐植質黒ボク土 (休かん畑土壤, 石岡市茨木産) を径2mm目のフルイを通し風乾して供試した。

栄養源の土壤添加：風乾細土100g当りにグルコースの0.26%液を30mlずつ注いでよく混和した。その結果、グルコースの濃度は処理土壤当たり600ppm, 土壤水分含量は飽和容水量の約40%となった。なお、グルコースを添加しない蒸気殺菌土および無殺菌土区を対照とした。

前実験と同様の方法でキュウリつる割病菌 (*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) 厚膜胞子を形成させたスライドグラスを埋設し、25Cで6, 12, 18, 24および48時間保った後厚膜胞子の発芽率の変化を調べた。さらに、各処理をおこなった土壤を0, 3, 6, 12, 18, 24および48時間放置した後、上記のスライドグラスをそれぞれ25Cで24時間埋設して発芽の持続時間を調べた。グルコース添加土壤については経時的に還元糖の消長をベルトラン法<sup>80)</sup>で調べた。また、各処理土壤中の土壤微生物数の変動を希釈平板法によって調査した。供試培地はContois(1953)<sup>15)</sup>に準拠し、細菌と放線菌についてはB培地を、糸状菌についてはRBS培地を用いた。なお、これら培地の組成については後述 (IV-1) する。

### 実験結果

#### (1) 各種フザリウム菌の分生子発芽と厚膜胞子形成

##### ① *F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*

第3表および図版-1に示したように、蒸気殺菌土に埋設した本菌の小型分生子は、5日後には81.4%の発芽率を示し、ほとんどの分生子が発芽した。しかし、無殺菌土中では分生子の

発芽率は極めて低かった。厚膜胞子の形成は殺菌土においては良好であり、埋設10日後から認められ、発芽管の先端に多く形成された。しかし、埋設15日後になると発芽管から伸長した菌糸からの厚膜胞子の形成が極めて多くなった。また、殺菌土では埋設5日後には菌糸上に2次的に小型分生子の形成が認められたが、埋設した小型分生子よりも小型であり発芽しているものは認められなかった。一方、無殺菌土中では

埋設60日後においても厚膜胞子の形成はほとんど行われず、染色される小型分生子は極めて少なくなった。

② *F.oxysporum* f. sp. *lycopersici*

本菌小型分生子の発芽および厚膜胞子の形成は、前述のF. o. c. の場合とほぼ同様の傾向を示した(第3表)。すなわち、殺菌土では埋設5日後に分生子は64.2%発芽し、厚膜胞子の形成が埋設5日後から発芽管の先端に認められ、と

第3表 土壌中における各種*Fusarium*属菌の胞子発芽と厚膜胞子形成

供試菌	埋設期間 日	蒸気殺菌土			無殺菌土		
		調査胞子数	発芽率 %	厚膜胞子 形成数	調査胞子数	発芽率 %	厚膜胞子 形成数
<i>F.oxysporum</i> f. sp. <i>cucu-</i> <i>merinum</i> (小型分生子)	5	224	81.4	0	212	1.3	0
	10	203	15.7	84	210	1.1	0.3
	15	234	8.9	213	203	0.8	0.5
	30	215	2.3	230	205	1.0	0.5
	60	163	0	201	172	0	0.2
<i>F.oxysporum</i> f. sp. <i>lyco-</i> <i>persici</i> (小型分生子)	5	136	64.2	8	81	0	0
	10	86	2.7	66	76	0.7	0.3
	15	94	3.2	74	52	0.7	0.5
	30	128	4.1	91	47	0.3	0.5
	60	112	0	84	14	0	0.2
<i>F.solani</i> f. sp. <i>psi</i> (小型分生子)	5	605	16.5	0	624	5.5	2
	10	588	6.2	3	653	0.7	2
	15*	597	4.4	11	686	1.0	71
	30*	573	1.9	32	608	0.2	76
	60*	221	0	28	246	0	60
<i>F.solani</i> f. sp. <i>psi</i> (大型分生子)	5	200	60.3	0.2	200	35.2	6
	10	200	76.0	0.7	200	2.0	43
	15**	—	—	—	—	—	—
<i>F.moniliforme</i> (小型分生子)	5	507	54.5	0	502	12.3	0
	10	350	54.5	0	514	10.5	0
	15	306	46.0	0	499	8.2	0
	30	144	23.1	0	420	1.8	0
	60	44	0	0	96	0	0

\* 埋設15日後以降の厚膜胞子形成数は大型分生子から形成されたものも含まれる。

\*\*埋設期間が10日までは発芽管が染色され、厚膜胞子が小型分生子あるいは大型分生子から由来したかが明瞭であったので、両者を区別して厚膜胞子形成数を調査できた。しかし、15日以降では分生子の発芽管が染色されないものが多くなったので調査を中止した。

くに、10日後以降に多く形成された。しかし、埋設60日後の厚膜胞子の形成はF. o. c.に比較して少なかった。一方、小型分生子は無殺菌土中ではほとんど発芽せず、埋設60日後には染色されるものは極めて少なくなった。F. o. c.と同様に、殺菌土へ埋設5日後には菌糸上に2次的に小型分生子の形成が認められた。

### ③ *F. solani* f. sp. *pisii*

第3表に示したように、殺菌土に埋設した本菌の小型分生子の発芽率はF. o. c. およびF. o. l.の小型分生子に比較して低かった。無殺菌土よりも殺菌土において発芽がやや良好になる傾向はF. o. c. およびF. o. l.の場合と同様であった。しかし、大型分生子の発芽は、殺菌土では埋設10日後に76.0%、無殺菌土でも埋設5日後に35.2%と良好になり、無殺菌土中における大型分生子の発芽率の高さは特異的であった。一方、厚膜胞子の形成はF. o. c. およびF. o. l.の場合と異なり、発芽管から伸びた菌糸上に多くみられ、殺菌土よりも無殺菌土の場合が良好であった。しかし、この現象は、無殺菌土に埋設後10日目以降の厚膜胞子の形成が小型分生子よりも大型分生子で高かったことから、小型分生子と大型分生子の違いによるものと考えられる。また、本菌の発芽しなかった胞子は、典型的な球形の厚膜胞子を形成せず、埋設後15日以降に紡錘型の厚膜胞子となった。前述したF. o. c. およびF. o. l.の場合とは異なって、2次的な小型分生子の形成はほとんど認められなかった。

### ④ *F. moniliforme*

第3表に示したように、本菌の小型分生子の発芽率は埋設5日後に、殺菌土中では54.5%、無殺菌土中では12.3%を示し、とくに、無殺菌土中における発芽率はF. o. c.、F. o. l. およびF. s. p.の小型分生子に比較して高かった。しかし、厚膜胞子の形成は埋設60日後においても、殺菌土、無殺菌土中ともにまったく認められなかった。また、発芽した胞子は次第に消滅し、発芽管も認められなくなった。

なお、F. o. c. およびF. o. l. は小型分生子のみを形成し大型分生子はほとんど形成しなかった。また、F. s. p.は小型分生子および大型分生子を

形成したが、F. m.は小型分生子のみを形成し大型分生子は全く形成しなかった。

分生子の発芽状況ならびに厚膜胞子の形成は、一般に無殺菌土よりも殺菌土の方が良好であり、土壌を殺菌することによって静菌作用の消失することならびに分泌される胞子発芽の誘引物質の存在が示唆された。

供試菌種は小型分生子のみを形成するものと大型分生子を形成するものがあったが、その菌の形態によっても発芽率ならびに厚膜胞子形成に差異が認められた。殺菌土中において小型分生子は発芽しないと厚膜胞子の形成は認められないが、大型分生子が発芽した場合は厚膜胞子形成が認められ、発芽しなくとも大型分生子上に直接に厚膜胞子形成が認められた。しかし、無殺菌土中では小型分生子の発芽はほとんど認められないが、大型分生子は良く発芽した。これらの事実は、とくに無殺菌土（自然土）における厚膜胞子形成に、小型分生子に比較して大型分生子の果たす役割が大きいものと言える。また、厚膜胞子は土壌中におけるフザリウム菌の耐久体であることを考えると、*F. moniliforme*が土壌中において厚膜胞子を形成しないことは、従来から本菌の土壌伝染率が極めて低いといわれている結果<sup>43, 113)</sup>と一致し興味がある。

### (2) 土壌の種類とフザリウム菌の分生子発芽および厚膜胞子形成

調査結果を第4表に示した。小型分生子の発芽率は新治土中では、他の土壌に比較して各希釈率ともに低い、非殺菌土含有率が高くなるにつれて発芽率が大きく低下した。石岡土でも新治土とほぼ類似した傾向を示した。一方、岩井土と息栖土では発芽率が高く、また、非殺菌土含有率が高くなっても発芽率は極端に低下しなかった。

厚膜胞子の形成は、分生子発芽率の低い新治土および石岡土中では極めて少なく、分生子発芽率の高い岩井土と息栖土では多かった。新治土と石岡土では非殺菌土含有率が高くなるにつれて厚膜胞子形成数は少なくなったが、岩井土と息栖土では非殺菌土含有率が高い場合にも多数の厚膜胞子を形成した。



以上の結果は、土壌の種類によって分生子の発芽および厚膜孢子形成が異なることを示した。このことが、フザリウム病の発生とどのように関連するか興味をもたれる。

(3) 土壌温度ならびに土壌水分含量とフザリウム菌厚膜孢子的発芽  
キュウリつる割病菌の厚膜孢子的発芽に及ぼ

す各種土壌温度の関係をみると、第5表および図版-2に示したように、グルコース無添加土壌ではどの土壌温度でもほとんど発芽率は低かった。一方、グルコースの1,000ppm添加土壌では5~35Cで発芽は認められたが、発芽最適温度は発芽率からみて25~30Cであると考えられた。

第4表 各種土壌の混和率と*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*小型分生子の発芽および厚膜孢子形成

土壌の種類	自然土含有率 %	分生子の発芽状況		厚膜孢子形成数
		調査孢子数	発芽率%	
新 治 土	0	302	87.6	71
	2	347	83.4	87
	5	345	79.3	61
	10	312	75.2	47
	25	368	73.3	40
	50	335	69.9	35
	100	313	57.0	15
石 岡 土	0	329	93.3	166
	2	329	87.4	202
	5	341	87.8	47
	10	339	85.3	51
	25	350	81.5	30
	50	351	74.1	11
	100	337	54.6	17
岩 井 土	0	313	92.0	225
	2	332	89.6	539
	5	327	86.4	333
	10	317	83.6	272
	25	265	81.5	281
	50	306	80.6	144
	100	324	81.7	52
息 栖 土	0	315	90.3	955
	2	305	88.6	447
	5	308	88.2	437
	10	313	88.6	453
	25	310	86.1	435
	50	331	79.5	275
	100	338	74.6	61

分生子の発芽は埋設24時間後に、厚膜孢子形成は埋設15日後に調査した。  
厚膜孢子形成数はオリンパス顕微鏡K15×40倍で100視野当たりの形成数を調べた。  
それぞれ3反復で行った。

土壤水分含量との関係を見ると、飽和容水量の30%は、畑地ではやや乾燥した状態と考えられるが、グルコースを1,000ppm添加土壤に埋設された厚膜胞子は土壤水分に関係なく62時間以

内にほとんどのものが発芽をしていた。一方、グルコース無添加土壤ではどの土壤水分でも厚膜胞子はほとんど発芽しなかった。

第5表 土壤温度ならびに土壤湿度とフザリウム菌厚膜胞子の発芽

埋設処理	グルコース添加土		無添加土		
	調査胞子数	発芽率%	調査胞子数	発芽率%	
土壤温度	5 C	312	1.8	316	0
	10 C	319	37.0	322	0
	15 C	314	71.1	320	0.3
	20 C	309	75.1	316	0.8
	25 C	318	78.0	311	0.5
	28 C	338	78.2	303	0.9
	30 C	307	78.7	310	0.7
	35 C	312	62.2	301	0.6
土壤湿度	30%	312	79.5	303	0.3
	40%	338	78.2	312	0.9
	50%	312	79.6	307	0.6

グルコースの添加濃度は風乾土に対して1,000ppmである。調査は28 C, 62時間後に行った。各区とも3反復。

第6表 各種栄養源の土壤への添加濃度とフザリウム菌厚膜胞子の発芽

供試栄養源	500ppm		1,000ppm		2,000ppm	
	調査胞子数	発芽率%	調査胞子数	発芽率%	調査胞子数	発芽率%
グルコース	323	57.9	317	82.7	313	95.8
キシロース	309	49.5	307	69.7	310	96.5
フラクトース	324	50.4	317	69.0	317	86.0
アスパラギン	312	14.7	331	31.8	326	65.9
アスパラギン酸	329	2.9	312	9.0	323	23.1
グルタミン	312	9.2	319	29.4	309	55.6
グルタミン酸	307	6.7	315	15.3	314	21.1
バリン	317	55.7	326	81.1	308	91.3
メチオニン	307	0.1	310	0.1	311	0
コハク酸	305	5.1	316	15.0	318	26.9
クエン酸	304	0.1	309	0.3	312	0.9
蒸留水	321	3.1	—	—	—	—

グルコースの添加濃度は風乾土に対するppmである。調査は28 C, 62時間後に行った。各区とも3反復。

(4) 各種栄養源の濃度とフザリウム菌厚膜胞子の発芽

各種栄養源の土壌添加と厚膜胞子の発芽状態をみると、第6表に示したように、糖類ではグルコース、キシロースおよびフラクトースともに発芽が良好であり、とくにグルコースで発芽率が高かった。添加濃度と発芽との関係を見ると、500ppmで49.5~57.9%、2,000ppmでは86.0~98.5%と濃度が高くなるにつれて発芽率は高くなった。また、アミノ酸類ではバリンは糖類と同様に良好な発芽を示したが、その他のアミノ酸類は糖類に比較して一般に発芽率は低かった。しかし、アスパラギンおよびグルタミンの2,000ppm添加は55.6~65.9%とやや高い発芽率を示した。メチオニンは500~2,000ppm添加でいずれもほとんど発芽しなかった。一方、有機酸ではコハク酸の2,000ppm添加でやや高い発芽率を示したものの、クエン酸はいずれの濃度ともに発芽率は極めて低かった。

(5) 栄養源土壌添加後の厚膜胞子発芽助長の持続期間

グルコース添加土壌中に埋設したフザリウム菌厚膜胞子は、第7表に示したように、6時間後には、その40%が発芽し、18時間後にはほぼ100%の発芽率を示した。蒸気殺菌土中でもほぼ同様の傾向を示した。しかし、無殺菌土壌中で発芽率の低いのは前実験と同様であった。一方、グルコースの土壌添加による発芽持続時間

をみるために行った試験を第8表に示した。厚膜胞子の発芽率は添加後18時間目には急激に低下した。いいかえれば、発芽助長効果の持続時間は極めて短時間であった。また、蒸気殺菌土中でもグルコース添加土壌中とほぼ同様の傾向を示した。

グルコース添加無殺菌土壌における還元糖量は第1図に示したように、添加後24時間目に約50%減少し、48時間目にはほとんど検出されなくなった。第6表に示したように、フザリウム菌厚膜胞子の発芽助長効果は風乾土に対してグルコースを1,000ppm以上添加した場合(処理土壌

第7表 グルコース添加土壌中におけるフザリウム菌厚膜胞子の埋設時間と発芽率の変化

埋設時間	埋設時間までの発芽率 %		
	グルコース添加土	蒸気殺菌土	無殺菌土
6	43.0	46.0	6.0
12	72.8	81.5	4.0
18	98.4	88.1	3.0
24	77.6	88.4	4.5
48	85.0	91.3	3.9

各処理区の調査した厚膜胞子数は98~195で、多くは100~130であった。

第8表 グルコース添加後の土壌中におけるフザリウム菌厚膜胞子の発芽持続期間

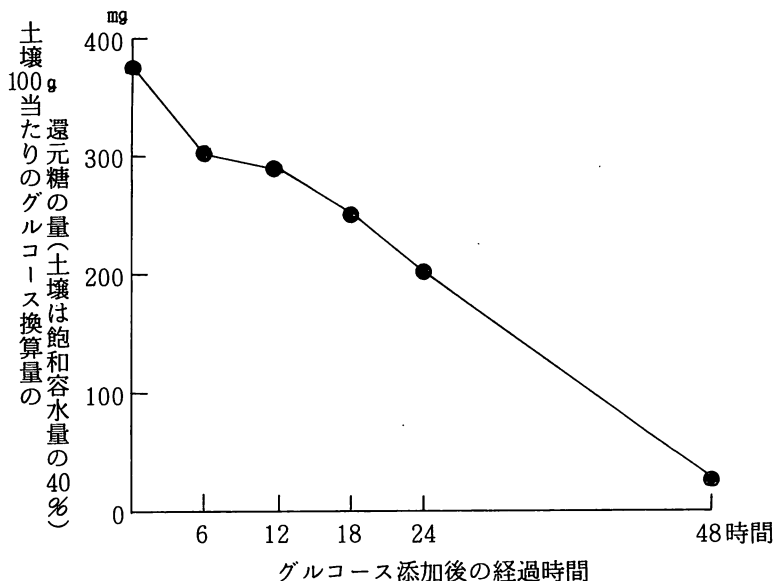
栄養源添加後厚膜胞子埋設までの時間	グルコース添加土		蒸気殺菌土		無殺菌土	
	調査胞子数	発芽率%	調査胞子数	発芽率%	調査胞子数	発芽率%
0	200	81.8	239	69.9	200	1.3
3	212	62.4	249	62.4	209	1.2
6	219	45.1	261	55.9	211	3.0
12	174	49.2	207	43.3	218	1.7
18	200	19.5	-*	-*	212	2.4
24	208	9.7	200	8.4	200	0.8
48	200	3.2	241	4.2	213	0.7

\*印は調査不能、スライドガラスの埋設時間はすべて25Cで24時間であった。

に換算すると800ppm以上)に顕著であった。この土壤における24時間後の還元糖量は第1図から処理土1g当たり約2mg以上、すなわち、2,000ppm以上残存していた。しかしながら、この時期に厚膜胞子を埋設したところ、24時間後

の発芽率は9.7%であり、ほとんど発芽助長効果は認められなかった。

供試土壤中の微生物数は、第9表のように、グルコース添加後12~18時間目頃から細菌数が増加しはじめ、24時間目以降急激に増加した。



第1図 グルコース添加土における還元糖の消長

第9表 グルコース添加土中における微生物の経時的変化

微生物	土 壤 処 理	処理後の経過時間における菌数 *						
		0	12	18	24	48	240	480
殺菌 ( $\times 10^5$ )	グルコース添加土	72	111	114	282	791	552	498
	蒸気殺菌土	3	3	7	0	3	26	46
	無殺菌土	6	17	10	20	27	158	99
放線菌 ( $\times 10^5$ )	グルコース添加土	69	79	37	64	64	557	440
	蒸気殺菌土	3	0	0	7	7	16	81
	無殺菌土	21	21	1	4	4	100	75
** 糸状菌 ( $\times 10^3$ )	グルコース添加土	***	-	-	-	-	28	535
	蒸気殺菌土	0	1	0	0	0	26	20
	無殺菌土	14	6	3	7	10	39	39

\* 菌数は乾土1g当たりのコロニー数  
 \*\* 糸状菌は*Penicillium*属菌の菌数で表示した。  
 \*\*\*-印は細菌のために調査不能。

一方、放線菌および糸状菌数 (*Penicillium* spp.) はグルコース添加後24~48時間以内はほとんど増加せず、顕著な増加は240時間以降であった。

以上の結果から、グルコース添加土壌において24時間後に、フザリウム菌厚膜胞子を発芽させる十分な還元糖量が残存していた場合においても、ほとんど発芽助長効果は認められない。一方、土壌中の微生物数はとくに細菌が短時間に基質を吸収利用して顕著に増殖している。このような現象は、フザリウム菌厚膜胞子が顕著に増殖する細菌との基質競合に劣るためであろうと考えられる。しかし、本実験は厚膜胞子への栄養源の一時的な供給であり、実際の圃場では作物根圏から連続的に栄養源が供給されていると考えられるので、そのような実験系での基質競合作用について明らかにする必要がある。

## 2) 考 察

土壌中における病原菌の行動を観察するには、種々の方法が用いられているが、本章の実験では簡便でより形態変化を観察し易いスライド法<sup>13)</sup>を用いて、フザリウム菌の土壌中における発芽状態などを調査した。

この方法は従来から、病原菌胞子を含んだ寒天水をスライドグラスに固定したものを土壌に埋設し、病原菌の行動あるいは土壌の静菌作用<sup>23, 57)</sup>の観察に用いられている。本実験を行うに当たって、供試菌ができるだけ土壌粒子に直接接触して寒天の影響を少なくするために、寒天の濃度を0.1~0.05%とし、土壌はすべて2mm目のフルイを通して供試した。この方法は間接法<sup>57)</sup>であり、寒天の影響を無視することはできない点で問題がある。このことは実験結果を考察するにあたって十分に考慮しなければならない。

本実験で供試した*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *F.oxysporum* f. sp. *lycopersici* および*F.moniliforme*は人工培地においては小型分生子のみを形成し、*F.solani* f. sp. *pisi*は小型分生子および大型分生子を形成した。実験の結果、いずれの供試菌ともに無殺菌土よりも蒸気殺菌土に埋設した胞子のほうが発芽率が

高く、無殺菌土においては、*F.moniliforme*の小型分生子および*F.solani* f. sp. *pisi*の大型分生子の発芽が比較的良好であった。

フザリウム菌分生子は土壌中において、すみやかに厚膜胞子を形成して休眠状態に入る<sup>25, 77, 97, 110)</sup>。また、Nashら(1961)<sup>77)</sup>によると、培地上に形成された*F.solani* f. sp. *phaseoli*の大型分生子は栄養源を添加しない場合でも、無殺菌土中で発芽し得ると述べている。一方、*F.oxysporum*の小型分生子は作物を栽培しない土壌あるいは栄養源無添加土壌ではほとんど発芽しないと述べられている<sup>49, 50)</sup>。本実験では、*F.oxysporum*および*F.solani*で一部菌種は異なるものもあるが、大型分生子は無殺菌土中で栄養源を与えられなくとも発芽し得ることならびに小型分生子は栄養源を与えられないとほとんど発芽し得ない現象は前述の実験の結果ともほぼ一致した。

Lockwood(1964)<sup>57)</sup>は、土壌中における菌の発芽や生育の抑制される作用をsoil fungistasis(土壌静菌作用)と呼んだが、一般的に小型分生子は大型分生子よりも土壌静菌作用に感受性であるといえる。しかし、*F.moniliforme*の小型分生子の発芽は無殺菌土(作物を栽培しない土壌)でも比較的高く、菌種によっても土壌静菌作用に対する感受性に違いのあることを示している。一方、*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *F.oxysporum* f. sp. *lycopersici*の厚膜胞子形成は殺菌土中で多く、ほとんどは小型分生子の発芽菌糸の先端に分生子を形成せず直接厚膜胞子を形成した。このような現象は、洪(1969)<sup>49)</sup>が報告している発芽管の先端に分生子を形成して厚膜胞子を形成するとした報告とは異なっている。また、小型分生子が発芽して再び2次的に小型分生子を形成する場合があったが、この胞子は殺菌土中で発芽せず溶解した。*F.solani* f. sp. *pisi*の場合、大型分生子は小型分生子よりも厚膜胞子形成が良好であった。これは大型分生子は外部からの栄養源の供給が少ない状態においても、厚膜胞子を形成する潜在能力を保有していることを示している。また、厚膜胞子形成が発芽管から伸びた菌糸上

に多くみられるのは、Nashら(1961)<sup>77)</sup>が*F. solani* f. sp. *phaseoli*で観察した結果と同様であった。一方、*F. moniliforme*では厚膜胞子はまったく形成されなかった。この結果は、鍵渡(1963)<sup>43)</sup>が、本菌は培地上でも土壤中でも厚膜胞子を形成しないと述べていることに一致している。そして、本菌は他のフザリウム菌のように厚膜胞子の形で土壤中に生存せず、渡辺(1974)<sup>113)</sup>が述べているように、菌糸の形で被害作物残さなどで生存するものと思われる。このように、フザリウム菌は種 (Species) の違いにより、また胞子の形態によって、土壤中における胞子の生態に差異があるものと推察される。厚膜胞子の発芽適温は*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の場合、25~30Cであり、生育適温とはほぼ一致していた。一方、土壤水分との関連では、Cook and Flentje(1967)<sup>17)</sup>はエンドウ種子周辺における*F. solani* f. sp. *pisi*の厚膜胞子の発芽が、湿った土壤では乾燥した土壤におけるよりも良好であったと述べている。しかし、著者が*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*を供試した実験においては土壤飽和容水量の30~50%範囲内では厚膜胞子の発芽はほとんど差がなかった。さらに、厚膜胞子の発芽条件については、すでに、Toussoun and Snyder(1961)<sup>110)</sup>、Schroth and Snyder(1961)<sup>98)</sup>、Schroth and Hendrix (1962)<sup>97)</sup>、Schrothら(1963)<sup>98)</sup>、Schroth and Hilderland(1964)<sup>99)</sup>およびCook and Snyder(1965)<sup>16)</sup>によって、*F. solani* f. sp. *phaseoli*について詳細に報告されているが、それらによると種々の糖類やアミノ酸を土壤に加えると発芽するが、通常、水だけでは発芽しないといわれている。本章の前項で述べたように、*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の厚膜胞子でおこなった実験においても、グルコース、キシロース、フラクトース、バリン、アスパラギンおよびグルタミンなどを無殺菌土に添加すると発芽は極めて良好になった。また、林・滝島(1956)<sup>32)</sup>が一般の畑作物の根から分泌されるという各種有機酸のなかでコハク酸が発芽を助長し、クエン酸はほとんど助長しなかった。栄養源を添加した

土壤中において、厚膜胞子の発芽率がどの程度持続するかについて、Dobbsら(1960)<sup>23)</sup>はグルコース1.0%添加土壤では12日間であるが、13日後には添加したグルコースはほとんど消費されていると述べている。本実験で供試した*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の厚膜胞子は、グルコース土壤添加24時間後に土壤中に約2,000ppmの還元糖が残存しているにもかかわらず発芽を認めなかった。この土壤中の微生物の変動をみると、細菌が著しく増加しており、*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の厚膜胞子が発芽しない原因は添加栄養源の消費によるものではなく、増殖した細菌との間で基質に対する競合によって発芽が抑制されたものと考えられるが、この点についてはさらに詳細に検討を加える必要がある。

Burke(1965)<sup>11)</sup>は、インゲン根腐病の発病抑止型土壤においては*F. solani* f. sp. *pisi*の分生子の発芽および厚膜胞子の形成が汚染土壤に比較して不良であり、感染能力が小さいことを報じた。また、Smith(1977)<sup>105)</sup>もこれら二種の土壤における*F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum*および*F. oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*の厚膜胞子の発芽とその後の発芽管の伸長が異なるが、その原因として発病抑止型土壤においては、ある種の細菌*Arthrobacter* sp.がこれら病原菌の増殖を抑制していると述べている。駒田ら(1965)<sup>90)</sup>はダイコン萎黄病が黒ノッポ(多腐植質黒ボク土)よりも赤ノッポ(淡色黒ボク土)で発病し易いが、病原菌(*F. oxysporum* f. sp. *raphani*)の分生子および厚膜胞子の発芽率も後者で良好であったと報じた。

著者の観察によっても、キュウリつる割病菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)の分生子の発芽および厚膜胞子の形成が、砂丘未熟土および淡色黒ボク土では厚層多腐植質黒ボク土および厚層腐植質黒ボク土で良好であった。後述するように、キュウリつる割病は砂丘未熟土および淡色黒ボク土で発病が多い。これらの事実を考え合わせると、厚層多腐植質黒ボク土および厚層腐植質黒ボク土はキュウリつる割病に対して発病抑止型土壤であるといえる。

以上の結果から、病原菌の種類ならびに土壌の種類や土壌環境などの差異により多少異なるが、フザリウム菌の分生子と厚膜胞子の発芽にとって、基本的には栄養源として糖類やアミノ酸の供給が不可欠であることが明らかである。

## 2. キュウリつる割病発生と病原菌の感染能力との関係

土壌中におけるフザリウム菌の発芽生態が明らかになった。しかし、実際の圃場においてフザリウム病の発病条件を明らかにするためには、土壌条件はもちろんのこと、病原菌の感染能力と発病との関係を究明することが必要である。そこで、本項では病原菌の菌密度および各種土壌条件とキュウリつる割病の発生について検討を加えた。

### 1) 土壌中の病原菌密度と発病との関係

病原菌密度と発病との関係を明らかにするため、病原菌を接種した病土を希釈して模擬的実験を行った。さらに、それらの結果が現地圃場においても適用が可能であるか否かを明らかにするとともに、各種の土壌条件が病原菌密度と発病との関係にどのような影響を及ぼすかを明らかにした。

#### 実験方法

##### (1) 病土希釈による病原菌密度と発病

供試病土の調整：

実験-1…径30cmの素焼鉢に蒸気殺菌土(120C, 30分間) 5kgあたりに、キュウリつる割病菌(*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)の麦粒培地培養菌(28Cで2カ月間培養) 450gを接種した。この病土にキュウリ(品種：青長地這)種子を1鉢当たり10粒ずつ播き、約1カ月間栽培した。この病土を2mm目のフルイを通して麦粒残さを除去し、風乾したものを病土として供試した。

実験-2…実験-1で供試した後の全病土を混合したものを原病土として供試した。

希釈土壌：原病土を希釈するため、キュウリ未栽培の雑草繁茂土(厚層腐植質黒ボク土, 2mm目のフルイを通した無殺菌土)を風乾したものである。

上記の原病土をそれぞれ、1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128となるように希釈土壌と混和し、病原菌密度を調整した。これらの混合土は径15cm素焼鉢1kgずつ充てんした。キュウリ(品種：青長地這)種子を1鉢当たり10粒ずつ播種した後、灌水して普通の畑状態の土壌水分(35~40%)に保った。鉢は野外に設置したが、乾燥を防止するために鉢の高さの2/3を土壌中に埋設した。なお、各希釈段階ごとに次のような3区を設け、各々3反復で行った。

- S区：各希釈段階の土壌中の病原菌密度を調査した。キュウリは栽培しなかった。
- G区：キュウリを6週間栽培して、根圏の病原菌密度を調査した。
- F区：キュウリを6週間栽培して、つる割病の発生経過を調査した。

調査事項：

a. 病原菌数の測定：実験開始後2週間おきに、上記区より採取した試料を用い、ストレプトマイシン加用酸性バレイショ煎汁寒天培地<sup>61)</sup>による希釈平板法によって菌数を測定した。S区では土壌10g, G区ではキュウリ苗を各区1~2本、計3~6本ずつ供試した。菌数はS区では乾土1g当たりの菌数で、また、G区では乾根土1g当たりの菌数で表示した。

b. キュウリつる割病の発病調査：播種後随時外観的調査を行い、発病株は抜き取った。最終調査では残存株をすべて抜き取って導管の褐変程度を調査した。

実験期間および地温：

実験-1は1965年6月12日~7月24日に行い、最高地温24.6C, 最低地温19.6C, 半旬平均地温20.1~24.1Cであった。また、実験-2は同年8月26日~10月6日の間に行ったが、最高地温25.0C, 最低地温15.0C, 半旬平均地温16.0~24.0Cであった。

### (2) 現地圃場の土壌中における病原菌密度と発病

第11表に示した現地圃場の土壌を採取して、病原菌密度を調査するとともに、その土壌にキュウリ(品種：青長地這)の種子を播種してキュウリつる割病の発生を調査した。

a. 病原菌数の測定：土壤希釈平板法によって測定した。供試培地は前述した培地<sup>51)</sup>である。同培地上で*Fusarium oxysporum*と判定されたコロニーはすべて後述する(IV-1)幼芽検定法によって、キュウリ幼苗に対する病原性を確認した。

b. キュウリつる割病の発生調査：径15cm素焼鉢に供試土壤1kgずつ充てんし、キュウリ(品種：青長地這)種子を10粒または20粒播種し、40日間栽培して発病を調査した。各々2連制とした。

### (3) 各種土壤条件が病原菌密度および発病に及ぼす影響

#### a. 土壤の種類と発病の関係

供試土壤：第3表に示した4種類の土壤である。

病原菌の培養と土壤接種方法：供試菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)は容量比でフスマと土壤(石岡土)を1:9に混合して蒸気殺菌(120C, 30分間)した培地に25C, 2カ月間培養した。その後、風乾し2mm目のフルイを通して供試病土とした。前記供試土壤を各々径30cm素焼鉢に5kgずつ充てんし、その各鉢当りに供試病土を30gずつ鉢土壤の全層に均一に行き渡るように接種した。接種は1965年6月25日に行った。

キュウリ(品種：青長地這)の種子を1鉢当たり10粒ずつ播いた。また、基肥として化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:10:13)を1鉢当たり10g全層施肥した。区制は3連制とし、播種後20, 30および50日目に苗立数と発病苗数を調査し、50日目の残存苗について導管褐変状況を調査した。

#### b. 消石灰ならびに有機物施用と発病との関係

径30cmの素焼鉢にキュウリつる割病菌を含まない無殺菌土壤(厚層腐植質黒ボク土、茨城県石岡市茨木農試場内の雑草繁茂土)を5kgずつ充てんし、これにキュウリつる割病菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)の土壤フスマ混合培地培養菌を1鉢当たり200gずつ接種した(1966年5月28日)後、堆肥、風乾クローバーおよびイナワラなどの有機物と消石

灰を施用した(1966年5月31日)。約2カ月間屋外に放置した後、キュウリ(品種：青長地這)の種子を1鉢当たり10粒ずつ播いた(7月28日)。そして約60日間栽培後、つる割病の発病を調査した。なお、播種直前(7月11日)および最終回発病調査前(9月8日)に希釈平板法によって土壤中の病原菌数の測定を行った。供試培地ならびに幼芽検定法は前実験に準じた。供試土壤には基肥として化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:10:13)を6kg/aを全層施肥した。試験区は各々2連制である。

### 実験結果

#### (1) 病土希釈による病原菌密度と発病

実験結果を第10表および第2図に示した。これらから作物栽培前の病原菌の菌数とキュウリつる割病発生との間には密接な関係が見られる。すなわち、菌数が多い場合に発病が多く、乾土1g当たり1×10<sup>4</sup>個以上の菌数が存在する時には、発病率が高く、導管褐変率は50%以上であった。両者の相関関係は次の式のように表される。

$$\log \frac{Y}{95.86 - Y} = 1.81(X - 4.07)$$

(Y:発病率…導管褐変率, X:キュウリ播種直前の病原菌菌数の対数)

ちなみに、相関指数は0.9830で極めて高い値を示した。

土壤希釈後各時期の土壤およびキュウリ根圏の病原菌数の消長をみると、実験-1では、原病土含有量の多いほど、換言すれば、接種病原菌数が多い場合にはその減少が速くであり、原病土含有量の少ない場合には緩慢であった。キュウリ根圏でも接種病原菌数が多い場合、緩慢であるが、菌数は減少した。しかし、発病がひどくて枯死した株の根圏から分離すると、異常に多い菌数が得られた。また、キュウリつる割病の発生の経過をみると、原病土含有量の多いほど、播種後早期から導管が褐変して枯死する株が多かった。

実験-2は実験-1に比較して病原菌数の少ない条件で行ったが、土壤および根圏ともに原病土希釈後40日目には幾分菌数増加の傾向を示



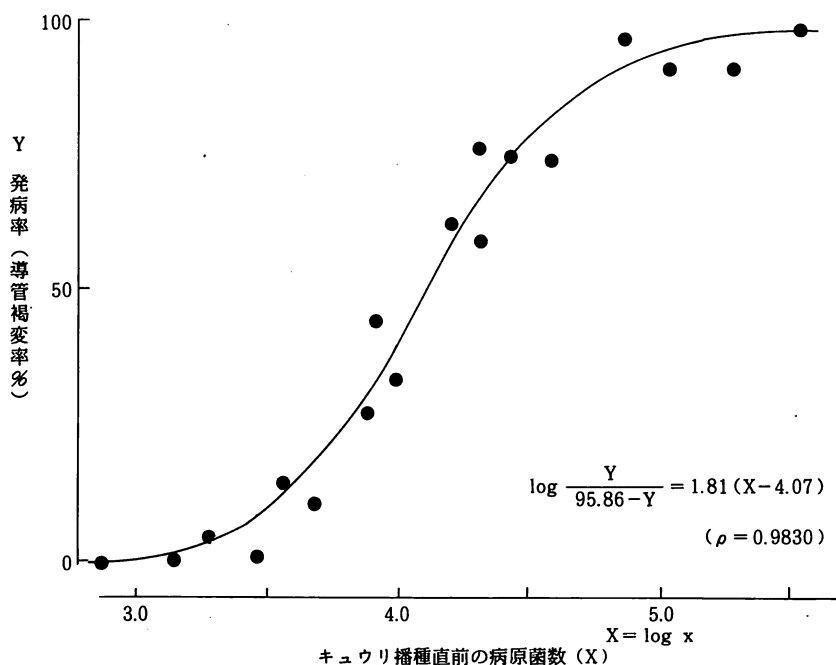
第10表 原病土希釈段階とキュウリつる割病菌数の消長ならびにキュウリつる割病の発生

病土希釈割合	土壌 ( $\times 10^3$ )				根圏 ( $\times 10^3$ )*			苗立数 (本)	キュウリつる割病の発生 (導管褐変率%)
	0日目	14日目	28日目	42日目	14日目	28日目	42日目		
1	116	117	61	29	184	223	436**	9.4	85.9
1/2	99	64	30	22	109	104	120	9.2	75.3
1/4	57	40	22	20	68	45	16	9.9	62.0
1/8	38	26	12	11	41	34	10	8.7	60.5
1/16	21	15	10	6	30	26	6	8.9	42.4
1/32	11	9	8	5	8	13	5	9.4	45.5
1/64	9	6	6	3	5	9	4	9.0	33.5
1/128	4	3	4	1	4	9	5	9.2	22.2
0	2	3	3	1	2	3	1	9.2	0

数値は2回試験の平均で表示した。

\* 印根圏区は、すべて外観上健全なキュウリ根を供したが、

\*\*印の試験-1区では健全根がなかったために枯死株を供試した。



第2図 キュウリつる割病の発生と病原菌数との関係

した。とくに、根圏においてその傾向が強かった(10表)。

以上の結果から、栽培前に土壌中の病原菌密度を測定することによって、キュウリつる割病の発病をある程度推定できることが明らかになった。

## (2) 現地圃場の土壌中における病原菌密度と発病

第11表に示したように、キュウリに病原性を示す*F.oxysporum*菌数は乾土1g当たり0~74 $\times 10^3$ の範囲にあり、最も多いのは乾土1g当たり1,000~10,000個であった。これらの

菌数とキュウリつる割病の発生との関係を第3図に示したが、その結果は模擬実験で得られた関係とほぼ一致する傾向を示した。

従って、現地圃場においても、土壤中における病原菌数を測定することによってキュウリつる割病の発生をある程度推定することが可能であると考えられた。しかし、波崎、出島Aおよび千代川Cの土壤のようにほぼ同一の菌密度でありながら、発病にばらつきがあるのは菌数のみならず他の要因をも考慮する必要のあることを示している。

(3) 各種土壤条件が病原菌密度および発病に及ぼす影響

土壤の種類と発病の関係をみると、第12表に示したように、同一菌量のキュウリつる割病菌を各種土壤に接種したところ、導管褐変率では大差は認められなかった。しかしながら、萎

ちよう枯死苗率は岩井土および息栖土では他の土壤に比較して高かった。すなわち、病原菌量が同一であっても新治土および石岡土ではキュウリつる割病の発生が低いことが示された。

消石灰ならびに有機物施用と発病との関係を第13表に示した。キュウリつる割病の発生は、消石灰単用区ならびに消石灰・有機物併用区ともに少なく、標準区（無施用・菌接種区）に比較して発病抑制効果が顕著であった。一方、有機物単用区での発病は導管褐変率で74~90.8%であり、標準区と大差なかった。なお、消石灰単用区でのキュウリの生育は標準区に比較してかなり良好で、消石灰単用区と比較すると、25kg/a、50kg/aの順に低下し、100kg/a施用区ではさらに低下したが、各種有機物を併用した場合生育抑制は回避された。一方、堆肥、風乾クローバー単用区では標準区よりもわずかに生

第11表 現地圃場における病原菌数とキュウリつる割病の発生

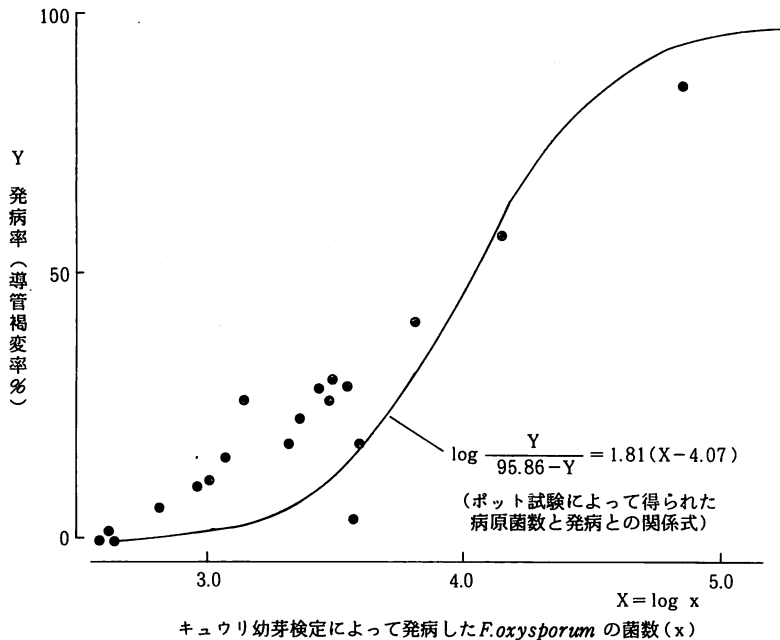
採 土 場 所	菌数 (乾土 1 g 当たり × 10 <sup>2</sup> )			キュウリつる割病の発生	
	F. oxy.	幼芽検定で発病したF. oxy.	F. sol.	苗立数 (本)	導管褐変率 (%)
茨城県桜村 (A)	11	9	5	9.5	11.9
"    " (B)	33	28	53	8.0	26.8
" 出島村 (A)	50	37	27	8.0	17.2
"    " (B)	0	0	4	8.5	0
" 下妻市	42	6	14	9.5	0.5
" 千代川村 (A)	17	4	9	9.0	0
"    " (B)	28	9	56	19.5	10.3
"    " (C)	41	35	34	14.0	28.6
"    " (D)	35	29	4	14.0	28.6
" 波崎町	65	36	50	8.5	0.3
" 常北町	67	11	110	10.0	15.0
" 石岡市 (A)	28	28	0	11.0	28.6
"    " (B)	23	23	3	12.0	23.3
"    " (C)	28	13	24	15.0	26.7
" 協和町	165	151	56	19.5	58.3
" 谷田部町 (A)	47	21	27	11.0	17.3
"    " (B)	10	0	18	12.0	0
岩手県江刺市	832	741	33	13.0	84.6
岡山県岡山市	105	69	89	11.0	40.9

F. oxy. は *Fusarium oxysporum* の略, F. sol. は *Fusarium solani* の略である。

育が良好であったが、イナワラ単用区では標準区とほとんど変わらなかった。

すべての消石灰施用区において、キュウリつる割病菌の菌数は減少していた。とくに、100 kg/a 施用区でその効果が顕著であった。一方、堆肥、風乾クローバーおよびイナワラなどの有機物単用区の病原菌数は標準区のそれとの間に

ほとんど差がないか、かえって菌数が増加する傾向が認められた。しかし、消石灰併用区では、風乾クローバー・消石灰併用区を除き、著しく菌数が少なかった。堆肥・消石灰併用区の播種直前の病原菌数は消石灰単用区よりも少なかった。また、キュウリの60日間栽培後の土壤中の病原菌数をみると、消石灰多量施用区（100kg/a）



第3図 現地圃場土壤中の*F.oxysporum*の菌数とキュウリつる割病の発生

第12表 土壌の種類とキュウリつる割病の発生

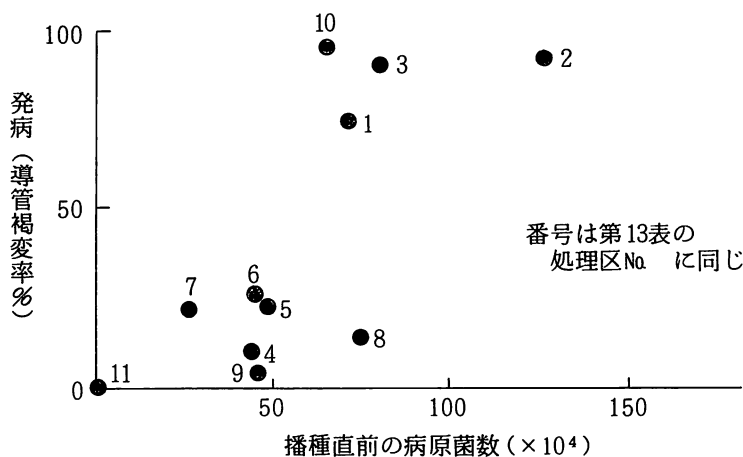
処 理	土壌の種類	播種粒数 (粒)	苗立数 (本)	発 病 苗 率 (%)			導管褐変率 (%)
				播種後20日目	同30日目	同50日目	
病原菌接種	新治土	10	9	14	44	48	96.8
"	石岡土	10	9	15	42	62	93.5
"	岩井土	10	8	24	34	89	98.4
"	息栖土	10	7	79	100	100	100
無 接 種	新治土	10	7	0	(4)	(8)	0
"	石岡土	10	7	0	0	0	0
"	岩井土	10	8	0	0	0	0
"	息栖土	10	4	0	(22)	(22)	0

( )内の数値はすべてPythium属菌による苗立枯病であった。

第13表 消石灰と有機物など施用土壤におけるキュウリつる割病の発生と病原菌数の変動

No.	処理区 施用量 (a 当たり)	生育 (つるの長さ) (cm)	発病 (導管褐変率) (%)	キュウリつる割病菌菌数 ( $\times 10^4$ )	
				播種前	最終発病調査前
1.	堆肥 150kg	57	74.0	71(5.6)	24(5.6)
2.	風乾クローバー 45kg	57	90.8	126(5.6)	24(5.6)
3.	イナワラ 45kg	50	88.4	79(5.6)	26(5.6)
4.	消石灰 100kg	60	8.4	42(6.8)	14(7.0)
5.	" 50kg	76	23.3	46(6.2)	23(6.4)
6.	" 25kg	84	24.0	45(6.0)	23(6.0)
7.	堆肥150kg+消石灰100kg	77	21.3	25(6.6)	12(7.0)
8.	風乾クローバー45kg+"	91	12.5	73(6.6)	25(7.0)
9.	イナワラ45kg+"	78	4.0	44(6.6)	11(7.0)
10.	無施用 (菌接種)	50	95.4	65(5.6)	19(5.6)
11.	" (菌無接種)	68	0	0(5.6)	0(5.6)

( )内数値は病原菌分離時の土壤 pH (水抽出) である。



第4図 消石灰と有機物施用土壤におけるキュウリつる割病病原菌数と発病の関係

および堆肥あるいはイナワラと消石灰併用区では病原菌数が少なかった。

キュウリ播種前の土壤中の病原菌数とつる割病発生との間には、第4図に示したように、一般に病原菌数が高くなるほど発病も高くなる傾向を示した。しかし、消石灰施用区と無施用区の土壤で比較すると、病原菌数がほぼ同じであっても前者の方が発病は少なかった。また、

供試諸有機物のなかでは、風乾クローバーのようにC/N比の低い有機物施用区では病原菌数が多かったのにもかかわらず、発病は高くなり、病原菌数の比較的少なかったイナワラ施用区とほとんど大差なかった。

以上の結果から、播種前の病原菌密度は一般的に栽培中のキュウリつる割病の発生に影響を及ぼすことは明らかである。しかし、菌数が同

一であっても、土壤に施用した有機物の種類および消石灰施用の量によって、その影響が異なってくることが示された。このことは本病の発生にとって病原菌量が大きな影響をもつが、同時に栽培条件が発病の多少あるいは程度を左右する要因となることを示している。

## 2) 考察

Garrett(1956)<sup>28)</sup>は、病原菌が植物に発病を起し得る潜在的な能力をinoculum potentialと呼び、病原菌が植物の持つ抵抗性を排除して植物に寄生的な定着を成立させるエネルギーの総和であると定義している。わが国ではこれを「感染能力」あるいは「感染源ポテンシャル」と呼んでいる。土壤病害の発生を予測する上で、感染能力を把握することは重要である。しかし、そのためには病原菌の量と質、ならびに病原菌の作物根面での増殖能力などを解明する必要がある。この様な観点にたつて、本節では主として病原菌密度と発病との関連について明らかにしようとした。

前述のように、本項ではキュウリつる割病の発生と病原菌密度の関係を明らかにするため、接種菌量を異にしたポットにキュウリを栽培した。その結果、病原菌数と発病（導管褐変率）の間には第2図に示したような曲線式が得られた。すなわち、病原菌数の多寡と発病率の間には高い相関が認められた。Cook(1968)<sup>18)</sup>は*F. roseum* f. sp. *cerealis*によるカーネーション立枯病で、病原菌の接種量と発病度とは比例すると述べ、Baker and Maurer(1967)<sup>5)</sup>もインゲン根腐病の発病は土壤中における*F. solani* f. sp. *phaseoli*の菌密度と比例すると報じた。さらに、駒田(1976)<sup>51)</sup>はダイコン萎黄病、キュウリつる割病およびトマト萎ちょう病において土壤に接種した病原菌密度が高いほど萎ちょう枯死個体の出現が早く、その率も高く、萎ちょう枯死個体率は病原菌密度の対数にほぼ直線的に一致したと述べている。このように、いずれの結果も病原菌密度と発病との間には高い相関があると述べている。しかし、これらの実験は極めて人為的に病原菌を培養したものを同じ土壤に接種した結果である。ポット試験は

限定条件下で行われたものであり、その結果得られた傾向が直ちに圃場における発病の推測を行い得るものとは言えない。自然畑土壤は、例えそれが近接している場合でも土壤条件が微妙に差があり、遠く離れた場合ではなおさらのことである。従つて、そこに生息する病原菌のinoculum potentialにも差異が生じるものと思われる。

以上のような観点に基づいて、地理的に遠隔な土壤あるいは茨城県内でも来歴などの異なる現地圃場の土壤中の病原菌密度を測定し、そこに栽培したキュウリの発病との間に相関が存在するか否かについて検討を加えた。その結果、検出された病原菌数と発病の間には密接な相関の存在すること、その結果はポット試験で得られた曲線式にほぼ一致することが明らかになった。しかし、現地圃場の土壤を用いて検討した場合病原菌密度が乾土1g当たり $10^3 \sim 10^4$ 個の範囲内では、ほとんどが菌密度の割に発病が高くなる傾向を示した。この結果から、発病は菌数以外に土壤条件など未知の要因がinoculum potentialの要因として作用していることを示している。

そこで、病原菌密度と発病に及ぼす要因として考えられる土壤条件について検討した。まず、病原菌密度を同じにした淡色黒ボク土および砂丘未熟土においては厚層多腐植質黒ボク土および厚層腐植質黒ボク土に比較してキュウリつる割病の発生の多いことが明らかになった。これは前項の考察で述べたように、後者は発病抑止土壤と言われるものであるが、これはinoculum potentialが土壤の種類によって左右される証拠と考えられる。

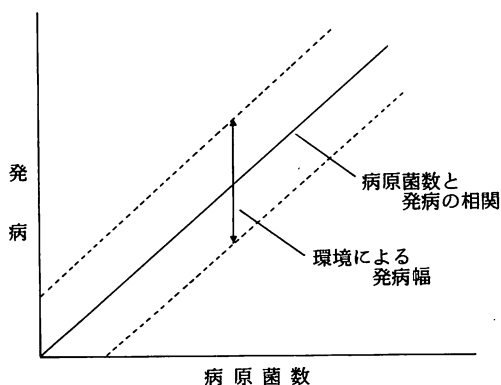
栽培管理上一般的に施用される石灰が病原菌密度と発病に及ぼす影響について考察してみる。第13表に示したように消石灰を土壤施用した場合、キュウリつる割病の発生が著しく軽減した点が注目される。松田ら(1968<sup>50)</sup>、1969<sup>50)</sup>は消石灰施用によるキュウリつる割病の発病軽減効果の原因を土壤中の病原菌に対して消石灰がいかなる作用をもたらすかの点から究明した。消石灰の土壤施用は、土壤のpHの上昇をもたら

して、土壤微生物は細菌型に変化する。そして、それらの代謝によって、一時的に土壤中の水溶性窒素化合物や糖類が増加し、フザリウム菌の厚膜胞子はこれらの物質の刺激を受けて発芽が助長される。しかし、消石灰施用土壤では微生物活性の増加によって発芽管が溶解死滅するため、厚膜胞子の再形成率は低くなる。また、消石灰の多量施用土壤では無施用に比較して病原菌密度の低下も認められた。このように、消石灰施用は土壤中に生息する病原菌の inoculum potential に対して間接的に影響を及ぼすことが考えられる。このような見解に対して、村田・大原(1936)<sup>76)</sup>、木谷ら(1957)<sup>48)</sup>は石灰施用による発病抑制効果は、むしろ石灰による作物体の抵抗性獲得によるものと述べており、病原菌に対する影響のみならず、作物体への影響も考慮する必要のあることを示している。

有機物を土壤に施用した場合、有機物の種類などによって発病に対する影響が異なっている。前述のように、風乾クローバーのようなC/N比の低い有機物を施用すると、病原菌数は増加するが、それによって発病はあまり高くない。しかし、逆にC/N比の高いイナワラを施用すると病原菌数の増加はみられないのに発病は多かった。このような点について、Curl(1963)<sup>19)</sup>は未分解有機物施用土壤における病原菌数と発病とは必ずしも相関しないと述べており、このような一見矛盾した関係が一般的に存在すると考えられる。このような矛盾がなぜ起こるのか、その点を解明するためには消石灰施用で見られたように有機物施用が作物体の抵抗性発現に対する影響も考える必要があるだろう。また、土壤に施用された有機物の種類によってそれがどのように分解されて行くのか、また、その過程でいかなる微生物がどのように関わり合う結果として、このような矛盾が生ずるのか解明を必要とする問題は多い。

Baker and Cook(1974)<sup>77)</sup>によると、発病に必要な病原菌密度として、*F. solani* f. sp. *pha-*

*seoli*では乾土 1 g 当たり 1,000~3,000個、*F. solani* f. sp. *lisi*では100~6,000個、*F. roseum* f. sp. *cerealis*では100~3,000個である。本実験の結果から*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*では乾土 1 g 当たり  $10^4$ 個以上で急激に発病が増加することがわかった。しかし、現地土壤中の菌数はほとんどが乾土 1 g 当たり  $10^4$ 個以下であるにもかかわらず発病が認められる。したがって、現地土壤では作物植付前の病原菌密度が同一であっても、土壤に施用した有機物の種類および石灰の量、さらに後述する連輪作の年数あるいはネコブセンチュウ寄生の程度などにより、発病に及ぼす影響は異なってくるものと思われる。また、伊藤(1975)<sup>42)</sup>が*F. solani* f. sp. *phaseoli*で、また、小川・駒田(1982)<sup>81)</sup>が*F. oxysporum* f. sp. *raphani*で指摘しているように、病原菌の質的な要因、すなわち、病原力が各種の土壤条件で差のあることが知られており、土壤中の病原菌の inoculum potential を評価するには今後さらに多くの要因を解明する必要があるだろう。しかし、本章の実験結果からすると、第5図に模式的に示したように、病原菌密度と発病との間には種々の環境要因が関与しつつ、ある程度の相関関係が存在するものと言える。



第5図 病原菌と発病との関係の模式図

## IV 連輪作がフザリウム病の発生におよぼす影響

輪作は、古くから連作障害を排除したり病害の防除のための作物生産上の重要な手段とされてきた。しかし、近年の農業を取りまく諸情勢によって、単一作物の連作あるいは短期輪作が増加し、種々の土壤病害の多発を招いてきた。これまで種々の作物の栽培にあたって病害発生を軽減を図るため、輪作が検討されているが、作物の種類あるいは対象とする病原菌の種類によって、その効果は一定の評価を得ていない。

輪作によってフザリウム病を防除する場合、まず対象とする病原菌の生態を明かにすべきである。すなわち、Garrett(1956)<sup>26)</sup>が述べているように、フザリウム菌のなかにも根系生息菌と土壤生息菌があり、前者は宿主範囲が狭く、植物遺体での腐生的な生存にも限界があり、そのため短期輪作でも十分に防除の可能性はある。しかし、後者は一般に宿主範囲が広く、そのうえ植物残さなどに腐生的に生存できるので、輪作による防除効果が小さいか、または、長期の輪作でなければ防除の不可能な場合が多い。

本章では、キュウリつる割病菌 (*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)、本菌はGarrett(1956)<sup>26)</sup>の定義によれば根系生息菌に属するが、この菌によるキュウリつる割病が連輪作によって発病を軽減し得るか否かを明らかにするとともに、その原因を、病原菌密度および土壤微生物相の変動の両面から追及し、さらに、複合病の原因となるネコブセンチュウの役割について明かにしようとした。

### 1. 連輪作とフザリウム病発生

#### 1) 病原菌と土壤微生物相の変動からみたフザリウム病の発生

畑作物の連輪作体系に組みこんだキュウリにおけるつる割病の発生がどのように変化するか、また、その病原菌と土壤微生物相の変動を明かにして、相互の関連性を究明して、本病の適切な輪作体系を確立するための基礎資料を得ようとした。

### 実験方法

キュウリつる割病菌 (*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) の土壤フスマ混合培地 (土 : フスマ = 1 : 9 v/v) 培養菌を1968年5月2日に $m^2$ 当たり50gずつ、厚層多腐植質黒ボク土圃場の作土層 (深さ約15cm) に接種した。1968年から1971年までの4年間、次のような輪作体系で、輪作作物 (Bcと略記…リクトウ、トウモロコシ、ダイズ、ラッカセイ、サツマイモ、トマト、ネギ、ダイコンならびに休かん) と宿主作物 (Hcと略記…キュウリ) を栽培し、キュウリつる割病の発生について調査するとともに、土壤中の病原菌数および微生物相の変動について調査した。

なお、輪作体系は次のように設定した。

	1968年	1969年	1970年	1971年
(1) C I 区	Bc	…… Bc	…… Bc	…… Bc
(2) C II 区	Bc	…… Bc	…… Hc	…… Bc
(3) C III 区	Bc	…… Hc	…… Hc	…… Hc
(4) C IV 区	Bc	…… Hc	…… Bc	…… Hc

#### 土壤微生物および病原菌数の測定法

供試土壤10gを90ml殺菌水入り200ml容三角フラスコに入れ、これを原液とし、この液を振とう器で30分間振とうした後、ただちに殺菌ピペットで10mlとり、90ml殺菌水入り200ml容三角フラスコに入れ $1/10^2$ 希釈液とした。同様にして、 $1/10^3$ 、 $1/10^4$ と $1/10^5$ 希釈液を作成した。供試培地は組成を後述するように、細菌と糸状菌についてはContois(1953)<sup>15)</sup>に準拠し、細菌数と放線菌数はB培地、糸状菌数はRBS培地によって、また、フザリウム菌数については駒田(1976)<sup>31)</sup>に準拠し、PCNB加用酸性バレイショ寒天培地 (PP培地) を使用した。細菌数を測定するためには $1/10^5$ 、糸状菌を測定のためには $1/10^4$ 、フザリウム菌数を測定のためには $1/10^3$ の土壤希釈液を1または2ml殺菌ペトリ皿にとり、溶解した上記培地 (45C) を約10ml流し込んだ。各区3反復とし、28Cで培養した後、細菌と放線菌については7日後、

糸状菌については5日後にそれぞれの集落数を調査し、乾土1g当たりのコロニー数を算出した。

供試培地の組成

a) B培地(細菌および放線菌数測定用)

グルコース 1.0g,  $\text{CaCl}_2$  0.1g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  1.0g,  $\text{FeCl}_3$  0.5g,  $\text{KNO}_3$  0.5g,  $\text{MgSO}_4$  0.2g, 寒天 20g, 蒸留水 1,000ml, pHは6.8とした。

b) RBS培地(糸状菌数測定用)

グルコース 10.0g,  $\text{NaN}_3$  1.0g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  1.0g, Rose Bengal 1/15,000, 土壤煎汁 1,000ml, 寒天 20g。

c) PP培地(フザリウム菌数測定用)

グルコース 4.0g, バレイショ煎汁 1/5希釈液 1,000ml, 寒天 20g, PCNB (75%) 水和剤 1.0g, また、本培地は溶解流し込み直前に $\text{H}_3\text{PO}_4$ 溶液でpH4.0~4.2に調整し、300ppmのストレプトマイシンを加えた。なお、希釈平板法で分離された*F.oxysporum*菌そうは次のような幼芽検定法によってキュウリに対する病原性を確認した。殺菌した試験管(径1.5cm)に1.5%素寒天培地(pH5.0に調整)を10mlずつ入れ、高層にした。これに、希釈平板法で分離された*F.oxysporum*菌そうを移植し、さらに、あらかじめ20倍液のアンチホルミンで消毒後、殺菌水中で催芽した種子をその中に移植した。採光定温器内に28Cで10日間保ち、キュウリの導管の褐変で病原性を検定した。

各年次ごとの耕種概要ならびに調査などは次の通りであった。

a) 1968年

施肥法：化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:14:14)を60kg/10a全面基肥とした。試験区は5m×5m=25.0m<sup>2</sup>で3反復とした。病原菌および土壤微生物の分離は次の月日に採土して行った。5月17日, 7月9日, 8月21日, 9月24日, 11月21日。なお、供試作物の品種ならびに栽培期間は次の通りであった。リクトウ(ハタキヌモチ), 5月11日~10月11日。トウモロコシ(ホワイトデントコーン), 5月11日~9月6日。ダイズ(タチスズナリ), 5月14日~10月

11日。ラッカセイ(千葉半立), 5月11日~10月11日。サツマイモ(シロセンガン), 5月31日~11月1日。キュウリ(青長地這), 5月11日~9月2日。トマト(福寿2号), 5月11日~9月6日。ネギ(石倉ネギ), 5月11日~11月1日。ダイコン(春まきみの早生), 5月11日~8月2日。各作物の栽植密度はリクトウのみ条播(畦間60cm)で、他の作物は全て点播あるいは挿苗(畦間60cm×株間30cm)であった。

b) 1969年

施肥法：化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12:18:14)を60kg/10a全面基肥とした。試験区は2.5m×5.0m=12.5m<sup>2</sup>で3反復とした。病原菌および土壤微生物の分離は次の月日に採土して行った。5月15日, 6月14日, 7月29日, 8月25日, 9月12日。なお、供試作物の品種ならびに栽培期間は次の通りであった。リクトウ(ハタミノリ), 5月20日~10月11日。トウモロコシ(ゴールドエンクロスバンダム), 5月20日~10月11日。ダイズ(タチスズナリ), 5月20日~10月11日。ラッカセイ(千葉半立), 5月20日~10月23日。サツマイモ(紅農林), 5月28日~10月23日。キュウリ(青長地這), 5月20日~9月8日。トマト(福寿2号), 5月20日~9月8日。ネギ(金長ネギ), 5月20日~11月1日。ダイコン(春まきみの早生), 5月20日~9月9日。各作物の栽植密度はリクトウのみ条播(畦間45cm)で、他の作物は全て点播あるいは挿苗(畦間45cm×株間30cm)であった。キュウリつる割病の発生は栽培期間中随時調査し、7月15日には約2分の1の株を抜き取り、また、9月8日には残りの株を抜き取って、つるの長さは1区10株、導管褐変の程度およびネコブセンチュウ寄生度は全株について調べた。なお、ネコブセンチュウ寄生度はGall-index法(1959)<sup>115)</sup>により、5段階に分け(指数0:健全, 指数1:一見寄生していないようであるが、注意してみると極少ないゴールが認められる。指数2:少しゴールが認められる。指数3:中程度ゴールが認められる。指数4:根系の全体にわたってゴールが多く認められる。), 次式によりネコブセンチュウ寄生度を算出した。



寄生度 =  $\Sigma$  (指数 × 各指数に属する個体数) × 100 / 全調査個体数 × 4

以下、毎年同じ基準でネコブセンチュウ寄生度を調査した。

c) 1970年

施肥法：化成肥料 (N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 12 : 18 : 14) を 60kg/10a 全面基肥とした。試験区は 2.5m × 2.5m = 6.25m<sup>2</sup> で 3 反復とした。病原菌および土壤微生物の分離は次の月日に採土して行った。5月15日, 6月22日, 8月15日, 10月13日。供試作物の品種ならびに栽培期間は次の通りであった。リクトウ (タチミノリ), 5月20日~10月20日。トウモロコシ (ゴールドエンクロスバンダム), 5月20日~9月14日。ダイズ (タチスズナリ), 5月20日~10月20日。ラッカセイ (千葉半立), 5月20日~10月20日。サツマイモ (紅農林), 6月13日~11月7日。キュウリ (青長地這), 5月20日~9月13日。トマト (福寿100号), 5月20日~9月14日。ネギ (金長ネギ), 5月20日~10月20日。ダイコン (春まきみの早生), 5月20日~8月31日。各作物の栽植密度は前年と同じであり, キュウリの生育 (つるの長さ), キュウリつる割病の発生とネコブセンチュウ寄生度の調査は9月13日に前年に準じて行った。

d) 1971年

施肥法, 試験規模および反復は前年と同じで

あった。病原菌および土壤微生物の分離は次の月日に採土して行った。5月19日, 8月9日, 9月2日, 11月19日。供試作物の品種ならびに栽培期間は次の通りであった。リクトウ (タチミノリ), 5月20日~10月20日。トウモロコシ (ゴールドエンクロスバンダム), 5月20日~9月25日。ダイズ (タチスズナリ), 5月20日~10月20日。ラッカセイ (千葉半立), 5月20日~10月20日。サツマイモ (紅農林), 6月5日~11月8日。キュウリ (青長地這), 5月20日~8月27日。トマト (スーパー宝冠), 5月20日~9月25日。ネギ (金長ネギ), 5月20日~11月8日。ダイコン (春まきみの早生), 5月20日~8月27日。各作物の栽植密度は前年と同じであり, キュウリの生育 (つるの長さ), キュウリつる割病の発生およびネコブセンチュウ寄生度の調査は8月27日に前年に準じて行った。

実験結果

各種作物の連輪作による4年間のキュウリつる割病発生を, 第14~18表に示した。発病は枯死株率, 発病株率および導管褐変率で表示したが, いずれの傾向もほぼ同様であるので, とくに収量に直接関係の深い枯死株率で考察した。各種作物1年栽培跡地に1969年, 宿主作物 (キュウリ) を栽培した場合 (第14表), リクトウ, トウモロコシ跡地および休かん区では枯死株率は著しく減少した。しかし, ダイズおよ

第14表 各種作物栽培跡地におけるキュウリつる割病の発生 (C III, C IV 区, 1969)

輪作体系	調査株数(本)	発病率 (%)			ネコブセンチュウ寄生度	草丈 (つるの長さ) (cm)	収量	
		枯死株率	発病株率	導管褐変率			1区当たりの着果本数	上物率 (%)
1968 1969								
R* - C	69	6.2	56.5	44.7	0.4	213	104	23.6
Co - C	62	2.5	49.4	34.6	0.2	205	93	24.6
Sb - C	64	18.0	83.8	72.8	2.0	170	77	14.2
C - C	70	21.8	82.3	66.5	1.8	202	91	15.9
T - C	66	25.6	77.7	65.8	1.6	182	73	15.0
F - C	72	9.3	53.7	33.2	0.4	210	108	14.4

\*印は R:リクトウ, Co:トウモロコシ, Sb:ダイズ, C:キュウリ, T:トマト, F:休かんを示す。数値は3区の平均値。なお, ラッカセイ, サツマイモ, ネギおよびダイコンでは休かんと大差がなかったため省略した。

第15表 各種作物2年連作後キュウリを栽培した場合のキュウリつる割病の発生(CⅡ区, 1970)

輪作体系				発病率 (%)			ネコブセンチュウ寄生度	草丈 (つるの長さ) (cm)	収量	
1968	1969	1970	調査株数(本)	枯死株率	発病株率	導管褐変率			1区当たりの着果本数	上物率 (%)
R*	-R	-C	53	9.1	38.4	29.7	0.5	252	90	19.1
Co	-Co	-C	45	13.0	42.7	29.0	0.1	235	77	17.6
Sb	-Sb	-C	49	33.1	70.7	64.1	2.6	219	44	14.6
C	-C	-C	47	41.3	78.3	67.4	2.1	206	52	11.1
T	-T	-C	47	28.2	66.2	59.6	2.8	228	42	14.8
F	-F	-C	57	11.3	40.9	29.4	0.7	222	80	12.7

\*印は R:リクトウ, Co:トウモロコシ, Sb:ダイズ, C:キュウリ, T:トマト, F:休かを示す。数値は3区の平均値。なお、ラッカセイ, サツマイモ, ネギおよびダイコンでは休かんと大差がなかったので省略した。

第16表 各種作物栽培後キュウリを2年連作した場合のキュウリつる割病の発生(CⅢ区, 1970)

輪作体系				発病率 (%)			ネコブセンチュウ寄生度	草丈 (つるの長さ) (cm)	収量	
1968	1969	1970	調査株数(本)	枯死株率	発病株率	導管褐変率			1区当たりの着果本数	上物率 (%)
R*	-C	-C	55	18.4	66.8	50.3	0.7	219	94	13.1
Co	-C	-C	48	22.7	56.2	45.0	0.5	220	58	16.2
Sb	-C	-C	47	44.5	72.9	65.2	1.9	191	52	14.1
C	-C	-C	47	41.3	78.3	67.4	2.2	205	52	11.1
T	-C	-C	42	31.0	81.7	73.6	2.4	187	42	12.5
F	-C	-C	50	18.4	45.5	41.0	0.7	232	85	11.3

\*印は R:リクトウ, Co:トウモロコシ, Sb:ダイズ, C:キュウリ, T:トマト, F:休かを示す。数値は3区の平均値。なお、ラッカセイ, サツマイモ, ネギおよびダイコンでは休かんと大差がなかったので省略した。

第17表 各種作物栽培後キュウリを3年連作した場合のキュウリつる割病の発生(CⅢ区, 1971)

輪作体系					発病率 (%)			ネコブセンチュウ寄生度	草丈 (つるの長さ) (cm)	収量	
1968	1969	1970	1971	調査株数(本)	枯死株率	発病株率	導管褐変率			1区当たりの着果本数	上物率 (%)
R*	-C	-C	-C	60	61.9	74.2	66.3	1.8	219	42	32.5
Co	-C	-C	-C	55	32.2	40.6	34.4	0.9	213	44	39.7
Sb	-C	-C	-C	61	63.8	75.0	67.9	2.6	169	24	52.3
C	-C	-C	-C	61	74.9	79.4	73.8	2.7	181	12	53.0
T	-C	-C	-C	57	63.3	64.5	57.0	2.3	166	11	43.9
F	-C	-C	-C	47	37.4	40.9	37.2	1.6	213	42	29.7

\*印は R:リクトウ, Co:トウモロコシ, Sb:ダイズ, C:キュウリ, T:トマト, F:休かを示す。数値は3区の平均値。なお、ラッカセイ, サツマイモ, ネギおよびダイコンでは休かんと大差がなかったので省略した。

第18表 各種作物とキュウリを交互に輪作した場合のキュウリつる割病の発生（CIV区，1971）

輪作体系				発病率（%）			ネコブセンチュウ寄生度	草丈（つるの長さ）（cm）	収量		
1968	1969	1970	1971	枯死株率	発病株率	導管褐変率			1区当たりの着果本数	上物率（%）	
R*	-C-R	-C		62	36.5	51.6	41.6	1.4	231	62	36.7
C	o-C-C	o-C		50	31.9	41.6	23.2	0.9	245	65	34.5
S	b-C-S	b-C		58	65.9	70.8	67.0	2.3	168	12	31.5
C	-C-C	-C		61	74.9	79.4	73.8	2.7	181	12	53.0
T	-C-T	-C		56	67.0	68.5	63.7	2.6	146	11	19.5
F	-C-F	-C		56	30.6	48.4	36.7	1.1	245	78	38.1

\*印は R:リクトウ, Co:トウモロコシ, Sb:ダイズ, C:キュウリ, T:トマト, F:休かんを示す。数値は3区の平均値。なお、ラッカセイ、サツマイモ、ネギおよびダイコンでは休かんと大差がなかったので省略した。

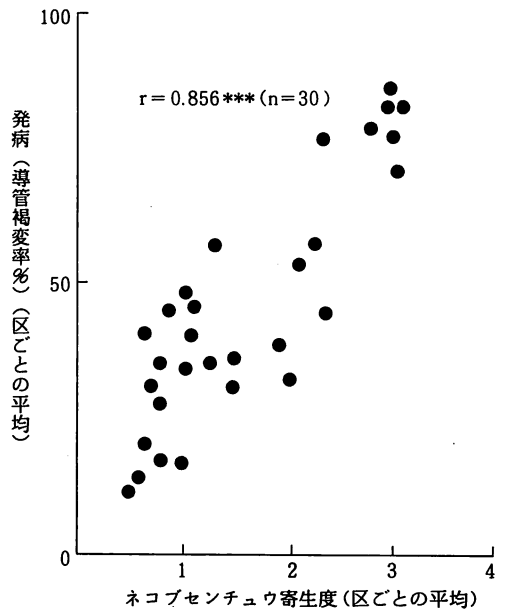
びトマト跡地ではキュウリ連作区とほぼ同等の高い枯死株率を示し、発病抑制効果は認められなかった。

さらに、1970年および1971年にキュウリを連作すると（第15, 16表）、年々、枯死株率は増加したが、リクトウ、トウモロコシ、ラッカセイ、サツマイモ、ダイコン、ネギ跡地および休かん区の増加は、キュウリ連作、トマトおよびダイズ跡地に比較して小さかった。そして、各種作物1年栽培跡地にキュウリを3年連作しても発病抑制効果が最も高いのはトウモロコシ跡地であった。

一方、各種作物を2年連作して、キュウリを栽培した1970年の結果では（第17表）、各種作物を1年栽培してキュウリを2年栽培した前述の場合と同様に、ダイズおよびトマト跡地ではキュウリ連作区とほぼ同等の高い枯死株率を示した。

また、リクトウ、トウモロコシ、ラッカセイ、サツマイモ、ダイコン、ネギおよび休かんとキュウリの交互輪作を2回繰り返した1971年の結果では（第18表）、ダイズ、トマトとの交互輪作およびキュウリ4年連作に比較して枯死株の発生は軽減した。そして、ダイズおよびトマトとキュウリの交互輪作はキュウリ4年連作区とほぼ同等の枯死株率となった。

ネコブセンチュウ寄生度は第14~18表および図版-3にみられるように、いずれの連輪作区ともキュウリつる割病の発病とほぼ同じような



第6図 連輪作土壌におけるキュウリつる割病の発病とネコブセンチュウ寄生度の関係（CIV区，1971）

傾向を示した。すなわち、ダイズ、トマト跡地およびそれらとキュウリの交互輪作区では、寄生度は極めて高くなる傾向を示した。しかし、トウモロコシの1~2年栽培跡地ならびにそれとの交互輪作のキュウリでは、とくに寄生度の軽減することが注目された。第6図には、各種作物とキュウリとの交互輪作区でのネコブセンチュウ寄生度とキュウリつる割病発病との関係

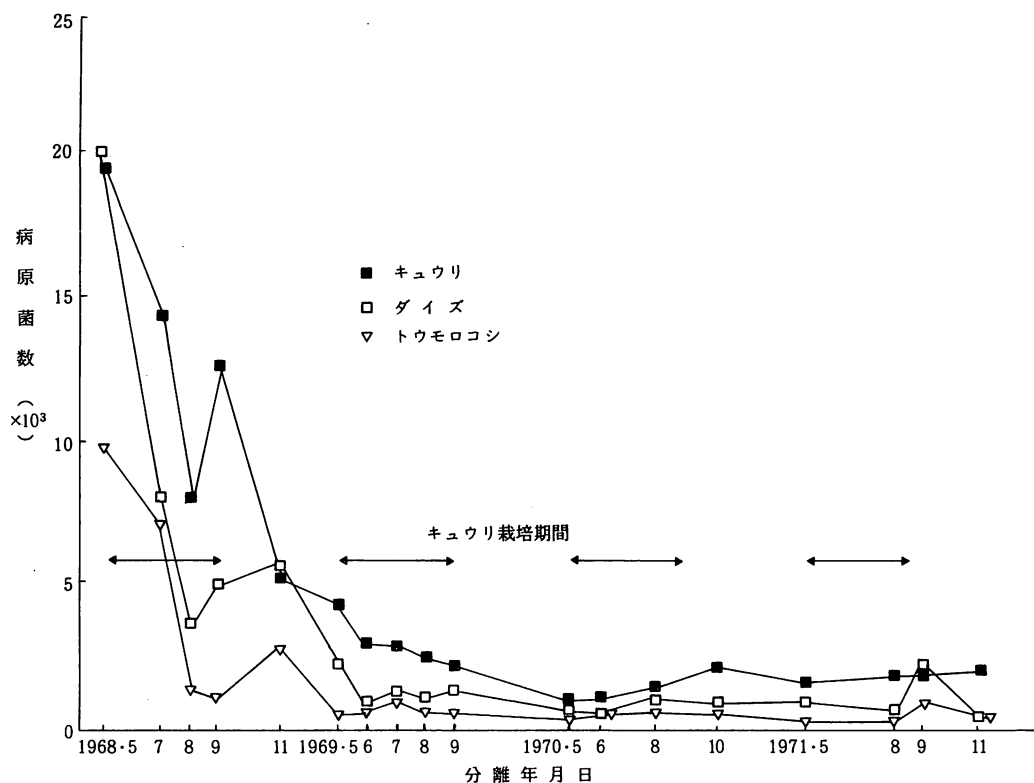
について図示したが、両者の間には相関係数 0.856と極めて高い相関があった。

生育ならびに収量については、年次変動も考慮すべきであるが、草丈はキュウリ2年連作を100とすると4年連作では89.6と約10%抑制された。また、ダイズ、トマトの跡地ならびにそれらとキュウリとの交互輪作でも、キュウリ連作と同様に抑制された。しかし、その他の作物跡地ならびにそれらとの交互輪作では生育は良好であった。

収量も生育とほぼ同様の傾向を示し、キュウリ2年連作を100とすると3年連作で60.5、4年連作14.0と連作年数が長くなるにつれて著しく減収した。また、ダイズ、トマトの跡地ならびにそれらとキュウリとの交互輪作でも同じ傾向を示し、その他の作物とくに、リクトウ、トウモロコシ跡地ならびにそれらとの交互輪作の増収効果は顕著であった。なお、上物率は年次変動が大きく一定の傾向を見出せなかった。

キュウリつる割病菌の消長をみると1968年は接種菌量が $\times 10^4$ CFU/乾土1g当たりと多かったためか、キュウリおよび他の作物の栽培にかかわらずいずれの区においても減少し、1969年以降はほぼ $\times 10^3$ CFU/乾土1g当たりの菌量になった。第7図には主な作物としてキュウリ、ダイズ、トウモロコシの連作土壌でのキュウリつる割病菌の消長を示したが、宿主作物であるキュウリ連作区では他の作物栽培土壌に比較して菌数が多くなる傾向を示した。

土壤微生物の変動(データは省略)をみると、細菌と放線菌では分離年次または分離時期によってかなり変動した。すなわち、各種作物を連作した区(CI区)において大きな変動を示すのは、リクトウ、トウモロコシ、ダイズ、サツマイモおよびトマトなどであった。ラッカセイ、ネギ、ダイコンおよび休かん区では、変動は比較的小さかった。1971年、キュウリと各種作物との交互4年輪作区(CIV区)における



第7図 各種作物の連作とキュウリつる割病菌の消長

細菌および放線菌数は各種作物の4年連作区(CI区)とほぼ同様の変動を示したが、キュウリとトウモロコシとの交互輪作区では細菌が著しく増加した。糸状菌の消長をみると、リクトウ、トウモロコシ、ダイズ、トマト、ネギ、ダイコンなどの連作区ならびにそれら作物とキュウリとの輪作では菌数が増加し、一般にその増加程度は連作区に比較して輪作区で多くなる傾向を示した。

次に、細菌(放線菌を含む)と病原菌の割合、すなわち、B/P値を算出すると、リクトウ、トウモロコシおよびネギなどの連作区ならびにそれら作物とキュウリとの輪作区では高くなったが、ダイズ、トマトおよびダイコンなどの連作区とそれら作物とキュウリとの輪作区ならびに休かん区では、キュウリ連作区と同様に低く経過した。さらに、一部の輪作体系について、B/P値ならびに病原菌数とキュウリつる割病の発病との相関を第19表に示した。発病を枯死株率、発病株率および導管褐変率のいずれでみても大差なく、一般に、B/P値とキュウリつる割病の発病との間には負の相関があり、

病原菌数とキュウリつる割病の発病の間には正の相関があった。そして、連輪作年数が短い場合にはキュウリの栽培後期に、また、連輪作年数が長い場合にはキュウリの栽培初期にその相関が高くなる傾向を示した。

以上、4年間の結果をまとめてみると、各種作物の連輪作にともなってキュウリつる割病の発生、ネコブセンチュウの寄生度、病原菌数ならびに土壤微生物とくに細菌と放線菌数はそれぞれ変動した。そして、リクトウ、トウモロコシ、ラッカセイ、サツマイモ、ダイコンなどとキュウリを輪作すると、キュウリつる割病の発生は著しく軽減するが、この効果には病原菌の増加が抑制されること、土壤中の細菌と放線菌数の著しい増加によってB/P値が高くなることならびにネコブセンチュウの寄生度が低くなることなどが関与しているものと考えられた。

## 2) 考察

土壤伝染性病害の輪作による発病軽減効果については古くから研究が行われてきた。インゲン根腐病はトウモロコシ、アルファルファ、コムギ、オオムギとの輪作によって、その発生が

第19表 連輪作圃場におけるキュウリつる割病の発病率とB/P値ならびに病原菌数との相関係数(CIV区)

発病	B / P 値				病原菌数			
	6/14	7/29	8/25	9/12	6/14	7/29	8/25	9/12
1969年								
枯死株率	-0.04	-0.45	-0.70*	-0.35	0.35	0.56	0.76**	0.73*
発病株率	-0.12	-0.31	-0.53	-0.33	0.42	0.37	0.56	0.82**
導管褐変率	-0.02	-0.23	-0.55	-0.44	0.34	0.30	0.54	0.80*
発病	B / P 値				病原菌数			
	5/19	8/9	9/2	11/29	5/19	8/9	9/2	11/29
1971年								
枯死株率	-0.53	-0.17	-0.22	-0.31	0.52	0.81**	0.14	0.61*
発病株率	-0.52	-0.06	-0.09	-0.34	0.62*	0.76**	0.04	0.55
導管褐変率	-0.53	-0.04	-0.06	-0.40	0.59	0.80**	0.07	0.56

輪作体系(CIV区)は、1968年(輪作作物)…1969年(キュウリ)…1970年(輪作作物)…1971(キュウリ)であった。

軽減され<sup>37, 58, 106, 112)</sup>、トマト萎ちょう病やジャガイモ萎ちょう病 (Goss and Afanasiev, 1938)<sup>30)</sup> さらに、テンサイ黄化病 (Morris and Afanasiev, 1945)<sup>75)</sup> はいずれもアルファルファとの輪作で発病の軽減することが報告されている。しかし、サツマイモつる割病 (Poole, 1936)<sup>88)</sup> およびバナナ萎ちょう病 (Brandes, 1919)<sup>10)</sup> のように輪作によっても効果の認められなかった例もある。これらの研究例から土壌伝染性の病害はすべて輪作によって軽減されるとはいえないが、フザリウム病のうちには非宿主作物であるイネ科作物あるいはアルファルファなどを輪作体系に含ませることによって発病の軽減するものがあることを示している。前述した実験においても、リクトウ、トウモロコシのイネ科作物の他にラッカセイ、サツマイモ、ダイコンとの輪作でキュウリつる割病の発生が著しく軽減し、一方、トマトおよびダイズとの輪作を行った場合には、キュウリ連作の場合と同様に発病が多くなった。

輪作によって発病軽減効果の現れる原因として、これまでの多くの研究成果<sup>7, 19, 40, 42, 44~46, 82, 84, 112)</sup> から、1) 土壌中の病原菌密度の低下、2) 病原力の低下、3) センチュウなどの複合病の軽減による発病抑制などが考えられている。以下これらの諸項目についてそれぞれ考察する。

土壌中における病原菌密度低下について、Baker and Cook (1974)<sup>7)</sup> は、*Fusarium nivale* による紅色雪腐病が麦作の慣行である冬コムギ-休かん-冬コムギの栽培体系の間に春コムギを入れると病原菌の密度が低下してその発病が軽減することを報告している。春コムギは病原菌に感受性であるが、病原菌の活性を増加させるような積雪と低温に遭遇しないので、休かん-春コムギ-休かんという輪作体系は実質的に3年間宿主の存在しない状態になり、発病皆無レベルまで病原菌密度を低下させることが可能であると述べている。本章で述べた実験結果によって、リクトウ、トウモロコシを前作として栽培した土壌ではキュウリつる割病菌の菌密度の増加が抑制され、発病も減少した。病原菌密度の

減少を考える上で、輪作が土壌微生物相に及ぼす影響も無視できない。キュウリつる割病発生の少ないリクトウおよびトウモロコシを前作として栽培した土壌ではB/P値をとると、それぞれ高くなる傾向を示した。従って、これらの土壌中では病原菌密度が減少するのみならず、細菌と放線菌の著しい増加によって生じる基質競合や拮抗関係などの微生物の活動による影響を見逃せない。

伊藤 (1975)<sup>42)</sup> はインゲン根腐病に対する輪作の効果について研究し、オオムギを栽培した跡地土壌の残さ中に生存する病原菌による発病は、インゲンマメ栽培跡地のものよりも激しくないことを認めた。さらに、C/N比の異なる成熟したインゲンマメ茎およびオオムギ稈組織に培養した病原菌を用いて同一菌数をインゲンマメに接種したところ、C/N比の高いオオムギ稈組織に培養したもので病原力は低下することを認めた。この結果から、オオムギ跡地におけるインゲン根腐病の発生の軽減する一要因として病原菌の病原力が関与しているものと推察している。また、東田ら (1982)<sup>34)</sup> によると、タマネギの連輪作圃場において、タマネギ茎盤から *Fusarium oxysporum* を分離して病原性を検討したところ、輪作区ではタマネギ連作区に比較して病原力の強い菌が減少していることを認めている。

フザリウム病のうちには線虫の寄生によって、発病が助長されるものがある。平野 (1980)<sup>36)</sup> は総括し、ネコブセンチュウの寄生によってトマトの萎ちょう病、キャベツの萎黄病、スイカ、メロン、キュウリなどウリ科のつる割病、エンドウ、インゲンの根腐病など多くのフザリウム病発生が助長されることを述べている。

著者も、先に述べたようにネコブセンチュウ病の多発圃場において、キュウリつる割病の発生に及ぼす輪作の効果について検討した。前作にリクトウあるいはトウモロコシを栽培したところでは、キュウリ根へのネコブセンチュウの寄生程度は極めて低く、さらに、ネコブセンチュウの寄生度とキュウリつる割病の発病 (導管褐変率) の間にはかなり高い相関の存在する

ことが認められた(第6図)。輪作はいうまでもなく、土壤伝染性病害に対して最も基本的な防除手段である。輪作それ自体では土壤中の病原菌を完全に死滅させるわけではなく、病原菌の感染能力<sup>28)</sup>の低下によるところが大きい。したがって、病原菌の感染能力に関与する土壤微生物および線虫などが輪作の効果に及ぼす影響は極めて大きいものといえる。

## 2. 連輪作土壤中における病原菌の行動

前節の実験から輪作によるキュウリつる割病の発病軽減効果の現れる要因として、病原菌数の減少ならびに土壤微生物とくに細菌と放線菌の増加が関与していることが明らかとなった。そこで、本節では連輪作土壤中における病原菌の菌密度の変動と発病との関係を明かにし、さらに、土壤中で生存し得る病原菌密度に影響を及ぼす孢子の発芽と厚膜孢子形成などについて明かにし、リクトウやトウモロコシなどの作物栽培によるキュウリつる割病発病軽減効果の現れる原因について究明しようとした。

### 1) 各種作物栽培土壤に接種した病原菌の変動ならびに発病

各種作物を前作した跡地でキュウリつる割病の発生状況が異なる要因を明らかにするため、前作を異にした跡地土壤に病原菌を接種して、その土壤中における変化について検討した。

各種作物(リクトウ、トウモロコシ、ダイズ、ラッカセイ、サツマイモ、キュウリ、トマト、ネギおよびダイコン)を3年連作または3年間休かんした圃場の土壤を採取供試した。土壤1kgに対して、別にⅢ-2-1)の方法で用意したキュウリつる割病菌の病土(病原菌数:乾土1g当たり $26.4 \times 10^4$  CFU)を10または30gずつ接種し、径15cm素焼鉢に充てんした。なお、供試土壤にはキュウリつる割病菌数は乾土1g当たり $4.8 \sim 20.2 \times 10^2$  CFU存在していた。なお、供試土壤の病原菌と接種病土の病原菌は同一の供試菌であった。

キュウリ(品種:青長地這)を1970年9月1日に播種して40日間ガラス室で栽培した。施肥は化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:14:14)

を1鉢当たり4g、全層に混和した。また、病原菌の分離は病土10g接種区から10月15日および12月15日に採土して、前項に準じて希釈平板法で行った。

供試土壤中にはキュウリつる割病菌が多少存在していたが、接種菌の密度が極めて高かったため、発病に対しては供試土壤の病原菌よりも病土の病原菌の影響が大きかったと思われる。

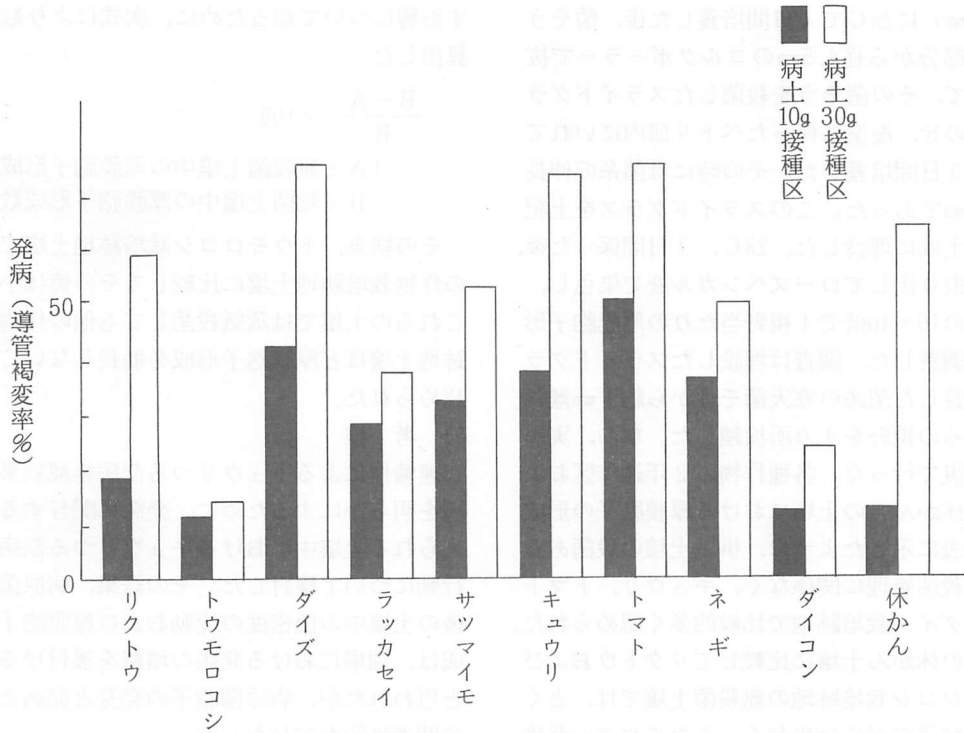
上記の各種作物栽培跡地土壤に栽培したキュウリつる割病発生は、病土接種量が少ない場合、トマト、キュウリおよびネギ跡地土壤で多発し、リクトウ、トウモロコシ、ダイコン跡地および休かんでは少ない傾向を示した。また、病土接種量が多い場合、ダイズ、キュウリ、トマト跡地で発病が多く、トウモロコシおよびダイコン跡地では少発であった。トウモロコシ、ダイコンおよびラッカセイ跡地土壤では病土接種量の多少にかかわらず、つる割病の発生はあまり変動しなかったが、休かん、リクトウ、キュウリ、ダイズおよびトマトの各跡地土壤では接種量が多いと発病は急激に増加した(第8図)。

病原菌数の変動をみると、第9図に示したように、休かん土壤に比較して、リクトウおよびトウモロコシ跡地土壤では少なく、逆にダイズ、キュウリ、トマト跡地土壤では増加し、この病原菌数の増減はつる割病発生とほぼ一致するようであった。

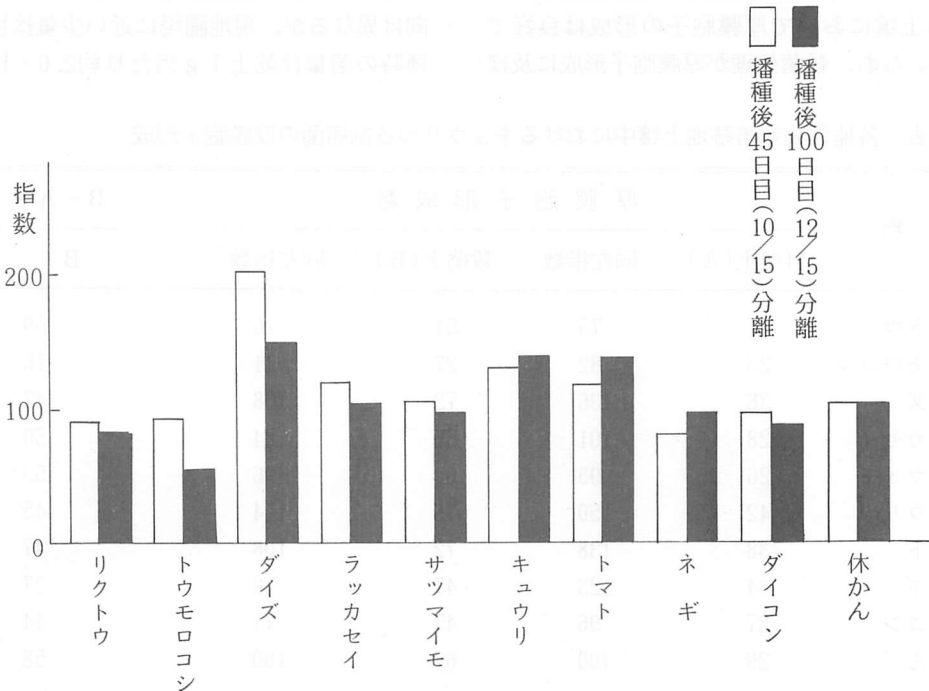
### 2) 各種作物栽培跡地土壤における病原菌の厚膜孢子形成

前作に異なった作物を栽培した土壤中、キュウリつる割病菌の厚膜孢子形成がどのような影響をうけ、その結果がつる割病の発生と関連しているか否かについて検討した

各種作物(リクトウ、トウモロコシ、ダイズ、ラッカセイ、サツマイモ、キュウリ、トマト、ネギおよびダイコン)の2年連作区および2年休かん区の土壤を採土し、2mm目のフルイを通して供試した。これらの供試土壤は殺菌区(120C, 1分間蒸気殺菌)と無殺菌区に分け、いずれも500mlのビーカーに充てんした。キュウリつる割病菌をバレイシヨ煎汁寒天培地(厚



第8図 各種作物栽培跡地に病原菌を接種した場合のキュウリつる割病発生



第9図 各種作物栽培跡地土壤中の病原菌数の変動 (休かん区を100とした場合の指数)



さ約2mm)に28Cで4日間培養した後、菌そうの先端部分から径4.5mmのコルクボーラーで抜き取って、その菌そうを殺菌したスライドグラス上にのせ、湿室に保ったペトリ皿内にいれて28Cで3日間培養した。その時には菌糸の伸長は約5mmであった。このスライドグラスを上記の供試土壤に埋設した。28C、7日間保った後、静かに取り出してローズベンガル液で染色し、顕微鏡の10×40倍で1視野当たりの厚膜孢子形成数を調査した。調査は埋設したスライドグラスに伸長した菌糸の寒天菌そうから約1mm離れたところの視野を4カ所検鏡した。なお、実験は3反復で行った。各種作物の2年連作区および2年休かん区の土壤における厚膜孢子的形成は第20表に示したように、供試土壤の殺菌あるいは無殺菌処理に関係なく、キュウリ、トマトおよびダイズ栽培跡地で比較的多く認められた。対照区の休かん土壤に比較してリクトウおよびトウモロコシ栽培跡地の無殺菌土壤では、とくに厚膜孢子的形成は少なく、トウモロコシ栽培跡地の殺菌土壤でも同様の傾向が認められた。いずれの作物栽培跡地土壤でも無殺菌土壤よりも殺菌土壤において厚膜孢子的形成は良好であった。なお、殺菌処理が厚膜孢子的形成に及ぼ

す影響について知るために、次式により数値を算出した。

$$\frac{B-A}{B} \times 100$$

(A: 無殺菌土壤中の厚膜孢子的形成数  
B: 殺菌土壤中の厚膜孢子的形成数)

その結果、トウモロコシ栽培跡地土壤では他の作物栽培跡地土壤に比較してその値は小さく、これらの土壤では蒸気殺菌しても他の作物栽培跡地土壤ほど厚膜孢子的形成を助長しないことが認められた。

### 3) 考 察

連輪作によるキュウリつる割病軽減効果の原因を明らかにするために、発病に関与すると考えられる土壤におけるキュウリつる割病菌の行動について検討した。その結果、病原菌接種後の土壤中の菌密度の変動および厚膜孢子的形成は、圃場における発病の増減を裏付ける現象と思われたが、病原菌孢子的の発芽と発病との間の関連は明かでなかった。

すなわち、各種作物栽培跡地土壤に病原菌を接種した場合、接種菌量の多少によってやや傾向は異なるが、現地圃場に近い少量接種区(接種時の菌量は乾土1g当たり約 $2.6 \times 10^8$ CFU)

第20表 各種作物栽培跡地土壤におけるキュウリつる割病菌の厚膜孢子的形成

作物	厚膜孢子的形成数				$\frac{B-A}{B} \times 100$
	自然土(A)	同左指数	殺菌土(B)	同左指数	
リクトウ	21	75	51	76	59
トウモロコシ	23	82	27	41	16
ダイズ	38	136	72	108	47
ラッカセイ	28	101	56	84	50
サツマイモ	26	95	64	96	59
キュウリ	42	150	76	114	45
トマト	38	138	72	108	47
ネギ	34	123	47	70	27
ダイコン	27	96	47	71	44
休かん	29	100	67	100	58

では、トマト、ダイズおよびキュウリ栽培跡地土壌でキュウリつる割病は多発し、リクトウ、トウモロコシおよびダイコン栽培跡地土壌および休かんで発病が少ない傾向であった。そして、キュウリ栽培直後（分離月日：10月15日）の病原菌数はリクトウ、トウモロコシ、ネギおよびダイコン栽培跡地土壌では比較的少なく、ダイズ、キュウリおよびトマト栽培跡地土壌では増加した。また、各種作物栽培跡地土壌でのキュウリつる割病菌の厚膜胞子形成数をみると、小型分生子を用いたスライドグラス法では形成数が極めて少なく、明瞭な結果が得られなかった（データ省略）が、培地の寒天菌そうから伸長した菌糸の厚膜胞子形成をみた実験では各種作物栽培跡地土壌の間で差異が認められた。キュウリつる割病発生の多いキュウリ、トマトおよびダイズ栽培跡地土壌で形成数は多く、発病の少ないリクトウおよびトウモロコシ栽培跡地土壌では少なかった。上記の二つの実験法の違いは、前者は小型分生子を栄養源を加えないままに土壌中に埋設したために発芽率も低く、厚膜胞子形成数も少なかったと考えられるが、後者の菌糸で土壌中に埋設した場合には、菌糸からの厚膜胞子化が容易に起こったものと推察される。

土壌中において菌の発芽および生育の抑制される現象を、Lockwood (1964)<sup>57)</sup> は土壌の静菌作用 (soil fungistasis) という概念を提唱した。本実験においては病原菌胞子の発芽すなわち土壌の静菌作用とキュウリつる割病の発生との関連について検討したが、両者の関係を明かにすることはできなかった。厚膜胞子形成については、さらに精細な研究を行う必要があるが、キュウリつる割病の発病の多い各種作物栽培跡地土壌では、接種した病原菌数が増加し、さらに厚膜胞子形成数の増加することは興味深い現象であった。

### 3. 作物根とフザリウム菌の行動

前項の実験では、連輪作土壌はいずれも作物根のない条件下での実験であったが、作物の連輪作では作物根の病原菌に及ぼす影響は極めて

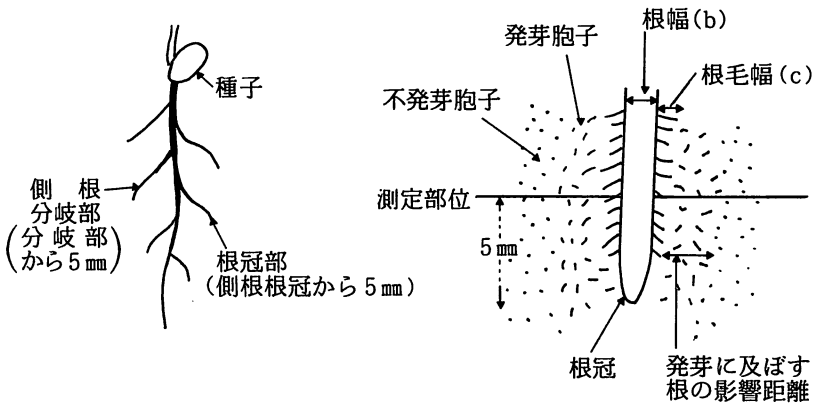
大きいものと考えられる。そこで本節ではキュウリつる割病菌の生態に及ぼす作物根の影響について明らかにし、輪作による発病抑制効果の現れる原因の一端を知ろうとした。

#### 1) 作物根圏におけるキュウリつる割病菌の生態

宿主および非宿主作物根圏におけるキュウリつる割病菌の小型分生子の発芽を観察して、それらの間に差異がないかどうかを検討した。

キュウリつる割病菌の小型分生子懸濁液（孢子濃度  $28 \times 10^6$  CFU/ml）を作成し、これを殺菌したスライドグラス全面に塗布した。その際、孢子付着が均一になるように0.2%の展着剤（商品名：トクエース…ジアルキルスルホサクシネイト9%，ポリエチレンアルキルアリエテル31%，溶剤など60%）を加えた。孢子懸濁液を塗布し風乾した後、あらかじめ殺菌土中で3日間栽培し根に付着した土を洗い去った作物根を、濾紙上で水滴を取り去り、スライドグラスにのせ、径9cmの殺菌ペトリ皿内に置き、その上に無殺菌土壌（厚層腐植質黒ボク土、休かん土を2mm目のフルイを通したものを）を充てんした。28°C、24時間後、スライドグラスを取り出して火焰固定の後、ローズベンガル液で染色して検鏡した。調査は側根分岐部と根冠部について各々3カ所、根を中心として孢子発芽が認められた部分の幅と根の太さを測定した。また、発芽した孢子100個について発芽管長を測定した。観察部位の模式図は第10図に示した。なお、供試した作物の品種は次の通りであった。キュウリ…青長地這、オオムギ…竹林茨城2号、トマト…福寿2号、ダイコン…みの早生大根、エンドウ…絹莢えんどう、インゲン…トック Klopp。

小型分生子の発芽が観察された根からの幅は、第21表のように、宿主作物のキュウリの根では側根分岐部、根冠部ともに、非宿主作物に比較して大きく、約1,200~1,300  $\mu$ mであった。非宿主作物のダイコンでは約600~700  $\mu$ m、エンドウでは約400~600  $\mu$ mで比較的影響距離が広く、次いで、トマトは約200~400  $\mu$ m、ノビルの側根分岐部133  $\mu$ m、オオムギの根冠部125  $\mu$ m



第10図 作物根圏におけるフザリウム菌胞子発芽観察部位の模式図

第21表 宿主ならびに非宿主根のフザリウム菌胞子発芽に及ぼす影響

作物	根の調査部位	根を中心とした胞子の発芽幅 (a)	根幅		胞子発芽に及ぼす根の影響距離 $a - (b + 2c)$	発芽管長 (100コの平均)
			根の幅 (b)	根毛の幅 (c)		
		$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
キュウリ	側根分岐部	3,058	367	180	1,166	115
	根冠部	3,150	275	151	2,186	
オオムギ	側根分岐部	1,575	644	454	11	102
	根冠部	1,425	476	352	125	
トマト	側根分岐部	1,350	247	357	195	66
	根冠部	1,575	190	316	376	
ダイコン	側根分岐部	2,850	410	481	739	126
	根冠部	2,100	316	269	623	
エンドウ	側根分岐部	1,725	349	111	578	78
	根冠部	1,275	255	114	396	
インゲン	側根分岐部	975	281	228	120	46
	根冠部	675	187	189	55	
ノビル	側根分岐部	1,350	464	310	133	57
	根冠部	300	333	209	-226	

mの順に狭くなった。一般に、オオムギ、ノビルおよびインゲンなどは影響距離が狭かった。発芽管長はキュウリの根の周辺では平均155 $\mu\text{m}$ 、ダイコンでは平均126 $\mu\text{m}$ であった。また、オオムギの根では胞子発芽に影響する距離が狭

いにもかかわらず、発芽管伸長が良好であった。トマト、ノビルおよびインゲンなどでの発芽管長は比較的少なかった。なお、第22表に示したように、展着剤の加用の小型分生子の発芽に及ぼす影響はほとんどないものと考えられた。

第22表 *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* 小型分生子発芽に及ぼす展着展剤の影響

処 理	調査分生子数	発芽率 %
展着展剤(0.2%)添加	166	90.8
無 添 加	153	91.1

孢子懸だく液に展着展剤を添加し、スライドガラスに滴下して風かんした後、0.5%グルコース液中に28Cで24時間保った後、取り出して染色して発芽を調査した。

## 2) 土壌および作物根圏におけるフザリウム菌の分布

各種フザリウム菌の土壌中における生存形態は主として厚膜孢子である。この孢子の発芽は受動的で植物根などから排出、分泌される諸物質の刺激によってはじめて発芽することがすでに明らかにされている<sup>84, 86, 88</sup>。したがって、土壌中におけるフザリウム菌の分布、換言すれば菌密度と生息場所は根の影響を受けると考えられる。ここでは宿主作物根および雑草根におけるキュウリつる割病菌の分布について明らかにしようした。

### 実験方法

キュウリつる割病菌の麦粒培地で培養したものの(28Cで1カ月間培養)200gを1m×1mのコンクリート枠内の表土30cmに接種してよく混和した。同様に菌を接種したコンクリート枠を7区設け、そのうち、5区には1カ月間放置した後、キュウリを播種(播種月日:1964年6月15日)した。キュウリは1枠当たり4粒ずつ播種し、供試品種は青長地這であった。なお、残りの2区はキュウリを栽培せず、雑草も全て抜き取った。夏季(9月4日)および冬季(12月23日および1月12日)に下記の区分にしたがって土壌およびキュウリ根からフザリウム菌を分離した。雑草についてはキュウリを栽培したコンクリート枠内に生育したものを供試した。

供試土壌および試料は次ぎに述べるような採取区分にしたがって採取した。

①土壌(Root free soil) …キュウリを栽培し

ない枠の2区から後述するような深さごとに移植ごてを使って約100g採土し、2mm目のフルイを通して良く混和して1サンプル当り10gを供試した。

②根圏土壌(Rhizosphere soil) …水中分画法<sup>107)</sup>に準じ次ぎに述べる分画を行ってフザリウム菌を分離した。

a. Outer Rhizosphere(OR, 株元土壌) …キュウリの株元土壌に穴を掘り、後述するような深さごとに移植ごてを使って採土した。なお、根は除いて供試した。

b. Inner Rhizosphere(IR<sub>2</sub>) …上記ORを採取した株の深さ18cmまでの根部を供試した。キュウリの生育は蔓の長さで2m以上あり、供試した根部の生重は20gであった。なお、雑草の根部も深さ約18cmまでのものを用い、生重は2gであった。供試根を100mlの殺菌水中に20分間浸漬した後、2, 3回手で静かに振とうし付着した土壌をおとした状態のものの土壌懸濁液である。

c. Inner Rhizosphere(IR<sub>1</sub>) …上記の根を100mlの殺菌水中に入れ、手で激しく5分間振とうしてIR<sub>2</sub>の処理後の根部になお付着した土壌をおとした状態の土壌懸濁液である。

d. Inner Rhizosphere(IR<sub>0</sub>) …上記の根を100mlの殺菌水中に入れ、振とう器で10分間振とうする。その後、根を取り除いた懸濁液である。

土壌および株元土壌は深さ0~3cm, 3~8cm, 8~13cm, 13~18cmおよび18~23cmから採土した。

採取年月日:1964年9月4日にキュウリと雑草根および土壌を、12月23日には土壌を、1965年1月12日には雑草根を採取した。

病原菌数の測定:希釈平板法によって行った。供試培地は前述(IV-1)したPP培地である。なお、分離された*Fusarium oxysporum*はやはり前述(IV-1)した幼芽検定によってキュウリに対する病原性を確認した。

### 実験結果

第23表に示したように、土壌、根圏土壌ともに、病原菌数は土壌表層0~3cmにおいて最も

多く、深さを増すにしたがって減少した。また、いずれの深さにおいても株元土壌の菌数は土壌中の菌数よりも多かった。なお、病原菌は深さ30cmまで接種したにもかかわらず、20cm以下の層ではまったく分離されなかった。また、第

24表に示すように、冬季では最上層（0～3cm）および次層（3～8cm）の菌数は最も多く、それより下層になるにつれて少なかった。

また、夏季におけるキュウリ根圏土壌の病原菌数を区分してみると（第25表）、I R<sub>0</sub>では極

第23表 夏季の土壌および根圏における*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の菌数

供試土壌	土壌深度, 根圏分画	病原菌菌数 (×10 <sup>2</sup> )
Root free soil	0～3cm	118
"	3～8	45
"	8～13	0
"	13～18	4
"	18～23	0
Outer Rhizosphere	0～3cm	172
"	3～8	80
"	8～13	45
"	13～18	4
"	18～23	0
Inner Rhizosphere	I R <sub>0</sub>	2,194
"	I R <sub>1</sub>	127
"	I R <sub>2</sub>	234
スズメノテッポウ	I R <sub>2</sub>	98
ヒメシオン	I R <sub>2</sub>	39

病原菌の菌数は乾土1g当たりで表示した。

I R<sub>0</sub>, I R<sub>1</sub>およびI R<sub>2</sub>の乾土重は希釈液中で根を除いた供試土壌の乾燥重量で求め、1gに換算した。

第24表 冬季の土壌における*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の菌数

供試土壌	土壌深度, 根圏分画	病原菌菌数 (×10 <sup>2</sup> )
Root free soil	0～3cm	119
"	3～8	113
"	8～13	88
"	13～18	11
"	18～23	5
"	23～28	0
スズメノテッポウ	I R <sub>2</sub>	161
ヒメシオン	I R <sub>2</sub>	108

病原菌の菌数は乾土1g当たりで表示した。I R<sub>2</sub>の乾土重は希釈液中で根を除いた供試土壌の乾燥重量で求め、1gに換算した。Root free soilは、採土時にはキュウリを栽培していなかったが、夏季（前表）のOuter Rhizosphereの位置に相当する。

第25表 冬季の雑草根圏および土壌における*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の菌数

供試雑草および根圏分画	病原菌菌数 (×10 <sup>2</sup> )
スゲ Inner Rhizosphere (IR <sub>2</sub> )	185
スズメノカタビラ "	158
ハハコグサ "	192
カタバミ "	141
スズメノテッポウ "	206
ヒメシオン "	146
土壌 (Root free soil)	125

病原菌の菌数は乾土1g当たりで表示した。IR<sub>2</sub>の乾土重は希釈液中で根を除いた供試土壌の乾燥重量で求め、1gに換算した。

めて多く、また、土壌区分に比較してIR<sub>1</sub>、IR<sub>2</sub>ともに多かった。このことから、キュウリつる割病菌は根面に極めて近い部分で増殖しており、宿主根面は病原菌の増殖の場となっていると考えられる。

雑草根圏の病原菌数を比較してみると、第23～25表に示されているように、夏季の雑草IR<sub>2</sub>の病原菌数は土壌区分に比較して少なかったが、冬季には明らかに菌数が多く存在していた。雑草の種類ではとくにスズメノテッポウ、ハハコグサ、スゲなどの根圏にやや多い傾向が認められた。

### 3) 各種作物根圏の分画と病原菌数の変動

これまで述べてきた観察実験から、前作の種類によって土壌中の病原菌の消長に変化がおり、これにともなって宿主作物の発病状態も異なることが明らかになった。ここでは、このような差異をもたらした原因は、前作物の根圏における病原菌の生育によるものと考え、各種前作物の幼苗の根圏、とくに根面における病原菌数の増殖状態における差異を明らかにしようとした。

#### 実験方法

##### (1) 実験-1

供試土壌(水戸市茨城農試場内厚層多腐植質黒ボク土、無殺菌休かん土で5mm目のフルイを通したもの)400gに別に調整したキュウリつる割病菌の病土を各々20gを加えてよく混和し、径10cm素焼鉢に充てんした。病土の調整はⅢ-3-1)に準じ、土壌フスマ混合培地(土壌:

フスマ=9:1v/v, 120Cで30分間蒸気殺菌)培養菌約300gを、蒸気殺菌土(120Cで30分間殺菌)5kgに接種して、キュウリ(品種:青長地這)を1カ月間栽培した後、2mm目のフルイを通して風乾したものである。この病土の病原菌数は乾土1g当たり24.6×10<sup>4</sup>CFUであった。充てん後直ちに供試作物を播種した(1970年10月12日)。これらは10月26日間まで無加温のガラス室内で育成した。

供試作物および品種名:イネ(ミズハタモチ)、トウモロコシ(ゴールデンクロスバンダム)、ダイズ(タチスズナリ)、ラッカセイ(千葉半立)、キュウリ(青長地這、松のみどり、長型新ときわ、全国四葉)、カボチャ(芳香南瓜)、トマト(福寿100号)、ダイコン(春まきみの早生)、なお、標準区として無作物区を設けた。

施肥:化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=13:17:12)1鉢当たり3gずつ全層に混和した。

根圏各部位からの病原菌の分離は、1970年10月26日に作物根を静かに抜き取って、前試験と同様に水中分画法<sup>10)</sup>に準じてIR<sub>2</sub>、IR<sub>1</sub>およびIR<sub>0</sub>に分画して病原菌数を測定した。希釈平板法で行い、PP培地(Ⅳ-1)を用いた。

##### (2) 実験-2

前試験と同じ供試土壌4kgに前実験に準じて別に調整した病土(病原菌数は乾土1g当たり88.6×10<sup>2</sup>CFU)を各々400gずつ添加して混和し、径30cmの素焼鉢に充てんし、直ちに次ぎに述べる供試作物を1970年5月17日に播種した。

播種後34日間ガラス室で育成した。

供試作物および品種名：実験-1と同じ作物、同じ品種の他に下記の作物（品種）を供試した。ネギ（金長葱）、インゲン（トックロップ）、山東菜（品種不詳）。施肥：化成肥料（N：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>O=12：18：14）1鉢当たり10gずつ表土（深さ10cm）に混和した。

病原菌の分離は、前試験と同様の方法で1970年6月20日に作物根を抜き取って行った。

### (3) 実験-3

供試したキュウリ品種のつる割病の発病程度をみるために、次のような実験を行った。前試験と同じ供試土壌を120Cで30分間蒸気殺菌して、径12cm素焼鉢に100gずつ充てんした。キュウリつる割病菌の土壌フスマ混合培地培養菌（28C、約1カ月間培養）を1鉢当たり10gずつ接種し、施肥は化成肥料（N：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>O=14：14：14）を1鉢当たり3gずつ表層に混和した。その後、1970年5月17日にキュウリを播種した。播種後40日間、28Cの採光定温器内

で育成した。発病調査はキュウリ出芽後随時行い、1971年1月10日に全株を抜き取って調べた。

### 実験結果

第26表に示したように、作物根圏をI R<sub>2</sub>、I R<sub>1</sub>およびI R<sub>0</sub>に分けて病原菌数を調査したところ、接種した病原菌数の差によって多少傾向が異なるが、トウモロコシ根圏では各分画ともに病原菌数は顕著に減少した。ラッカセイでも多少同様の傾向が認められた。宿主作物のキュウリの根圏とくにI R<sub>0</sub>では著しい増加を示した。第27表に示したキュウリ各品種のつる割病発生との関連でみると、罹病性品種である青長地這、長型新ときわおよび全国四葉の根圏においては病原菌数は増加したが、抵抗性品種である松のみどりでは増加は抑制される傾向を示した。キュウリ、カボチャ、トマトおよびダイズの根圏では一般に、I R<sub>2</sub><I R<sub>1</sub><I R<sub>0</sub>で、根面に近いほど病原菌数は増加した。しかし、イネ、トウモロコシ、ラッカセイおよび山東菜などではそのような傾向は認められなかった。

第26表 各種作物根圏の分画と*F.oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の菌数

供 試 作 物	実 験 - 1			実 験 - 2		
	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>0</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>0</sub>
イ ネ	11	7	4	84	161	85
トウモロコシ	3	3	7	70	22	47
ダイズ	10	8	12	86	46	82
ラッカセイ	5	17	4	99	38	19
キュウリ（品種：青長地這）	11	13	132	61	96	168
“（品種：松のみどり）	9	22	13	74	86	132
“（品種：長型新ときわ）	36	53	237	68	167	338
“（品種：全国四葉）	9	38	238	64	141	411
カボチャ	11	27	94	67	233	131
トマト	1	9	19	57	214	189
ネ ギ	—	—	—	34	0	101
ダイコン	11	5	128	66	133	78
インゲン	—	—	—	65	68	83
山東菜	—	—	—	54	65	34
無作物（土壌）	8	—	—	64	—	—

R<sub>2</sub>およびR<sub>1</sub>は、乾土1g当たり、R<sub>0</sub>は乾根土1g当たりの菌数（×10<sup>3</sup>）である。

第27表 供試したキュウリ品種のつる割病発生

供試品種	播種	苗立数	出芽前 立枯苗 率	発 病	
				株 率	導管褐変率
	粒	本	%	%	%
青長地這	10	9	10	56	56
松のみどり	10	9	10	3	1
長型新ときわ	10	6	33	43	38
全国四葉	10	10	0	30	28

4) 土壤中におけるキュウリつる割病菌の分布に及ぼす作物根圏の影響

前項の観察によって、休かん区よりも各種作物根圏において、キュウリつる割病菌の増減が影響されることが認められた。本項では病原菌接種圃場に栽培した作物の根による病原菌の水平および垂直分布に及ぼす影響について検討した。

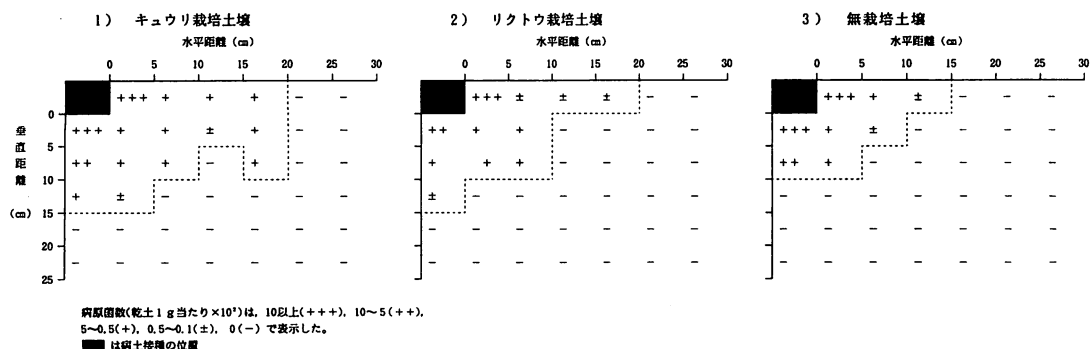
供試土壌および病土の接種法：キュウリ無栽培の休かん土壌（厚層腐植質黒ボク土）を深さ約10cmの表層部を耕耘機で耕起，整地した後，表層から深さ5cm，縦横それぞれ5cmの土壌を取り除き，キュウリつる割病菌の病土，Ⅲ-2-1)の実験-1と同様にして作成し風乾しない病土を埋め込み接種した。その中央部に，直ちにキュウリ（品種：青長地這），リクトウ（品種：農林12号）を1カ所に3粒ずつ播種し，出芽後は間引きして1株とした。播種年月日は1966年7月25日であった。キュウリ，リクトウ

栽培区および無栽培区には播種後30日および60日に調査する区をそれぞれ1区ずつ設けた。播種時の土壌水分は約28%であった。なお，作物播種後は2日おきに除草を実施した。

病原菌の分布範囲の調査：播種後30日および60日にモノリスを使用して土壌を抜き取り，土壌断面を水平，垂直に5cm間隔に分けて採土し供試土壌とした。

病原菌の分離：Ⅳ-1のPP培地を用いた希釈平板法によって測定した。病原菌の判別が困難な菌そうは幼芽検定によって病原性を確かめた。

調査結果は第11図に示した。キュウリつる割病菌の検出範囲を検討すると，病土を置いた部分を中心に下方および水平方向に碗皿状に広がっている。この場合，垂直方向よりも水平方向に拡大していることが栽培土壌および非栽培土壌に共通している。ただし，本菌の分布範囲はキュウリ栽培区において最も広く，リクトウ



第11図 播種後60日目までの*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*の分布範囲の拡大



付表 作物栽培期間中の降水量と降雨日

播種後 経過日数	降雨 日数	降雨日	降水量	播種後 経過日数	降雨 日数	降雨日	降水量
30日	20日		59.7mm	60日	21日		270.8mm
		8月13日	6.0mm			9月2日	10.5mm
		14日	13.5			3日	14.5
7月25日		15日	9.0			4日	13.5
～8月24日		20日	12.6			8日	5.9
		21日	9.2			9日	16.0
				8月25日		13日	21.2
				～9月24日		17日	21.0
						18日	19.4
						19日	9.4
						21日	10.7
						22日	7.8
						24日	60.3

栽培区、無栽培区の順に狭くなっている。これは恐らく作物根の影響と考えられる。なお、無栽培区において分布範囲が拡大したのは、この試験を野外で行ったために、付表のようにしばしば降雨に見舞われており、分布範囲が拡大したものと考えられる。モノリスによって、キュウリ根の分布を播種後30日目に調査したが、太根は水平10cm、垂直15cmに分布し、細根は水平、垂直ともに30cmの範囲にわたり分布していた。

##### 5) 考察

植物根からは土壤中の栄養となる各種の化合物が分泌されていることは、これまで多くの研究者らによって明らかにされてきた。

Rovira(1965)<sup>92)</sup>は各種アミノ酸、有機酸、ビタミン類および酵素類などが分泌されることを明かにした。また、Harmsen and Jager(1963)<sup>91)</sup>によると、コムギの根のごく近い部分で炭水化合物は100ppm、窒素化合物は30ppm以上存在すること、また、これらの物質は根から5～10mmの範囲まで及んでいることを認めている。

Papavizas and Davey(1961)<sup>84)</sup>はルーピンの若い根では根圏効果がその周辺18mmまで及

んでいると述べている。そして、Schroth and Snyder(1961)<sup>96)</sup>によれば、古い根よりもよく活動している新しい根の先端で最も多く分泌されているという。このように根から分泌される諸物質を利用して、いわゆる“根圏”では微生物が活性化し、土壤中の微生物フロラとは異なったフロラが形成されている。植物病原菌の中にも根圏効果によって活性化され、作物の病害の発生に関係しているものが多い。各種作物根圏におけるキュウリつる割病菌小型分生子の発芽状況を比較してみると、宿主作物のキュウリ根圏で最も良好であり、根と小型分生子が接触してから24時間でその影響をうける範囲は根の周辺1,200～1,300 $\mu$ mであった。また、非宿主作物根圏においても発芽促進が認められた。これらは従来の知見<sup>98)</sup>とも一致した。なお、活性の高い根冠部で発芽の誘発物質が分泌されるというが<sup>99)</sup>、ここでの実験観察では側根分岐部と根冠部との間に発芽状態に大差は認められなかった。

一方、鈴木・石沢(1965)<sup>107)</sup>は根圏効果をより精細に明らかにするために特異な根圏分画法を考案発表した。著者はこの方法を用いてキュ

ウリ根圏におけるキュウリつる割病菌の活動を明らかにしようと考えた。キュウリつる割病菌はキュウリ根からやや離れたIR<sub>2</sub>およびIR<sub>1</sub>区分よりも根に近い部分、すなわち、根面といえるIR<sub>0</sub>区分で病原菌数が極めて多いことが明らかになった。この結果は、土壤中においてキュウリつる割病菌がとくに根面で増殖していることを示唆している。

キュウリつる割病の病土に各種作物を30日間栽培して根圏と非根圏における病原菌の分布をみたところ、宿主作物であるキュウリ以外の作物根圏での病原菌の増殖率は低く、とくに、リクトウおよびトウモロコシではむしろ、増殖は抑制されている。この事実は前項で述べた連輪作土壤中の病原菌の増減の結果とも一致した。しかしながら、冬期の雑草根圏内でもキュウリつる割病菌の増殖が認められることから、輪作体系を考える上で雑草の役割についても考慮する必要のあることを示している。キュウリの中でも、罹病性品種である青長地這、長型新ときわおよび全国四葉の根圏における増殖は顕著であったのに対して、抵抗性品種である松のみどりではこのような現象は認められなかった。このように、キュウリ抵抗性品種の根圏でも病原菌の増殖が抑制されていると考えられる。Timonin(1941)<sup>109)</sup>のアマの立枯病抵抗性品種が根から青酸を分泌して根圏微生物相を変化させることを観察している。また、Buxton(1957)<sup>12)</sup>はエンドウ根腐病抵抗性品種の根からは病原菌の生育阻害物質が分泌されることなどの事実を述べている。キュウリの場合にも抵抗性品種が何らかの病原菌生育阻害物質を分泌していることも十分に考えられる。

抵抗性品種による病原菌生育阻害物質のみならず、各種の非宿主作物根圏は、病原菌の増殖を抑制することが認められている。すなわち、タマネギの根圏では、インゲン根腐病菌の菌数が減少すること(Schroth and Hendrix(1962)<sup>97)</sup>), また、キャベツおよびワタの根には*F.oxysporum*の多くの種の生育を抑制する物質が含まれていること(Davis(1964)<sup>22)</sup>)などである。

作物根の病原菌に対する作用は、根圏における増殖の場としてのみならず、土壤中における病原菌の分布にも影響を及ぼすものと考えられる。すなわち、前述したようにキュウリつる割病菌の分布は宿主作物を栽培することによって、土壤の深層にまで及び、また、水平方向への拡大も認められたことから、作物根は病原菌の分布を拡大する傾向のあることが示唆された。

#### 4. 連輪作土壤中におけるネコブセンチュウ寄生とフザリウム病発生

##### 1) ネコブセンチュウ寄生根圏における病原菌数および微生物相の変動

作物の連作または輪作を実施すると、土壤中における病原菌の消長および宿主作物のネコブセンチュウ寄生程度が異なり、それに対応してキュウリつる割病の発生が変化した。そこで、このような変化の起こる原因を探求するために、キュウリつる割病とネコブセンチュウとの相互の生態的關係を明らかにする実験を行った。

##### 実験方法

##### a) ネコブセンチュウ寄生キュウリ根圏における病原菌数および微生物相の変動

IV-1のキュウリ4年連作の試験圃場に栽培したキュウリの根部を播種後約100日目(1971年8月28日)に採取して、その根圏部を水中分画法<sup>107)</sup>によって、IR<sub>1</sub>およびIR<sub>0</sub>分画の病原菌ならびに土壤微生物数を測定した。なお、分離法および分離培地は前実験(IV-1)に準じた。根部は発病根と無発病根、さらに、ネコブセンチュウ寄生度ごとに3段階に類別し、各々10株から得られた根(各々生根で約20g)を供試した。なお、発病根は導管部がすべて褐変しているもので、無発病根はまったく褐変していない株である。ネコブセンチュウ寄生度はIV-1のGall-index法<sup>115)</sup>に準じた。

##### b) ネコブセンチュウおよび病原菌接種土壤に栽培したキュウリ根圏における病原菌数の変動

茨城農試場内の雑草繁茂地の土壤(厚層多腐植質黒ボク土)を用いた。供試土壤は5mm目の

フルイにかけ、これを2分してその一部は蒸気殺菌（120C，30分間）し、他の一部は無殺菌のまま用いた。径30cmの素焼鉢に供試土壌を5kgずつ充てんし、病原菌（土壌フスマ培養菌，28C，14日間）または、キュウリネコブセンチュウ寄生根（導管褐変は認めないが、病原菌による汚染の可能性がある）の細断したものを各々1鉢当たり50gずつ接種し、トウモロコシ（非宿主作物，品種：ゴールデンクロスバンダム）およびキュウリ（宿主作物，品種：青長地這および松のみどり）を1鉢当たり10粒ずつ播種した。播種後8日目（1971年9月21日），同16日目（9月29日）および同36日目（10月19日）に各幼苗を3本ずつ抜き取って根圏部の病原菌数を測定した。分離法および分離培地は前試験に準じた。

#### 実験結果

第28表に示したように、ネコブセンチュウの寄生したキュウリ根圏における病原菌数は発病の有無にかかわらず、その寄生度が高くなるにつれて、増加する傾向を示した。この傾向は無発病株に比較して発病株で著しかった。また、いずれの供試根においても、根の表面に近いほど病原菌数が多かった。このことは根面が土壌中における病原菌の増殖の場となっていること、さらに、ネコブセンチュウの寄生によって、そ

の傾向が増強されることを暗示している。全細菌および糸状菌数もネコブセンチュウ寄生度が高くなるにしたがって顕著な増加を示したが、放線菌の増加は認められなかった。

第29表によって明らかなように、ネコブセンチュウおよび病原菌接種土壌に栽培したキュウリ根圏における病原菌数は混合接種区では単独接種区に比較してかなり顕著に増殖し、また、殺菌土での病原菌数は無殺菌土に比較して高かった。トウモロコシおよびつる割病抵抗性キュウリ（品種：松のみどり）の根圏においては罹病性キュウリ（品種：青長地這）のそれに比較して病原菌の増殖が抑制されていた。この結果は前試験（IV-3-3）のそれと同様であった。一般的に、病原菌が増加する時期より、ネコブセンチュウの被害の現われる時期の方が早いことが観察された。

上述の実験区における作物幼苗根圏の細菌、放線菌および糸状菌数の変化を第30、31表に示した。総括してこれらの微生物数は混合接種区において著しく増加している。その傾向は無殺菌土よりも殺菌土区において、また、トウモロコシ根圏よりもキュウリ（青長地這）根圏において顕著であった。混合接種区の作物根圏での細菌および放線菌数が、ネコブセンチュウまたは病原菌の単独接種した場合に比較して異常に

第28表 ネコブセンチュウ寄生度と根圏の病原菌および土壌微生物数の変動

供試株	ネコブセンチュウ寄生度	B培地×10 <sup>5</sup>		RBS培地×10 <sup>4</sup> 糸状菌	各分画ごとの病原菌数×10 <sup>2</sup>		
		細菌	放線菌		IR <sub>1</sub>	IR <sub>0</sub>	IR <sub>0</sub> /IR <sub>1</sub> ×10
発病株	2	186	1	74	15	34	233
	3	911	5	67	18	53	303
	4	917	4	120	102	313	307
無発病株	2	136	3	63	7	5	83
	3	289	4	93	11	21	194
	4	726	1	98	26	113	440

数値は乾根土1g当たりの菌数で表示した。

増加していることは、幼苗期の作物根がネコブセンチュウと病原菌の混合感染を受けた結果、微生物的に著しく活性をもつ場になっていることを示している。

第29表 病原菌とネコブセンチュウ接種土壌における各種作物根圏の病原菌の変動

供試作物	土壌の種類*	播種後8日目			播種後16日目			播種後36日目		
		Fo.**	Foc.**	ネコブ寄生度	Fo.**	Foc.**	ネコブ寄生度	Fo.**	Foc.**	ネコブ寄生度
	F	4	4	—	9	9	—	95	20	—
	殺菌 F+N	29	29	—	7	7	—	83	28	—
	N	94	29	—	70	19	—	32	13	—
	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—
トウモロコシ	F	0	0	—	6	6	—	5	5	—
	無殺菌 F+N	7	0	—	40	17	—	22	5	—
	N	5	0	—	10	3	—	15	5	—
	—	3	0	—	9	0	—	19	0	—
	F	7	7	0	5	5	0	13	9	0
	殺菌 F+N	7	0	1	34	15	2	528	153	3
	N	41	13	1	19	14	3	235	44	3
	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
キュウリ (青長地這)	F	0	0	0	13	4	0	24	17	0
	無殺菌 F+N	11	5	1	13	9	2	100	58	3
	N	10	4	1	4	4	3	40	7	3
	—	3	0	0	4	0	0	60	0	0
	F	—	—***	0	0	0	0	21	1	0
	殺菌 F+N	0	0	1	5	5	1	—	—***	2
	N	33	0	1	21	0	2	33	1	2
	—	—	—***	0	0	0	0	—	—***	0
キュウリ (松のみどり)	F	78	78	0	6	0	0	297	12	0
	無殺菌 F+N	0	0	1	5	3	1	—	—***	2
	N	29	0	1	1	0	1	—	—***	2
	—	0	0	0	4	0	0	130	0	0

数値は乾根土 1 g 当たりの菌数 (×10<sup>2</sup>) で表示した。

\* 印のFはキュウリつる割病菌を接種したこと、Nはネコブセンチュウを接種したこと、F+Nは両者を接種したこと、—は無接種を示す。

\*\* 印のFo. は *Fusarium oxysporum* を、Foc. は *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* を示す。

\*\*\*印の—は細菌のために調査不能であった。

第30表 病原菌とネコブセンチュウ接種土壌における土壌微生物の変動（トウモロコシ根圏）

土壌処理 *	分離月日	B培地×10 <sup>5</sup>		RBS培地×10 <sup>4</sup>	
		細菌	放線菌	糸状菌	
殺菌	F	9/21	645	34	8
		9/29	407	13	23
		10/19	1,393	19	88
	F + N	9/21	593	25	4
		9/29	816	44	17
		10/19	973	90	63
	N	9/21	774	15	7
		9/29	1,288	43	24
		10/19	1,443	90	55
—	9/21	722	19	6	
	9/29	486	7	24	
	10/19	1,407	23	41	
無殺菌	F	9/21	178	16	4
		9/29	357	11	2
		10/19	471	44	36
	F + N	9/21	249	21	8
		9/29	226	31	15
		10/19	722	70	38
	N	9/21	193	15	3
		9/29	394	37	3
		10/19	395	19	18
—	9/21	295	22	4	
	9/29	149	12	6	
	10/19	477	29	26	

数値は乾燥根土1g当たりの菌数で表示した。

\*印のFはキュウリつる割病菌を接種したこと、Nはネコブセンチュウを接種したこと、F+Nは両者を接種したこと、—は無接種を示す。

第31表 病原菌とネコブセンチュウ接種土壌における土壌微生物の変動  
(キュウリ, 青長地這の根圏)

土壌処理 *	分離月日	B培地×10 <sup>5</sup>		R B S培地×10 <sup>4</sup>	
		細菌	放線菌	糸状菌	
殺菌	F	9/21	535	61	9
		9/29	526	22	24
		10/19	1,930	37	148
	F + N	9/21	449	25	19
		9/29	619	21	25
		10/19	18,843	430	1,510
	N	9/21	1,233	25	26
		9/29	1,943	44	18
		10/19	4,313	63	35
—	9/21	743	33	13	
	9/29	869	28	23	
	10/19	2,586	59	59	
無殺菌	F	9/21	116	9	3
		9/29	387	65	5
		10/19	1,317	127	4
	F + N	9/21	186	30	3
		9/29	491	59	3
		10/19	2,363	237	11
	N	9/21	185	29	1
		9/29	1,243	74	0
		10/19	1,545	116	27
—	9/21	101	18	1	
	9/29	182	22	2	
	10/19	975	81	31	

数値は乾燥根土 1 g 当たりの菌数で表示した。

\*印のFはキュウリつる割病菌を接種したこと, Nはネコブセンチュウを接種したこと, F + Nは両者を接種したこと, —は無接種を示す。

2) ネコブセンチュウの寄生したキュウリ根の活性および表皮細胞の浸透圧の変化  
前実験では, ネコブセンチュウが作物根に寄生した結果, キュウリ根圏の病原菌を著しく増

加させ, キュウリつる割病の発生を助長することが推定されたが, ここではさらにネコブセンチュウの寄生をうけた場合, キュウリが受ける生理的变化について検討し, それがフザリウム

病の発病助長の原因の一つとなるのではないかと考えて次ぎの実験を行った。

#### 実験方法

径30cmの素焼鉢に、茨城農試場内圃場土（厚層多腐植質黒ボク土、キュウリを栽培したことの無い畑土壌）を5mm目のフルイを通し、その5kgを充てんし、これにネコブセンチュウの寄生したキュウリ根のゴールを50g接種して、キュウリを播種した。

供試キュウリ品種：青長地這（1鉢10粒播き、2連制）

播種年月日：1973年9月8日（温室栽培、気温15.3～33.9℃）

施肥：化成肥料（N：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>O=14：14：14）を1鉢当たり3g深さ10cmぐらいに混和した。

測定方法：播種後7日ごとに42日まで都合6回、各時期に供試根を2本（播種後14日目と35日目は4本）ずつ、細根を傷つけないように抜き取り、細根の一部からネコブセンチュウの寄生した根のゴールあるいは健全根から5mm程度の切片を3個とって、細胞の浸透圧の変化を観察した。また、そのキュウリ根を2本供試して、TTC還元力の測定法<sup>117)</sup>によって根の活性を測定した。浸透圧およびTTC還元力は各採取時期に2回反復した。また、播種後14日目と35日目は各区2本ずつキュウリの根を供試して根圏の微生物数を調べた。その他の詳しい測定法は次ぎの通りである。

①. 細胞の浸透圧の変化…供試根の切片をそれぞれ0.10, 0.125, 0.15, 0.175, 0.20, 0.225および0.250モルシヨ糖溶液中に浸漬し、20℃で2時間保った後、0.2%メチレンブルー溶液で数秒間染色し、ただちにスライドグラス上で細胞の原形質分離状態を検鏡した。調査は表皮細胞についてのみ行い。各試料について20細胞ずつ調べた。

②. 根の活性の変化…根の活性の差異をその呼吸能の面から明らかにするため、吉田<sup>117)</sup>によるTTC還元力の測定法に準じて行った。

③. 根圏の微生物の分離…希釈平板法で行い、供試培地は、IV-1で用いたB培地、RBS培地およびPP培地であった。

#### 実験結果

ネコブセンチュウの寄生は第32表に示したように、播種後14日目頃から肉眼的に認められ、小さなゴールを形成していた。その後、次第にゴールが増大し、播種後42日目には寄生度4を示した。

第33表に示したように、ネコブセンチュウの寄生したキュウリのゴールと健全根との間の浸透圧の差異は播種後7日目でゴールの発生が肉眼的に認められない時期にはほとんど差を認めなかったが、ゴールの認められる播種後14日目以後になると、ネコブセンチュウの寄生したゴールの浸透圧がやや高くなる傾向を示し、播種後21日目以後、その差は約1.3気圧であった。

第32表 調査株のキュウリの生育とネコブセンチュウ寄生度

試験区		播種後7日目	14日目	21日目	28日目	35日目	42日目
線虫	草丈 (cm)	5.6	10.8	12.4	16.9	21.0	30.5
無接種区	葉数 (枚)	0	1.1	1.7	2.5	3.7	5.4
	ネコブ寄生度	0	0	0	0	0	0
線虫	草丈 (cm)	5.7	11.8	13.6	17.9	21.9	27.0
接種区	葉数 (枚)	0	0.7	1.7	2.9	3.7	4.3
	ネコブ寄生度	0	1	1~2	3	3	4

第33表 ネコブセンチュウ寄生根の表皮細胞浸透圧の変化

ショ糖 モル濃度	浸透圧 (気圧)	線虫接種区-寄生根					無接種-健全根				
		7日目	14日目	21日目	28日目	42日目	7日目	14日目	21日目	28日目	42日目
0.10	2.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.125	3.32	+	-	-	-	-	+	+-	-	-	-
0.15	3.96	+	+-	-	-	-	+	+	+-	+	+
0.175	4.63	++	++	+-	-	-	++	++	+	++	++
0.20	5.29	+++	+++	++	+	++	+++	+++	++	++	++
0.225	6.00	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
0.25	6.70	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

-は細胞の原形質分離が起こらないもので、原形質分離の程度によって+~+++に分けた。

第34表 ネコブセンチュウ寄生根のTTC還元力

区 別	測 定 日				
	播種後 7日目	14日目	21日目	28日目	42日目
無接種区	561	393	245	374	220
線虫接種区	440	298	263	476	171

数値は生根1g当たりの還元糖(μg)である。

第35表 ネコブセンチュウ寄生根圏の微生物相の変化

区 別	分離期日	B培地×10 <sup>5</sup>		RBS培地×10 <sup>4</sup>	PP培地×10 <sup>2</sup>
		細菌	放線菌	糸状菌	病原菌数
無接種区	播種後14日目	331	5	253	8
	" 35日目	980	7	117	45
線虫 接種区	播種後14日目	224	8	43	17
	" 35日目	1,798	13	114	38

数値は乾燥根1g当たりの菌数である。

第34表に示したように、ネコブセンチュウの寄生した根のTTC還元力は健全根に比較して一般に低い傾向を示した。しかし、播種後21日目と28日目には一時的に寄生根のTTC還元力は増加した。この時期はネコブセンチュウによるゴール形成が肉眼的にかなり増大する時期である。このことは、作物の生理的状态が正常で

ないことを示しており、TTC還元力は根の呼吸能と相関が高いこと<sup>11)</sup>から、ネコブセンチュウによるゴールの増大する時期に根の呼吸能が異常に高くなったものと思われる。

他方、第35表に示すように、ネコブセンチュウの寄生をうけたキュウリ根圏の微生物のうち細菌群が著しく増加し、放線菌の増加は小さく、



糸状菌は逆に低下する傾向を示した。

以上の結果から、ネコブセンチュウの寄生をうけたキュウリは根の代謝作用に変化をきたしている。そして、このことが根圏の病原菌および細菌群の活性を高めているものと推察される。しかし、これらがどのような因果関係をもつものなのかは不明である。

### 3) ネコブセンチュウの寄生したキュウリの体内成分の変化と寄生根がフザリウム菌胞子発芽に及ぼす影響

ネコブセンチュウの寄生をうけたキュウリの体内では主要成分の変化がおこり、それによって、宿主根がキュウリつる割病菌胞子の発芽にどの様に影響するかなど、宿主に起こる変化が発病助長作用の原因の一つとなっているか否かについて検討した。

#### 実験方法

供試土壌：茨城農試場内の厚層多腐植質黒ボク土を5mm目のフルイを通した後クロロピクリン剤で殺菌し、径30cm素焼鉢に4kgずつ充てんして供試した。

ネコブセンチュウの接種：前試験で供試したネコブセンチュウの寄生したキュウリ根のゴールを接種した土壌（冬期間はガラス室に乾燥しないようにして保存した）を1鉢当たり1kgずつ接種した。

病原菌の接種：キュウリつる割病菌の土壌フスマ混合培地（土壌：フスマ=9：1v/v, 120Cで30分間蒸気殺菌）培養菌（28Cで14日間培養）を1鉢当たり5gずつ接種し全層に混和し

た。なお、ネコブセンチュウと病原菌の接種は1974年8月22日に行った。

供試品種：青長地這。播種年月日は1974年8月22日であった。

施肥：化成肥料（N：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>O=14：14：14）を1鉢当たり3gずつ施用後深さ10cmまで混和した。

キュウリの体内成分の測定：播種後21日目（9月12日）に細根などに傷をつけないように抜き取り、根部と茎葉部に分けて乾燥粉碎した試料について、還元糖、非還元糖および炭水化物をベルトラン法で、水溶性窒素および全窒素をケルダール法で定量した<sup>80)</sup>。ネコブセンチュウ寄生根がキュウリつる割病菌小型分生子の胞子の発芽にどのような影響を与えるかについては次ぎの実験を行った。小型分生子の0.01%素寒天懸濁液（胞子濃度：83.7×10<sup>6</sup>CFU/ml）を全面になすりつけた殺菌スライドグラスに播種後21日目に採取したネコブセンチュウ寄生根をのせ、無殺菌土（茨城農試場内の厚層多腐植質黒ボク土、作物無栽培土を2mm目のフルイを通したもの）の中に埋設して、28Cで48時間保った後取り出し、火焰固定後ローズベンガル液で病原菌を染色して検鏡した。

#### 実験結果

第36表に示されたように、ネコブセンチュウの寄生をうけたキュウリ根中の可溶性糖類および全炭水化物は健全根に比較してやや少く、全炭水化物中に占める可溶性糖類の割合が多くなっている。また、全窒素と水溶性窒素含量が

第36表 ネコブセンチュウ寄生をうけたキュウリの体内成分の変化

供試標本	ネコブセンチュウ寄生度	可溶性糖類(mg) A			B 炭水化物 (mg)	A/B×100	窒素(mg)			C/N率	
		還元糖	非還元糖	計			水溶性	非水溶性	計		
根部	健全	0	28.4	19.3	47.7	177.0	26.9	5.6	16.7	22.3	7.9
"	ネコブ寄生	1~2	16.9	28.4	45.3	126.1	36.0	10.7	29.8	40.5	3.1
茎葉部	健全	0	57.5	1.9	59.4	174.5	34.1	1.3	24.6	25.9	6.8
"	ネコブ寄生	1~2	51.4	4.2	55.6	271.5	20.5	1.0	35.6	36.6	7.4

数値は乾物1g当たりで表示した。  
分析標本株数は各区とも9本ずつである。

第37表 ネコブセンチュウ寄生を受けたゴールのキュウリつる割病菌分生子の発芽に及ぼす影響

調査部位	分生子の発芽		根面からの発芽幅	
	調査視野数	発芽率(%)	調査視野数	発芽幅(μm)
ネコブセンチュウ寄生ゴール	20	53.8	15	663
健全根	30	17.1	20	227
土壌(キュウリ根圏外)	30	0.3	—	—

発芽率はオリンパス顕微鏡10×40, 発芽幅は同7×10倍で観察した。

多く, C/N率はネコブセンチュウの寄生によって低い値を示した。一方, 茎葉部ではネコブセンチュウの寄生の結果, 可溶性糖類含量はやや減少し, 全炭水化物および全窒素含量は逆に増加し, したがって, C/N率も増加する傾向を示した。このように根部と茎葉部では各成分の変化様相が多少異なっていた。

次いで第37表を参照してみると, ネコブセンチュウの寄生したキュウリ根のゴール付近に存在している小型分生子は健全根付近に比較して, 発芽率がかなり高く, また, 発芽に影響をうけている部位(発芽幅)も著しく大きくなった。これらの事実はゴール部位付近では, 分生子の発芽を助長するような物質の分泌量が増加していることを示している。

#### 4) 土壌の殺線虫剤処理とキュウリつる割病の発生

ネコブセンチュウがキュウリ根部に寄生すると, キュウリつる割病の発生が助長されることが, これまでの諸実験から明らかになった。そこで, ネコブセンチュウが生息している土壌と生息していない土壌に栽培したキュウリの発病状況がどのように変わるかを明らかにするために, ネコブセンチュウ汚染土壌を殺線虫剤で処理し, キュウリつる割病の発生に及ぼす影響を探究した。

#### 実験方法

径30cm素焼鉢に, IV-1の実験で得られた供試土壌(前作としてリクトウ, トウモロコシ, ダイズ, ラッカセイ, サツマイモ, キュウリ,

トマト, ネギおよびダイコンの3年連作土壌ならびに3年休かん区土壌)を5mm目のフルイを通した後, 5kgずつ充てんし, それぞれ殺線虫剤処理区と無処理区を設けた。処理土壌はガス抜き後, キュウリを播種し, 約55日間栽培してつる割病の発生を調査した。供試薬剤: ネマホルン(EDT, 15%, EDC, 40%)1鉢当たり2mlを鉢の中央部の深さ10cmに注入し, ただちにポリエチレンフィルムで被覆をした。処理月日は1970年9月1日で, ガス抜きは9月5日であった。ガス抜き後5日目(9月10日)にキュウリ(品種: 青長地這)を1鉢当たり15粒ずつ播種した。施肥量: 化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:14:14)を1鉢当たり4g施用し, 表土約10cmに混和した。発病調査: 生育期間随時行い, 播種後55日目(11月2日)には全株を抜き取って導管褐変の有無を調査した。

さらに, ネマホルン処理がキュウリつる割病の発生ならびにつる割病菌に及ぼす影響をみるために, 圃場において, 次のような実験を行った。キュウリつる割病菌の土壌フスマ混合培地(土壌:フスマ=9:1v/v)培養菌(28C, 30日間培養)を1971年5月20日にm<sup>2</sup>当たり50gずつ表土約10cmに接種した。薬剤の処理は5月20日に行い, 30cm×30cm間隔の深さ15cmに注入した。注入後, ただちにポリエチレンフィルムで被覆した。ガス抜きは5月27日に行い, 6月15日にキュウリ(品種: 青長地這)を1区当たり45粒ずつ播種した。施肥量: 化成肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:14:14)を1区当たり60

kg施用し、表土約10cmに混和した。発病調査：生育期間随時行い、播種約73日目（8月27日）には全株を抜き取って、キュウリの生育と導管褐変の有無を調査した。試験規模は 1区2.7m×2.2m=5.94㎡で、3連制であった。なお、ガス抜き後の5月28日に採土して、IV-1に準じてキュウリつる割病菌数を測定した。

#### 実験結果

第38表で明らかのように、殺線虫剤の土壤処理によって各作物跡地におけるキュウリつる割病の発生が軽減された。発病減少の割合から判断すると、ダイズおよびトマト跡地での発病はかなりネコブセンチュウ寄生の影響が大きく、逆に、休かん、サツマイモ、キュウリ、トウモ

ロコシ跡地土壤ではネコブセンチュウ寄生の影響が比較的小さいことがうかがわれた。参考のために述べておくと、キュウリの立枯性疫病の発生は、トマト、ネギ、トウモロコシ、サツマイモおよびダイズ跡地で比較的多かったが、ネマホルンの土壤処理によってキュウリ跡地土壤を除いてはいずれの作物跡地でも減少する傾向があった。

なお、ネマホルン処理がキュウリつる割病の発生に及ぼす影響をみると（第39表）、発病株率では無処理区と大差なく、導管褐変率では無処理区よりもやや軽減したが、発病軽減効果は小さかった。従って、ネマホルン処理のキュウリつる割病菌数に及ぼす影響はほとんど認めら

第38表 各種作物連作土壤の殺線虫剤処理とキュウリつる割病の発生

前作	無 処 理						ネマホルン処理						A-B —×100 A
	発芽 粒数 (粒)	立枯性 疫病発 病苗率 (%)	調査 株数 (本)	発 病 株率 (%)A	導管褐 変率(%)	ネコ ブ寄 生度	発芽 粒数 (粒)	立枯性 疫病発 病苗率 (%)	調査 株数 (本)	発 病 株率 (%)B	導管褐 変率(%)	ネコ ブ寄 生度	
リクトウ	12	32.7	8	39.3	37.9	0	14	27.2	10	11.1	2.8	0	71.7
トウモロコシ	14	54.9	6	26.7	23.3	0	14	19.8	11	12.6	6.5	0	52.8
ダイズ	13	50.0	6	100	86.4	0.8	14	34.0	9	4.2	4.2	0	95.8
ラッカセイ	14	33.9	9	41.1	27.2	0.8	13	29.8	9	6.1	6.1	0	85.2
サツマイモ	15	50.3	7	34.8	28.9	0	12	27.0	9	17.6	15.9	0	49.5
キュウリ	14	23.9	11	75.1	61.5	2.0	13	35.8	8	33.0	31.1	0	56.1
トマト	12	59.1	5	85.0	69.2	1.0	14	35.3	9	8.0	5.2	0	90.6
ネギ	13	57.7	6	33.3	27.1	0.7	14	36.9	9	8.3	6.2	0	75.1
ダイコン	13	32.6	9	45.2	31.2	0.1	13	28.2	10	9.9	5.7	0	78.1
休かん	12	44.4	7	23.6	21.2	0	13	32.1	9	13.7	10.1	0	42.0

第39表 ネマホルン処理によるキュウリつる割病の発生ならびに病原菌に及ぼす影響

処 理 区	調査 株数 (本)	草丈 (cm)	発 病 (%)		ネコブ 寄生度	病原菌数 ×10 <sup>3</sup>
			株率	導管褐変率		
ネマホルン 2m <sup>2</sup> 注入	41	80	71.8	53.8	0.1	6.5
“ 3m <sup>2</sup> 注入	42	96	78.1	56.4	0	8.0
無 処 理	40	68	76.7	66.0	1.6	7.4

病原菌数は乾土1g当たりで表示した。

れないものと考えられる。

### 5) 考察

フザリウム病の発生とネコブセンチュウ (*Meloidogyne* spp.) の寄生との関係に関する研究は、Atkinson(1892)<sup>41)</sup> によってワタの立枯病 (*F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum*) ではじめて観察された。その後、桂(1959)<sup>44)</sup>、Krusburg(1963)<sup>53)</sup>、稲垣(1965)<sup>40)</sup>、河村・平野(1968)<sup>46)</sup> および平野(1980)<sup>36)</sup> によって総括されているように、多くの *F. oxysporum* 群による導管病の発生が、ネコブセンチュウの寄生によって激しくなることが認められている。

筆者は、フザリウム病の発生に及ぼす輪作の影響について実験を行っている過程で、ネコブセンチュウ寄生がフザリウム病の発生に大きな影響を与えていることを観察した。その中でこの現象には作物根の生理的変化が関与しているのではないかと考えた。そこで、これらの諸点を検討し、輪作による発病軽減効果の一端を究明しようとした。

圃場においてネコブセンチュウが寄生したキュウリのつる割病の発生をみると、大部分の圃場においてネコブセンチュウの寄生度の高さに応じて発病率は増加し、被害程度もひどくなることがうかがわれた。次に、ネコブセンチュウ寄生の少ないリクトウおよびトウモロコシなどの跡地にキュウリを栽培した場合、つる割病の発生が著しく軽減する。また、ネコブセンチュウ寄生が多いダイズおよびトマト栽培跡地土壌を殺線虫剤で処理すると、キュウリつる割病の発生は減少する。これらの諸点から、*F. oxysporum* 群による導管病の発生にネコブセンチュウが大きな役割を演じていることは明らかである。

ネコブセンチュウの寄生を受けた作物体を観察すると、ゴールは病原菌が根圏で増殖する前に形成されており、その後、ゴール数の増加、肥大とともに根圏の病原菌、細菌および糸状菌数が著しく増加している。ネコブセンチュウの寄生をうけた植物はそのストレスによって根の活性に大きな影響を受けていると考えられる。

Feldmesserら(1960)<sup>24)</sup> はレモンの根にミカ

ンネセンチュウ (*Tylenchulus semipenetrans*) が多いと *Fusarium* 菌が増加することを認め、Bergesonら(1970)<sup>8)</sup> はネコブセンチュウ (*Meloidogyne javanica*) の寄生したトマトの根圏では健全根に比較して *Fusarium* 菌の菌数が増加すること、ゴール組織上での同菌の増殖が早く、かつゴール組織からの分泌物が根圏に存在する厚膜胞子の発芽を促進するのではないかと推察している。さらに、彼らはゴール組織根圏における放線菌数が著しく減少することから、ネコブセンチュウの寄生によって病原菌以外の根圏微生物の生態的平衡が崩れる可能性を示唆した。

先に述べた諸実験で用いたキュウリ根圏では、ネコブセンチュウの寄生によって、細菌および糸状菌の増加が認められ、放線菌の減少は認められなかったが、ネコブセンチュウの寄生したキュウリ根圏は病原菌ならびに微生物の増殖の場となっていることが明らかである。

ネコブセンチュウの寄生した根の体内成分を分析した結果では可溶性糖類および炭水化物がやや減少し、可溶性窒素が増加した。この傾向は、Owens and Novotny(1960)<sup>82)</sup>、Davide and Triantaphyllou(1967)<sup>20)</sup> の結果とも同様であった。

Hunks and Feldman(1963)<sup>38)</sup> はミカンネモグリセンチュウ (*Radopholus similis*) 寄生根がアミノ酸などの分泌が増加すると述べているが、ネコブセンチュウの寄生を受けた根部組織は前述したような根の生理的および組織的变化の一つとして細胞の透過性が高まり、ゴール化した根の細胞からの分泌が盛んとなり、根面～根圏における微生物の活動につながるものと推定される。

前述したように、ネコブセンチュウ寄生根の周辺部ではフザリウム菌分生子の発芽が健全根のそれに比較して顕著に高く、発芽が促進される範囲も広い(第37表)。このことは寄生根から分泌される糖やアミノ酸などが量的にも多いことを示し、このような作物根の分泌物の多少が根圏における病原菌および微生物の増殖の要因になっているものと考えられた。

河村・平野(1968)<sup>45)</sup>はネコブセンチュウとトマト萎ちょう病菌による混合感染の機構について、とくに、根に対する線虫の侵入と病原菌の感染について観察し、多数の線虫が集中的に侵入した根の頂端分裂組織では、原表皮および原皮層の機械的損傷が拡大され、しばしば頂端細胞の壊死がみられ、その部分には病原菌が侵入して増殖し混合感染が起こることを明らかにした。このような結果から、多数の線虫が集中的に侵入した根の頂端分裂組織にみられる損傷は、病原菌の侵入を可能にし、混合感染の成立に関与しているものと推察している。

また、ネコブセンチュウの寄生によって病原菌に対する抵抗性が失われることは多くの研究者らによって明らかにされている<sup>8, 89, 90)</sup>。Bowman and Bloom(1966)<sup>9)</sup>はネコブセンチュウの寄生によるトマト萎ちょう病抵抗性の変化について研究し、6週間生育させたトマトの根を2分して別枠に植え、一方の根にはネコブセンチュウを接種し、他方の根には2週間後にトマト萎ちょう病菌を接種して発病を観察した。対照として、ネコブセンチュウと病原菌とを同じ枠に接種したものを設けたが、これら2つの処理の間には発病に差は認められなかった。このことから、病原菌の感染はネコブセンチュウのゴール組織に直接的に起こるのではなくて、

ゴールを形成した作物体の生理的な変化によって根全体の病原菌に対する抵抗性が失われると推察した。また、Porter and Powell(1967)<sup>89)</sup>はネコブセンチュウの寄生とタバコ萎ちょう病の発病について実験し、ネコブセンチュウを接種して3~4週間後のゴール形成後に病原菌を接種した場合、萎ちょう病抵抗性品種においても発病が激しくなることから、ゴールの形成にともなう作物体の生理的变化が萎ちょう病菌の感染を可能にするとした。さらに、Powellら(1971)<sup>90)</sup>は、ネコブセンチュウの寄生によって、通常タバコの病原菌として認められていないような糸状菌、例えば、*Trichoderma harzianum*, *Curvularia triforii*, *Botrytis cinerea*, *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium martensii*などが病原性を発現することを述べている。

これら多くの研究を合わせ考えると、ネコブセンチュウは単に宿主体に生理的变化を起こすのみならず、病原菌あるいは不定性病原菌に対する宿主の抵抗性を低下させて発病を助長する可能性が示唆される。従って、輪作によるフザリウム病の軽減効果にはネコブセンチュウ寄生の程度によって極めて強い影響をうけるものと考えられる。