

サツマイモネコブセンチュウとの混合感染における *Fusarium* spp. の寄生性の転換*

平野和弥・河村貞之助

(植物病理研究室)

Changes in the Parasitism of *Fusarium* spp. in Plants Exposed to Root-knot Nematode and *Fusarium* Complex

Kazuya HIRANO and Teinosuke KAWAMURA

Laboratory of Plant Pathology

Abstract

Changes in the Parasitism of *Fusarium* spp. in Plants Exposed to Root-knot Nematode and *Fusarium* Complex. K. HIRANO and T. KAWAMURA, Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Japan. *Tech. Bull. Fac. Hort. Chiba Univ.*, No19, 29~38 1971.

The authors demonstrated the confusion of parasitism of three *Fusarium* form species in plants infected with root-knot nematode. The material plants are as follows; *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* var. *makuwa* MAKINO, *Cuburbita ficifolia* BOUCHÉ, *Lycopersicon esculentum* MILL. and *Citrullus vulgaris* SCHRAD. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* brought wilt development not only to cucumber but to other nonhost plants under the condition which inoculated itself and root-knot nematode. Also in *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *F. oxysporum* f. sp. *niveum*, the similar phenomena occurred in their host or nonhost plants inoculated with one of *Fusarium* form species and root-knot nematode. Wilt developments caused with each *Fusarium* form species and root-knot nematode infection varied from the different plants in their appearance, and they were observed remarkably in cucumber and tomato. Necroses of roots in infected plant were recognized extensively upon the galled and nongalled tissues. The fungi of each inoculums were able to recovered from infected root tissues in all inoculated plants. Histological observations of necrotic galled tissue in cucumber plant which inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* and root-knot nematode, indicated that the fungal invasion occurred clearly into root tissue despite of the nonhost plant and the mycelium were colonized abundantly into giant cells, vascular bundle and surrounding tissue of the female body. As thus, the parasitism in *Fusarium* spp. was changed in some case in plants exposed to root-knot nematode and *Fusarium* complex.

根こぶ線虫と *Fusarium* 菌とによる混合感染が、いわゆる導管病と呼ばれる *Fusarium* 病の発生を助長させることは、ATKINSON (1892) の最初の報告以来数多く知られてきた。その中でもとくに、*Fusarium* 抵抗性品種の個体において、混合感染のためにその固有の性質を失ない、*Fusarium* 病に侵され易くなるという事実は、抵抗性品種育成の実際場面できわめて重大な問題と

してとりあげられてきた (HARRISON and YOUNG (1941), MARTIN *et al.* (1956), JENKINS and COURSEN (1957), THOMASON (1958), DAVIS and JENKINS (1963), PORTER and POWELL (1967)). 混合感染の結果生じる *Fusarium* 病に対する抵抗性の破壊機構については、病理学的にはいまだ明確でないが、根こぶ線虫感染植物の体内物質の生化学的変化が関係しているものと考えら

* 報文の概要は、昭和42年11月に行なわれた日本植物病理学会秋季関東部会で講演発表した。

れている。(PITCHER (1965), PORTER and POWELL (1967)).

ところで、こうした問題に関する既往の知見は、寄主植物の品種間にみられる *Fusarium* 抵抗性の変化についてであったが、それが単に品種間の範囲に限られる問題かどうかまでは考察がおよんでいない。根こぶ線虫の感染によって形成される gall 組織での物質変化とそれに伴う根部全体の生理的変調が、*Fusarium* 抵抗性を支配する遺伝的素因を破壊するほどにいちじるしいものであるとするならば、根こぶ線虫と *Fusarium* 菌との混合感染によっておこりうる疾病現象は、実際にはきわめて複雑な内容を含んでいるものと考えねばならない。

そうした観点から、われわれは、つぎの疑問をいだいた。実際に根こぶ線虫と *Fusarium* 菌との混合感染が、寄主植物における品種間の *Fusarium* 抵抗性を破壊するばかりでなく、*Fusarium* の寄生性にも特異な転換をもたらすことはないか。つまり本来 *Fusarium* の寄主植物とはならないものでも、根こぶ線虫との混合感染の特殊な場においては、新たな寄生性を誘起する可能性はないだろうか。この問題を確認するために、まず *Meloidogyne* spp. との関連がきわめて密接な *Fusarium oxysporum* の種々の form species が示す特異的な寄主選択性にその手がかりを求めようとした。それぞれ寄主範囲を異にする *Fusarium* 菌の form species 3 菌株を用いて、5 種類の植物を対象に *Meloidogyne incognita* との混合感染の可能性を検討した。その結果植物の種類により病徴の発現に違いはあるが、明らかに *Fusarium* の寄生性に変動がおこり、本来保有する特異な寄主選択性を失なうという興味ある知見を得た。

そこで、本報では、主として接種実験における発病レベルの結果を示し、さらに一部の標本について行なった病理解剖的観察の所見をつけ加え、記述した。

材料ならびに方法

1. 供試植物

供試植物には、つぎの 5 種類を用いた。スイカ (*Citrullus vulgaris* SCHRAD.); 品種新大和 2 号、マクワウリ (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* MAKINO); 品種二十世紀ニューメロン、キュウリ (*Cucumis sativus* L.); 品種あづま夏成、カボチャ (*Cucurbita ficifolia* BOUCHÉ); 台木用品種黒だね、トマト (*Lycopersicon esculentum* MILL.); 品種松戸ボンデローザ。これらはすべて殺菌土壌を入れた直径 12cm の素焼鉢内で生育させ、接種実験用に準備した。用いた土壌は、そ菜圃場から採取し、少量の腐葉土を混入し、5mm 目のふるいを通した後オートクレーブで 120°C 15 分間処理した。種子

はウスブルン 1,000 倍液で所定時間浸漬消毒し、温室シャレー内で催芽してから正常なものを選んで 1 鉢につき 3 粒播種した。

2. 供試線虫

供試線虫には、トマトから分離したサツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita* (KOFOLD and WHITE) CHITWOOD) を用いた。これは本実験の供試植物のいずれにも寄生性を有し、根には顕著な gall を形成した。接種源は、あらかじめトマトで増殖した多数の卵塊からふ化幼虫を回収し、平均密度が 400 頭/cc の線虫懸濁液となるよう調整して準備した。

3. 供試菌

供試菌には、研究室保存のつぎの 3 菌株を用いた。キュウリつる割病菌 (*Fusarium oxysporum* (SCHL.) f. sp. *cucumerinum* OWENS), トマト萎ちょう病菌 (*F. oxysporum* (SCHL.) f. sp. *lycopersici* (SACC.) SNYDER et HANSEN), スイカつる割病菌 (*F. oxysporum* (SCHL.) f. sp. *niveum* (E. F. SMITH) SNYDER et HANSEN)。これらはあらかじめ発芽種子の幼根に接種して各供試植物に対する寄生性を確認した。接種源は、いずれも Czapek 液体培地で 24°C, 7 日間振とう培養した。菌体は殺菌水で十分水洗し、水でうすめた後、二重のガーゼでろ過して菌懸濁液として準備した。接種菌量は、所定量の懸濁液中に含まれる孢子および菌糸片の乾燥重量 (mg 数) で定めた。

4. 実験区の設定および接種方法

実験は、各供試植物ごとに 8 区をもって構成した。すなわち線虫単独、菌単独、線虫・菌混合の各接種区ならびに無接種区を基本とし、そのうち菌を含む 2 つの接種区は、供試した 3 菌種別にそれぞれ設けた。各実験区は 3 連制とした。

線虫および菌の接種は、播種 10 日後に行なった。1 鉢あたりの接種量は、線虫が 4,000 頭、菌が 20mg (ただし *F. oxysporum* f. *lycopersici* のみ 30mg) とした。接種の方法は、前もって準備した所定濃度の線虫または菌懸濁液 10cc を駒込ピペットにとり、実験区ごとに地表から注入した。線虫と菌との混合接種の場合は同時接種とした。接種後ただちにじょうろで十分に灌水して、接種源ができるだけ分散するようにした。実験はすべてガラス室内で行ない、接種後 35~40 日にわたる植物の生育期間中の管理は、毎日適度の灌水を施すことに留意した。実験期間中の室内平均気温は 27°C であった。

5. 調査方法

調査は、供試植物の生育期間における経時調査と、実験終了時における総合調査とを行なった。経時調査では、接種後最初に地上部の萎ちょう症状が現われてから

4日おきに発病率および発病指数を記録した。発病指数はその症状の初期（子葉の脱落もしくは下葉の chlorosis）から末期（枯死に近いか完全に枯死）までの4段階にわけ、それぞれの段階に該当する階級値により調査個体全体の指数として百分率で算出した。一方総合調査では、接種後35～40日にわたり、すべての供試個体を鉢から取り出し、水洗したのち、生育状態、根こぶ指数、内部病徴としての地際部の茎導管褐変症状、さらに根部感染の様相（おもに根の necrosis）などについて記録した。また植物体堀り取り後、土壌中のネコブセンチュウ密度を調べた。線虫の分離はバールマン法によった。なお、以上のほか、根部感染組織からの *Fusarium* 菌の分離や、一部の材料を用いて行なった病理解剖による観察の方法に関しては、結果の各項目の中で述べる。

結 果

1. 混合感染による萎ちょう症状の発現

Fusarium 菌と *M. incognita* との混合接種によって各供試植物に現われた地上部の萎ちょう症状の調査結果を第1表および第1図に示した。供試植物のうちキュウリ、トマト、スイカでは、供試菌の中でそれぞれの病原菌として該当する菌種を供試線虫と混合接種した場合に、例外なく顕著な発病の増大がおこり、複合病を発現した。

ところでここで注目したいのは、供試した3菌種を、それらの特定の寄主として該当しない供試植物に対し、それぞれ線虫と混合接種した場合である。もちろん菌単

独による接種では、いずれの供試植物にも何らの病徴も見ることにはなかった。しかし線虫と混合接種すると、植物の種類によって違いはあるが、本来寄主とする以外の植物にも混合感染がおこり、特異な萎ちょうもしくは立枯れの症状が認められた。以下各菌種ごとに、*M. incognita* との混合感染におけるそれらの異常な寄生性の変化を説明する。

まず、*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* について見ると、この菌は本来キュウリに対して強い病原性をもち、本実験でも菌単接種後20日以降に激しい萎ちょう症状が現われ、経時的な最終調査（接種34日後）では発病率100%、発病指数で62.2%を示した。しかしキュウリ以外の供試植物に対しては、地上部には何らの症状を示さなかった。ところが *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* を *M. incognita* と混合接種すると、キュウリではいちじるしく病勢が助長され、接種6日後にして早くも発病が見られ、18日後には発病率100%となり、やがて全個体が枯死するにいたった。さらにキュウリ以外の植物に対しても、トマト、スイカ、マクワウリで地上部に特異な症状を呈した。トマトでは、接種22日後から症状が現われはじめ、34日後の最終調査において発病率44%、発病指数で22%を示した。発病個体における症状は、おもに下葉からの枯れあがりと落葉が目立ち、全身的なしおれは、*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* の感染による本来の萎ちょう症状ほどに顕著ではなかった。マクワウリおよびスイカでは、接種して26日以後に発病個体が認められたがそれらの症状は比較的軽く、最終調査における発病指数はそれぞれ10.6%、6.8%であった。発病個

Table 1. Incidence of wilt symptom in five test plants inoculated with *Fusarium* spp. and *Meloidogyne incognita*

Inoculation		Percentage of wilt index				
<i>F. oxysporum</i>	<i>M. incognita</i>	Cucumber	Melon	<i>C. ficifolia</i>	Tomato	Watermelon
0	0	0	0	0	0	0
0	4000 ^a	0	0	0	5.5	0
<i>cucumerinum</i> 20 ^b	0	62.2	0	0	0	0
:	4000	100	10.6	(5.3) ^c	22.2	6.8
<i>lycopersici</i> 30	0	0	0	0	38.9	0
:	4000	22.2	0	(7.5) ^c	97.3	(5.6) ^c
<i>niveum</i> 20	0	0	0	0	0	35.3
:	4000	16.7	(5.5) ^c	(2.5) ^c	33.3	72.2

Data collected 34days after inoculation.

a=Individual numbers of second stage larvae; b=Dry weights (mg) of fungus including spores and hyphal segments; c=No wilting, data showed the index of symptom associate with vascular discoloration.

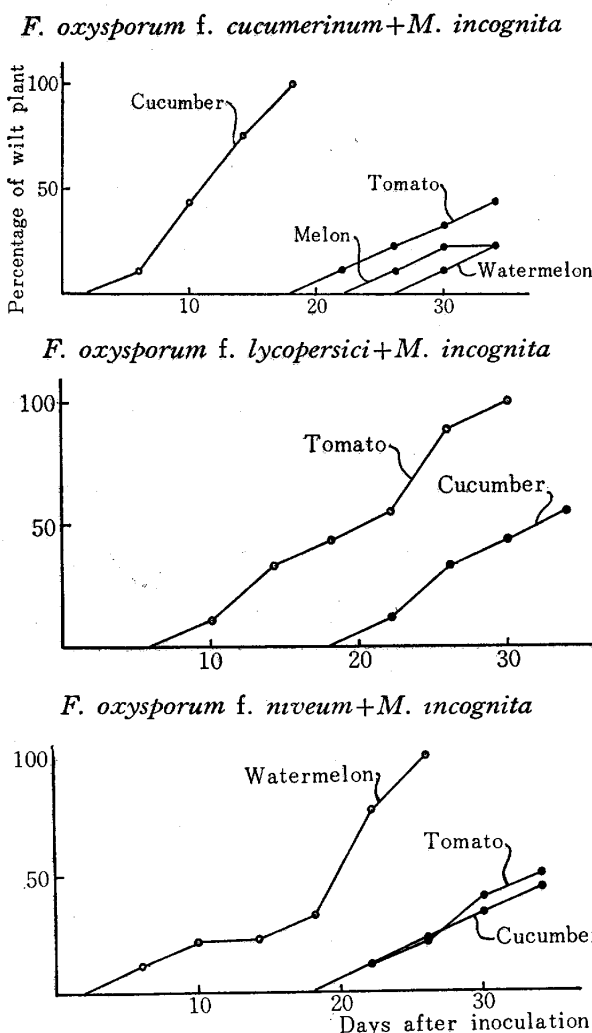


Figure 1. Development of wilt symptom in plants inoculated with *Fusarium* fungus and root-knot nematode.

体に見られた症状は、マクワウリでは茎葉の枯れ込みによる立枯れが進展し、スイカでは葉枯れと萎ちょうが目立った。なおカボチャに対しては地上部にはとくに変化を認めなかったが、地際部の茎の内部病徴として導管褐変を呈する個体があった。

つぎに *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* について見ると、この菌の単独接種では、トマトに対してのみ萎ちょう病徴が認められ、接種26日後に発病してから次第に進行し、34日後には発病率44%、発病指数38.9%に達した。そこで *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* を *M. incognita* と混合接種すると、トマトでは萎ちょう症状がさらに顕著となり、接種して10日目頃から病徴が現われはじめ、30日後の調査において100%の発病率を示した。またそのほかの供試植物には、キュウリで萎ちょう症状が認められた以外は地上部に変化を示さず、スイカ、カボチャで地際部の茎にわずかな内部病徴を認めた程度であった。キュウリでは接種22日後から症状が現わ

れ、最終調査における発病率は55.6%におよび、発病指数は22.2%であった。発病個体に現われた症状は、病原菌である *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* の感染によって見られる萎ちょう症状とはやや異なり、下葉の縁から不正形の褐変がおこり、次第に拡がって葉枯れ症状を呈し、やがて落葉した。しおれの症状は全般に少なかった。

Fusarium oxysporum f. sp. *niveum* の場合には、菌単独接種によってスイカにのみ病徴を呈し、そのほかの供試植物に対してはまったく変化を示さなかった。スイカでは、接種22日後から病徴が現われ、34日後には発病率が50%を上廻った。さて *F. oxysporum* f. sp. *niveum* を *M. incognita* と混合接種すると、スイカにおける萎ちょう発病をいちじるしく助長するばかりでなく、キュウリおよびトマトに対しても地上部に特異な症状をおこさせた。キュウリでは、接種22日後の調査ではじめて発病個体が認められ、その後徐々に増加して、最終調査においては発病率が45%に達した。しかし症状の程度は比較的軽く、発病指数は16.7%と低かった。発病個体の症状は前述の *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* と *M. incognita* との混合感染で認められたものと類似しており、萎ちょうよりも下葉からの葉枯れが目立った。またトマトでは、キュウリの場合とほぼ同じような経過で発病がおこり、接種34日後の調査においては発病率50%、発病指数はキュウリより高く33.3%を示した。トマトにおける症状は、やはり下葉からの枯れあがりによる落葉がおもであり、萎ちょう症状は少なかった。なおマクワウリ、カボチャでは、地上部には異常が認められなかったが、地際部の茎の内部病徴を調べると1部の個体で明らかな褐変症状を呈するものがあった。

2. 根部感染の症状

供試植物の堀りあげ後に行なった総合調査の結果は第2表に示すとおりである。

本実験では、全般に供試線虫の寄生度が非常に高く、線虫接種区の各供試植物の根こぶ指数はいずれも80%以上を示した。そのためにスイカ、マクワウリ、トマトでは、線虫単独接種の場合でも植物体の発育がかなり抑制され、とくにマクワウリでその影響が極度に激しかった。*Fusarium* 菌と *M. incognita* とを混合接種した場合の根こぶ指数は、混合感染のために根部崩壊し、調査不能であったものは別として線虫単独接種の場合と大差なかった。

Fusarium 菌と *M. incognita* との混合感染によって生じた根部の necrosis は、その様相から便宜的に局部型と慢延型の2つのタイプに分けて取り扱った。すなわち局部型の症状は、*M. incognita* によって形成された

Table 2. Root symptoms and growth of the tops in plants inoculated with *Fusarium* fungus and root-knot nematode.

Inoculation		Root symptoms		Plant growth
<i>F. oxysporum</i>	<i>M. incognita</i>	Gall index	Degree of necrosis ^c	(Top length)
Cucumber :				
0	0	0 %	—	24.4 cm
0	4000 ^a	94.4	—	25.2
<i>cucumerinum</i> 20 ^b	0	0	++	18.8
:	4000	— ^d	+++**	— ^d
<i>lycopersici</i> 30	0	0	—	24.4
:	4000	91.6	++	21.7
<i>niveum</i> 20	0	0	—	24.8
:	4000	93.7	++	23.0
Melon :				
0	0	0	—	46.1
0	4000	88.9	-(±)*	14.5
<i>cucumerinum</i> 20	0	0	±	45.8
:	4000	86.1	±(+)**	11.8
<i>lycopersici</i> 30	0	0	—	41.5
:	4000	94.4	-(+)*	13.0
<i>niveum</i> 20	0	0	—	44.3
:	4000	88.9	-(+)*	14.0
C. fisifolia :				
0	0	0	—	26.7
0	4000	85.0	—	26.0
<i>cucumerinum</i> 20	0	0	—	31.1
:	4000	88.5	±(+)**	29.7
<i>lycopersici</i> 30	0	0	—	34.4
:	4000	87.5	±(+)**	33.0
<i>niveum</i> 20	0	0	—	32.1
:	4000	87.5	±(+)**	30.1
Tomato :				
0	0	0	—	32.4
0	4000	97.2	—	22.0
<i>cucumerinum</i> 20	0	0	—	36.8
:	4000	88.9	++	23.3
<i>lycopersici</i> 30	0	0	++	37.0
:	4000	— ^d	+++**	11.0
<i>niveum</i> 20	0	0	—	30.7
:	4000	84.3	++	24.2
Watermelon :				
0	0	0	—	63.2
0	4000	94.4	—	46.1
<i>cucumerinum</i> 20	0	0	—	65.7
:	4000	89.2	++	44.0
<i>lycopersici</i> 30	0	0	—	66.6
:	4000	91.7	±(+)**	40.4
<i>niveum</i> 20	0	0	++	28.7
:	4000	— ^d	+++**	13.6

Data collected 35-40 days after inoculation.

a=Individual numbers of second stage larvae; b=Dry weights(mg) of fungi including spores and hyphal segments; c=Indications show as follows; —=Necrosis was not observed; ±=Obscure necrosis was observed in a few root; +=Necrosis was observed in several roots; ++=Necrosis was observed in many roots; +++=Necrosis was observed in almost roots; *=Necrosis appeared locally in the galled portion; **=Necrosis appeared extensively in the galled and nongalled portion; d=Data was unable to collected for plant died.

gall 組織が局部的に necrosis を呈し、gall 組織以外の部位には異常が認められないものとし、一方慢延型の症状は、gall 組織が necrosis をおこすだけでなく、gall 組織以外の部位にまで、中心柱が褐変するなどの肉眼的症状を伴うものとした。このような症状の違いは、混合感染をおこしてから単なる時間的な長短による場合もあるが、本実験のように、*Fusarium* 菌が特定の寄主とするもの以外の供試植物において、*M. incognita* との混合感染をおこした場合には、混合感染以後の時間の経過とは関係なく、いつまでも gall 組織での局所的な necrosis にとどまることもあり得る。

この実験で、供試した3菌種をそれらの特定の寄主に該当する植物に対して *M. incognita* と混合接種した場合には、総合調査の時点ですでに大部分の個体が枯死しており、そのためそれらは根系全体にわたり組織崩壊しているものが多かった。一方各供試菌をそれらの寄主に該当しない植物に対して *M. incognita* と混合接種した場合は、少なくとも地上部に症状が認められた調査個体ではいずれも慢延型の根腐 necrosis の症状を呈した。しかしそれぞれ1個体の根群の中で慢延型の necrosis を生じた根の割合は、全般にそれ程多くはなかった。根の症状を供試植物別に比べると、キュウリおよびトマトではほとんどの調査個体において慢延型の necrosis が明瞭であり、gall 組織以外の部位まで褐変するものがあちこちに散在した。スイカでは *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* を *M. incognita* と混合接種した調査個体で明らかな慢延型の necrosis を示した。しかしマクワウリでは、調査個体の中で慢延型の necrosis を生じたものでもその程度はやや軽かった。また各供試菌と供試線虫とを混合接種した場合でも、地上部に症状が現われず、内部病徴として茎の導管に褐変を生じた程度の調査個体では、根にわずかな慢延型の necrosis を生じるか、もしくは局部型の necrosis を示すのみであった。供試植物のうち、カボチャは軽い慢延型の症状を、マクワウリは局部型の症状を呈した。なお、*Fusarium* 菌単独接種の場合は各供試菌の寄主植物で根の necrosis がいちじるしかったほか、マクワウリに *F.*

oxysporum f. sp. *cucumerinum* を接種した際、その根部に不鮮明な褐変を認めた。

3. 混合感染組織からの *Fusarium* 菌の再分離

混合感染によって生じた根部の necrosis が間違いなく接種源の *Fusarium* によるものかどうかを確かめるため、菌の再分離を行なった。方法は、necrosis を呈する組織小片を常法どおり表面殺菌し、PDA培地上におき25°Cで培養した。分離した *Fusarium* 菌はおのこの病原性を検定するため、接種源とした供試菌のそれぞれ該当する寄主植物の発芽種子を用いて接種を行なった。組織片は各実験区につき最低20個用いた。その結果は第3表に示すとおりである。necrosis を呈するすべての gall 組織片からは *Fusarium* 菌が検出され、また慢延型の症状を呈した gall 以外の部位に見られた褐変組織からもかなりの頻度で *Fusarium* が検出された。それらの菌は、接種検定の結果明らかに接種源として用いたものと一致し、再分離が確認された。なお、茎の導管が褐変した組織片をとって同様なことを行ない、それらからもまた接種源の存在を確認できた。

4. 混合感染組織の病理解剖的観察

混合感染をおこした gall 組織についてとくに *Fusarium* の感染の状態を明らかにするため病理解剖的観察を行なった。用いた材料は主としてキュウリの gall 組織で、掘り上げ後の調査個体から採取し、観察に適するものを選別した。標本は一旦 F.A.A. 固定液で減圧固定して保存した。観察に際して材料は十分水洗した後、氷結ミクロトームで15~20μの厚さの切片を作り、ヘマトキシリン・サフラニンの2重染色を行なって水で封じ、ただちに検鏡した。

F. oxysporum f. sp. *lycopersici* と *M. incognita* とを混合接種したキュウリの根に慢延型の necrosis を示した組織では、線虫の感染によって中心柱の形態がいちじるしく破壊されており、維管束組織の原型はまったく見られない。いくつもの巨大細胞を取り囲んだ不齊な導管内には、*Fusarium* の増殖菌糸がかなりの密度で慢延するのが観察された(写真 A, B, C)。菌糸はまた、導管内に限らず、巨大細胞内にも存在しており(写真 E, F)。

Photographs. Cross sections of galled roots in cucumber plant inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *M. incognita*. A), B), C)=The fungus is colonizing vascular bundle surrounding the established portion of female nematode. D)=There is some fungus colonization into parenchyma nearby the vascular elements. E), F)=The fungus is colonizing giant cells surrounding the anterior portion of female nematode. G)=The fungus growing within the body cavity of female nematode. H)=The fungus growing within the gelatinous matrix of nematode egg mass.

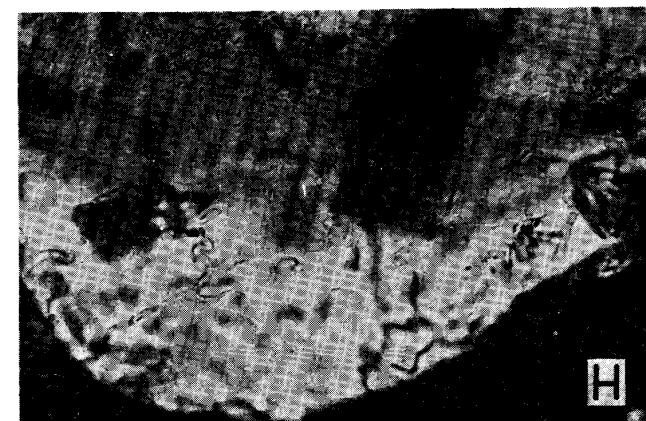
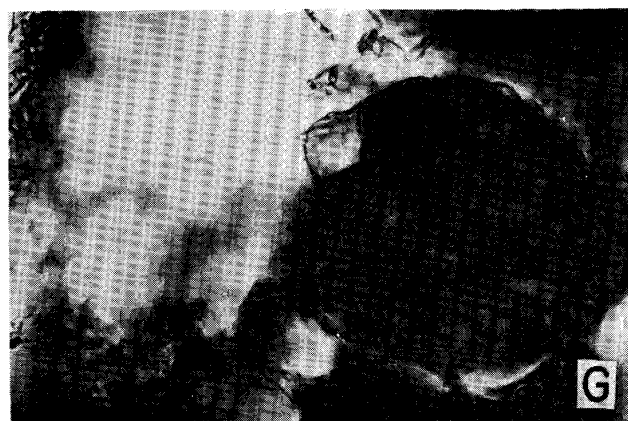
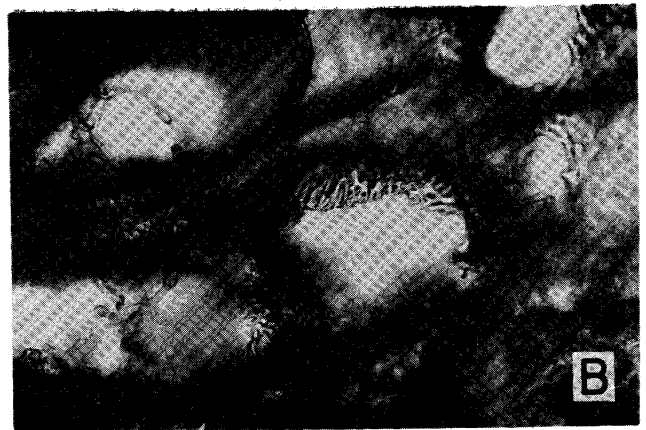
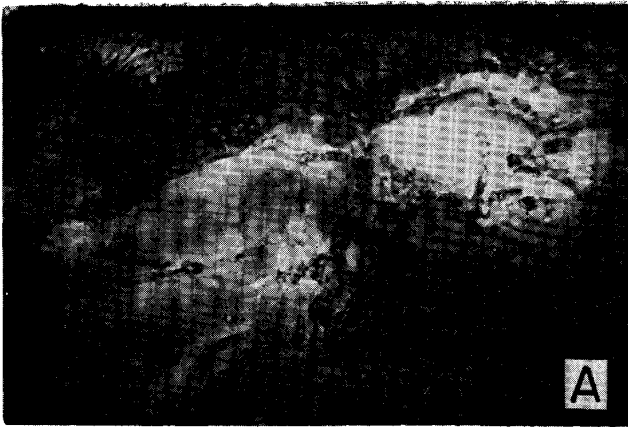


Table 3. Isolation of *Fusarium* fungus from the necrotic root tissues infected with *Fusarium* and root knot nematode

Inoculation		Isolation of <i>Fusarium</i>				
<i>F. oxysporum</i>	<i>M. incognita</i>	Cucumber	Melon	<i>C. fisifolia</i>	Tomato	Watermelon
0	0	—	—	—	—	—
0	4000	—	—	—	—	—
<i>cucumerinum</i> 20	0	+	+	—	—	—
:	4000	+	+	+	+	+
<i>lycopersici</i> 30	0	—	—	—	+	—
:	4000	+	+	+	+	+
<i>niveum</i> 20	0	—	—	—	—	—
:	4000	+	+	+	+	+

さらに線虫が定住した周辺の組織や、卵塊を包むゼラチン様粘質物の間にも迷走するのが認められた（写真 D, G, H）。しかし gall 組織の皮層部分には、比較的菌糸密度が低かった。gall 組織で増殖した菌糸が中心柱の内部に多いことは、線虫が組織内で定着する部位とも関連づけられ、菌に侵された導管を通じて、混合感染が gall 組織以外の部分へ進展する可能性を示している。事実それは、gall 組織からやや遠去かった範囲まで維管束が褐変し、かつ導管組織内に菌糸がはびこる場面をししばしば観察できることから裏づけられる。また、キュウリに *F. oxysporum* f. sp. *niveum* と *M. incognita* とを混合接種した場合の観察所見も、大体上にのべたものと似かよった様相を呈した。

一方トマトに *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* と *M. incognita* とを混合接種した場合は、すでにわれわれが *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* と *M. incognita* との混合感染の実験で観察した所見と大きな差異はな

く、維管束導管組織、巨大細胞など、おもに中心柱の内部における菌糸の増殖、慢延が見られた。

以上のごとく、本来寄主でない植物組織内で *Fusarium* が *M. incognita* との混合感染の場で増殖することが確認されたが、このことが地上部の萎ちょう症状の発現とどのように結びつけられるかについては、実験条件をあらためて設定した上で検討せねばならない。とくに *Fusarium* の非寄主植物における混合感染組織での病態反応は、氷結切片で観察した本実験の所見からは明らかにされなかった。

5. 土壌中における線虫密度

植物体を掘りあげた後の土壌中に見出される線虫密度は第4表に示したとおりである。供試植物の種類によって、検出線虫数の平均密度にはいちじるしいへただりがある。中でもトマト生育土壌における増殖の割合は、ほかのウリ科のものに比して数倍にもおよんだ。供試植物別に3菌種と組合わせた各線虫接種区の線虫検出数をく

Table 4. Average number of second stage larvae of *Meloidogyne incognita* collected from the soil in each inoculation plots

Inoculation		Average number of larvae				
<i>F. oxysporum</i>	<i>M. incognita</i>	Cucumber	Melon	<i>C. fisifolia</i>	Tomato	Watermelon
0	0	0	0	0	0	0
0	4000	1200	2550	2150	7900	1900
<i>cucumerinum</i> 20	0	0	0	0	0	0
:	4000	>50	1700	400	8500	900
<i>lycopersici</i> 30	0	0	0	0	0	0
:	4000	650	1300	2200	2700	1450
<i>niveum</i> 20	0	0	0	0	0	0
:	4000	950	2650	3500	5950	>50

Larvae were recovered from the 30 gram soil by Baermann funnel method. Average of 3 replications.

らべると、かなり変動の幅が見られる。スイカ、キュウリ、トマトでは、それぞれの病原である *Fusarium* 菌の form species と *M. incognita* との混合接種区で、極端に線虫の密度が低下した。これは接種後短期間のうちに混合感染がおこったため、根部の necrosis が激しくなり、線虫の増殖が抑制されたことによるものである。しかし、そのほかの各線虫接種区間の検出数の変動は、必ずしも地上部の萎ちょう発病率や根こぶ指数とは関連づけられなかった。

考 察

本実験で明らかにされた現象面での事実は、過去に積み重ねられてきた *Meloidogyne* spp. と *Fusarium* とによる複合病の認識の上に、一つの新しい問題を提起している。*Fusarium* 抵抗性に影響をおよぼす線虫と菌との混合感染に関するいままでの知見では、根こぶ線虫感染植物における体内物質の生化学的変化が、寄主植物の *Fusarium* 抵抗性を破壊する方向に導くというものであった。そこで論議される対象は、あくまでも寄主植物の品種間に限られ、寄生性の変化まではふれていない。本実験では、分化した寄主選択性をもつ *F. oxysporum* の form species が、寄主以外の植物において *M. incognita* との混合感染という特殊な場で、特異な寄生性を獲得することを確認した。このことは、逆説的に、*M. incognita* の感染による植物体の生化学的な体質変化が、いかにいちじるしいかを裏付けている。そもそも病原体の寄生性、とくに生理的分化の明確な病原体の寄生性の問題は、遺伝的な素因に支配された寄主との親和性に関連してきわめて複雑である。その意味で、本実験の結果から導かれた問題の提起は、混合感染という特殊な次元を通して寄主——寄生者相互関係の本態を究める一つの手がかりにつながると考えられよう。

ところで、*Fusarium* の寄主選択性の混乱を導く原因となった根こぶ線虫感染植物の本質は、一体どのように変化しているかが問題となる。本実験の結果では、*Fusarium* の寄生性が混乱した現われ方として、供試植物による差異が見られた。中でもキュウリ、トマトは、*Fusarium* の寄生性にもっとも大きく影響していると思われる。この二つの供試植物は、*Fusarium* と *M. incognita* との混合接種で、form species の相異とはほとんど無関係に、それぞれ同じように地上部の症状をもたらした。その場合の菌による感染の様相は、根こぶ組織の病理解剖の観察で確かめられた。そのことからすると、供試線虫が感染したこれらの植物では、接種されたいずれの form species に対しても親和性を示すこ

う普遍的な生理体質に変化していると考えられる。これに関しては、一方根こぶ線虫感染植物における体内物質の変化の実態と照らし合わせて考える必要がある。根こぶ線虫感染植物の gall 組織では、遊離アミノ酸をはじめ、蛋白質、核酸、インドール物質 (IAA) そのほか、さまざまな物質の集積が明らかにされている (OWENS and NOVOTNY (1960), BIRD (1961), YU and VIGLIERCHIO (1964))。しかもその部分に検出される種々の酵素の活性はきわめて顕著である (ENDO and VEECH (1969))。これら体内物質の異常集積は、植物の種類による反応の程度にもよるが、gall 組織形成の共通的な現象として、線虫感染植物の生理的な体質をかなり普遍化していると考えることができよう。それを裏づける有力な論拠として、gall 組織においていろいろな微生物の増殖が刺激される事実を見逃がすことはできない (BRODIE and COOPER (1964), 平野 (1966), MELENDEZ (1967), POWELL and NUSBAUM (1960))。以上の観点から、根こぶ線虫の感染した組織では、もはやその植物固有の遺伝的な素因から逸脱した別の生理体質を獲得しているものと推察される。ただしここで注意すべきことは、いまのべた推察が、あくまで細胞もしくは組織レベルでの現象的な事実にもとづくものであり、個体レベルまでこの問題をおしひろげることは危険であるという点である。個体レベルでこの問題を取り扱うためには、さらに実験の設定を改め、考察の主眼点を変える必要がある。

本実験では、供試植物のいずれにも *M. incognita* の寄生度がいちじるしかった。とくにマクワウリでは、そのために生育が激しく抑制された。しかしながら *Fusarium* との混合接種の結果は *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* の場合を除いて、必ずしも大きな影響が見られなかった。このことは、たとえ *M. incognita* の感染植物であって生理体質が変化しても、植物の種類によって明らかな差異があることを示している。それはちょうど、*Fusarium* 抵抗性品種の中にも、根こぶ線虫との混合感染でその抵抗性が破壊されるものと破壊されないものとの相異があるのと共通する問題であろう。いずれにしてもその理由は明らかでないが、これを解き明かすことで混合感染の機構をさらに掘りさげて究明する道が開かれるように思われる。

摘 要

1) サツマイモネコブセンチュウ (*M. incognita*) の感染植物における *Fusarium* 菌の寄生性の変動について検討した。

2) 供試した3菌種, *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *F. oxysporum* f. sp. *niveum* は, 5種類の植物に対して *M. incognita* と混合接種した場合, いずれもその寄生性が変化し, 各菌種に特定の寄主植物以外のものにも萎ちょう症状をおこさせた。

3) *Fusarium* 菌と *M. incognita* とによる混合感染の症状は, 植物の種類によってその程度が異なり, とくにキュリとトマトで顕著であった。

4) 混合感染をおこした植物の根部に現われた necrosis の症状は, gall 組織だけでなく, そのほかの部位にわたって拡大する慢延型のものが多かった。

5) 混合感染によって necrosis を呈する根の組織からは, いずれも接種源の *Fusarium* 菌が再分離された。

6) 混合感染した gall 組織切片の観察によって, 本来その植物には寄生しない *Fusarium* 菌が, gall 部分の巨大細胞, 導管組織, 線虫体周囲の組織内に高密度で増殖しているのが確認された。

文 献

- 1) ATKINSON, G. F. (1892): Alabama Polytech. Inst. Agr. Expt. Sta. Bull. 41: 61.
- 2) BIRD, A. F. (1961): J. Biophys. Biochem. Cytol. 11: 701.
- 3) BRODIE, B. B. and COOPER, W. E. (1964): Phytopath. 54: 1023.
- 4) DAVIS, R. A. and JENKINS, W. R. (1963): Ibid. 53: 745.
- 5) ENDO, B. Y. and VEECH, J. A. (1969): Ibid. 59: 418.
- 6) HARRISON, A. L. and YOUNG, P. A. (1941): Ibid. 31: 749.
- 7) 平野和弥(1966): 千葉大園学報13: 1.
- 8) JENKINS, W. R. and COURSEN, B. W. (1957): Pl. Dis. Repr. 41: 182.
- 9) MARTIN, W. J. et al. (1956): Phytopath. 46: 285.
- 10) MELENDEZ, P. L. and POWELL, N. T. (1967): Ibid. 57: 286.
- 11) OWENS, P. G. and NOVOTNY, H. M. (1960): Ibid. 50: 650.
- 12) PITCHER, R. S. (1965): Helminth. Abst. 34: 1.
- 13) PORTER, D. M. and POWELL, N. T. (1967): Phytopath. 57: 282.
- 14) POWELL, N. T. and NUSEBAUM, C. J. (1960): Phytopath. 50: 899.
- 15) THOMASON, I. J. et al (1959): Ibid. 49: 602.
- 16) YU, P. K. and VIGLIERCHIO, D. R. (1964): Exp. Parasit. 15, 242.