特集：ピシウム病害

ピシウム属菌が関与するパパイア連作障害とその対策

沖縄県農業研究センター　亀川（かめかわ）　藍（あい）・宮城（みやぎ）　聡子（あきこ）

は じ め に

沖縄県では2004年ころからパパイアの栽培面積および生産農家数が増加している。この背景には，虫除け網を張った簡易型施設の普及によりアブラムシ媒介性のウイルス病防除が可能になったこと，および市場や消費者からの需要が高まってきたことがある。一方，簡易型施設の導入により，同一圃場で長期にわたりパパイアを栽培するようになったため,連作障害が問題になりつつある。

パパイアは連作に弱い作物として知られている。ハワイやオーストラリア，台湾の主要産地では連作により，果実および幹に発生する軟腐病と苗立枯病の被害が問題となっている。その主な原因は *Phytophthora palmivora* で（Trujillo and Hine, 1965 ; Mosqueda-Vazquez, 1981），クィーンスランドではパパイアの栽培が長期に及ぶほど，土壌中の *P. palmivora* の厚壁胞子密度が増加すると報告されている（Vawdrey, 2001）。

沖縄県におけるパパイア連作障害の症状には，生育遅延ならびに，苗立枯れおよび軟腐症が認められている。苗立枯れおよび軟腐症については，これまでの調査結果から，*P. palmivora* が主病原菌であることが明らかとなり，国外の報告と一致した。本種によるパパイア病害は本邦では未報告であったため，新病害として提案した（亀川ら，2010 a；2010 b）。一方で，パパイアの生育遅延の原因は明らかにされてない。本症状は，パパイアの栽培歴がない圃場のパパイアと比較して茎が細長く，見た目は貧弱で徒長した状態となり,根では褐変が生じる。また，着花期が遅れるため，着果数の減少により，収穫量が減少すると懸念されている。また，生育は阻害されるが枯死しないため，当初は土壌の化学性や物理性の要因が大きいと考えられた。しかし，病理学的視点からの検討により，*Pythium splendens* が主な原因である可能性が高いことがわかった（亀川ら，2010 c）。

本稿では，沖縄県におけるパパイアの連作障害，特に *P. splendens* が関与すると考えられる生育遅延の原因解明と防除対策について，これまでに得られた知見を紹介する。

I　連作障害とは

「連作障害」は英語では monoculture injury, replant problem, replant disease 等と表記され，連作に伴い障害が起こる現象全般を示す。連作障害の詳細な定義は，西尾（1983）に次のようによりわかりやすく後述のように解説されている。すなわち，同じ種類，または近縁の作物を同じ畑に続けて作付けしたときに，その作物の生育や収量・品質が低下する現象すべてのことを言う。また，連作障害は，輪作によって障害が消失あるいは軽減されることから，作物特異性をもつ障害であるということ，並びに，原因が土壌中に蓄積して次作に障害を起こすことがある点で他の障害と区別される。さらに瀧嶋（1965）を引用し，連作障害の発生要因として，①土壌養分の消耗，②土壌反応の異常，③土壌物理性の悪化，④植物由来の有害物質,⑤土壌生物の五つを挙げている。ここではこれらのうち，特に⑤の影響について検討している。

これら要因のうち，①～③に関しては土壌改良資材や肥料が乏しかった1939年代に見られたもので，現在では連作障害の原因にはほとんどなっていない。④は，アスパラガスの連作障害の原因として知られるアレロパシー物質（元木ら，2006）を示す。⑤は，センチュウや糸状菌等の土壌微生物に起因するもので，連作障害のおよそ7割が⑤に起因し，①～④は被害を助長する補助因子であると考えられている（西尾，1983）。土壌微生物が連作障害の主原因であるとした事例には，*Fusarium solani* f. sp. *pisi* によるエンドウの連作障害（植原・栗畑，1973），*Phytophthora* 属菌，*Pythium* 属菌，*Cylindrocarpon* 属菌など複数種によるリンゴの連作障害（Mazzola, 1998），*Aphanomyces* 属菌によるテンサイの連作障害（清水，1994），*Pythium* 属菌によるインゲンやダイズの連作障害などで報告がある（景山ら，1981 a；1981 b；1982；1983；Matoba et al., 2008）。

II　生育遅延現象の確認

連作圃場によるパパイアの生育遅延は，枯死などの明

Papaya Replant Problem Caused by *Pythium* sp. and its Control. By Ai Kamekawa and Akiko Miyagi
（キーワード：ピシウム，連作障害，パパイア，生育阻害，防除対策）

確な症状ではないため，健全に生育している植物個体と比較して初めて確認できる。そこで，連作圃場で生育遅延現象が認められるか確かめるために，連作区と新作区に，パパイアの苗（高さ30 cm，品種：フルーツタワー）を定植して，7か月後の生育量を比較した。連作区は宮古島市西里（沖縄県農業研究センター宮古島支所）の施設内で2005～07年にパパイアを栽培した圃場，新作区はパパイアの栽培歴がない圃場とした。結果，連作区のパパイアでは，幹径長および茎長が有意に短くなり，出葉数は有意に減少した（表-1）。次に，根の生育状況を調べるために，新作区と連作区の土壌を用いてワグネルポット試験を行った。それぞれの試験区の土壌を2×2 mmのふるいに通した後に，ワグネルポット（1/5,000 a）に詰め，パパイア苗（高さ8 cm，品種：オキテング）を定植し，2週間後に根の状態を調べた。結果，連作区のパパイアでは，根の乾重量が有意に小さく，褐変が認められた。また，茎葉乾重量も有意に小さかった（表-2，図-1）。このことから，連作区に定植したパパイアは，茎葉および根の生育量が小さくなり，根では褐変が認められることがわかった。

Ⅲ　生育遅延の原因について

パパイア連作障害の原因を特定するために，西尾（1983）が挙げた連作障害の五つの原因のうち，土壌の化学性および土壌微生物が関与する可能性について検討した。まず，土壌の化学性の違いが連作障害に関与している可能性を調べるために，連作区と新作区の採集土壌の化学分析を行った。土壌の化学性として，EC値，全炭素量，全窒素量，リン酸量，CEC値，Mg量，K量，Na量を調べた。その結果，連作区と新作区でCa量とpHに違いが認められたが，それ以外の化学性では差がなかった。新作区土壌のCa量は537 mg/100 g，pHは7.3，連作区土壌のCa量は220 mg/100 g，pHは5.9であった。新作区土壌のpHが高い値を示したのはCa量が多かったためと考えられる。パパイアではCa量が3.0 mg/100 g未満になるとCa欠乏症により株の生長が抑制されることが知られている（Lin et al., 1986）。また，パパイアの最適な土壌のpHは6.0～6.5（沖縄県栽培要領，2001）であり，新作区と連作区の土壌pHに大きな差はなかった。

次に，土壌微生物が関与する可能性を検討した。新作区の土壌，連作区の土壌および連作区の滅菌土壌（121℃，20分で高圧蒸気滅菌した土壌，以下滅菌連作区）をワグネルポット（1/5,000 a）に詰めてパパイア苗（高さ8 cm，品種：オキテング）を定植し，2週間後の生育量を調べた。その結果，滅菌連作区のパパイアは生育量が最も大きく，連作区よりも乾重量が増加した。また，パパイアの根を観察すると，連作区では根の褐変が見られたのに対し，滅菌連作区では認められなかった。連作区の土壌で見られるパパイアの生育遅延は，土壌を滅菌することで，抑制または消失することから，

表-1　定植7か月後の新作区と連作区の生育比較

	茎長（cm）	幹径（cm）	出葉数（枚）
連作区	82.7 ± 5.1	96.7 ± 15.3	6.3 ± 0.5
新作区	108.4 ± 5.1	134.6 ± 19.8	7.6 ± 0.7
有意差	＊＊	＊＊	＊＊

＊＊はt検定で有意差あり（$p < 0.01$）.

表-2　ワグネルポット試験による各土壌での生育比較と根の褐変

供試土壌	茎葉乾重[a]（g/株）	根乾重（g/株）	褐変程度[b]
新作土壌	1.01 ± 0.29	0.33 ± 0.14	20.8
連作土壌	0.48 ± 0.10	0.13 ± 0.05	10.0
滅菌連作土壌	0.79 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0

[a] 乾重量は，70℃で12時間乾熱処理して測定した.

[b] 褐変程度＝Σ(褐変指数×該当個体数)/(最大指数×調査個体数)×100で算出.

褐変指数　0＝健全，1＝部分的に褐変している側根が見られる，2＝褐変している側根が全体的に散在している，3＝側根のほとんどが褐変している，4＝側根のほとんどが褐変し主根の先端にも褐変が見られる.

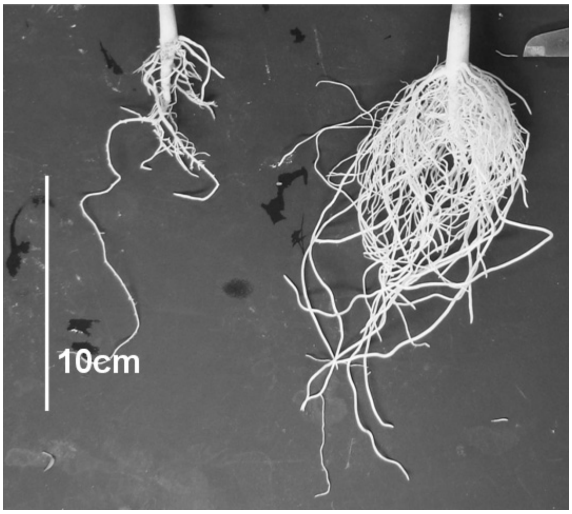

図-1　ワグネルポットで連作土壌（左）と滅菌連作土壌（右）で育成したパパイアの根

土壌中の微生物が関与する可能性が高いと考えられた。

以上の結果，連作によるパパイアの生育遅延は，土壌微生物が関与している可能性が高いことがわかった。

Ⅳ　根の褐変に関与する土壌糸状菌の特定

根の褐変は，連作区の生育遅延を起こしたパパイアで見られた症状である。連作区の土壌をワグネルポットに詰めて，そこに定植したパパイア根の褐変部を検鏡すると，根組織内に菌糸の存在が認められたため，常法により糸状菌の分離を試みた。その結果，***Pythium*** 属菌，***Fusarium*** 属菌，***Rhizoctonia*** 属菌等が分離された。これらの糸状菌のパパイアに対する病原性について，ビニルポットを用いた接種試験で調べたところ，***Pythium splendens*** のみがパパイアに対して病原性を示した（図-2）。次に，***P. splendens*** の培養菌体を接種した滅菌土壌でパパイアを栽培すると，根の褐変と茎葉および根の乾重量の減少が認められ，根の褐変部位から ***P. splendens*** が再分離された。また，宮古島市西里の連作条件下のパパイアの根でも褐変が認められ，褐変部位から ***P. splendesns*** が分離され，分離菌を用いて接種試験を実施したところ病徴が再現された。これらの結果から，連作区の生育遅延は ***P. splendens*** が感染して表れた症状であるとわかった。

生育遅延の原因のひとつとして ***P. splendens*** が関与することはわかったが，栽培年数に応じた ***P. splendens*** 密度の変化や他の土壌微生物の変化は明らかとなっていない。また，***P. splendens*** が単独で関与しているのか，あるいは他の土壌微生物や諸要因が同時に関与しているか等も明らになっていない。パパイア連作障害による生育遅延と ***P. splendens*** の因果関係を明確にするため，今後，さらに検討する必要がある。

Ⅴ　ピシウム属菌が関与した連作障害

ピシウム属菌が関与した土壌連作障害は，パパイア以外では，ダイズとインゲンで多くの報告がある（景山ら，1981 a；1981 b；1982；1983）。連作障害の症状は，ダイズまたはインゲンを連作すると，輪作区（ジャガイモ・テンサイ・エンバク・クローバー・コムギ）と比較して減収する現象である。連作障害の原因は，***Pythium myriotylum*** と ***Pythium*** sp.（有性器官未確認のため未同定とした）である。この2種のピシウム属菌が根腐れを起こして根量を減少させた結果，ダイズやインゲンが減収したことを明らかにした。ダイズとインゲンの連作障害は，2種のピシウム属菌の密度が栽培年数に応じて増加するために発生する。一方，輪作区では，本菌がテンサイ以外の輪作作物に感染できず，菌密度が増加しないため連作障害が発生しなかった。このことから，連作障害の回避には，病原菌密度を抑制できる輪作が有効である可能性が示唆された。

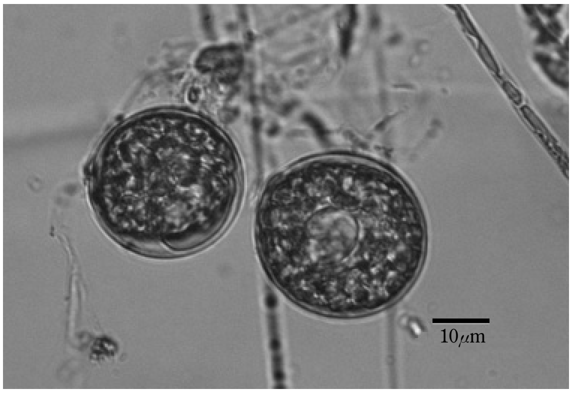

図-2　分離された *Pythium splendens* の球状の無性繁殖器官

パパイアに生育遅延を起こす ***P. splendens*** はメロンやパキラなどでは枯死を引き起こすほどの病原性を有するが，パパイアでは根の褐変のみで枯死は引き起こさなかった。***P. myriotylum*** も似たような現象を起こす。

本菌は，ホウレンソウ立枯病やカランコエ立枯病を引き起こす，強病原性の菌として知られるが，インゲンやダイズに対しては生育阻害を引き起こすのみで枯死は引き起こさかった（景山ら，1981 a；1981 b；1982；1983）。生育阻害のみで枯死しない原因として，インゲンやダイズでは生育初期に直根が障害を受けても，地表付近に発生する不定根が増加して，不定根では感染が起きなかったために，枯死せずに生育が維持できたと考察した（景山ら，1981 b）。また，***P. myriotylum*** は高温性の菌であり，試験地の北海道北見地方は冷涼で地温が上昇しないために，強い病原性を示さないことも原因の一つと考えられる（景山ら，1981 b）。

Ⅵ　土壌消毒による防除

景山ら（1981 b）の研究では，ピシウム属菌によるインゲンの連作障害は輪作（ジャガイモ・テンサイ・エンバク・クローバー・コムギ）によって予防できる可能性が高いことが示唆されたが，パパイアなど栽培期間が3～5年間（栽培者によってはそれ以上）の長期にわたる作物で，輪作により病原菌の密度を抑制して連作障害を予防するのは困難である。輪作で一時的にピシウム菌密度の増加を抑制できても，栽培期間中に菌密度が上昇し，次作に影響を及ぼしてしまう可能性がある。そのた

図-3　クロルピクリン処理区と無処理区のパパイア

め輪作よりも定植前に土壌消毒を行うほうが現実的な対応になる。

そこで筆者らは，クロルピクリンを使用して，土壌消毒による効果を検討した。試験は宮古島市のパパイア連作圃場でパパイア生育不良株から *P. splendens* が高頻度に分離された圃場で行った。試験区には，連作土壌をクロルピクリンで処理した区と，無処理区を設けた。クロルピクリンを処理後に，それぞれの試験区から採集した土壌をワグネルポット（1/5,000 a）に詰めた。そこにパパイアの苗（品種：フルーツタワー）を定植して，1 か月後に茎長と根の乾重量を調べた。その結果，クロルピクリン処理区では無処理区と比較して茎長および根の乾重量に有意な増加が認められた。また，無処理区のパパイアの根では褐変が認められたのに対し，クロルピクリン処理区では認められなかった（表-3，図-3）。以上の結果から，パパイアの連作障害の防除には，クロルピクリンによる土壌消毒が有効であることが示唆された。

お わ り に

パパイアおよびインゲン，ダイズにおいて，ピシウム属菌が関与した連作障害は明確な病徴ではなく，生育遅延といった健全植物と比較して明らかになる症状であるため，原因の特定が困難である。原因を特定するには，西尾らが提唱した五つの要因を考慮して検討する必要がある。

ピシウム属菌が関与したパパイアの連作障害の防除対策には，土壌消毒が有効であることがわかったが，クロルピクリンなどの土壌消毒剤はパパイアなどのマイナー作物では使用できない。そこで，これに替わる土壌消毒法として，熱を利用した物理的方法や，緑肥のすき込み（東條，2010）や，*Pythium nunn* などの拮抗微生物を利用した生物的防除法（Kobayashi et al., 2010）により，ピシウムが関与した，パパイアの連作障害を回避できるか，今後検討していきたい。

表-3　連作圃場でのクロピク処理区と無処理区の生育比較

	茎長（cm）	幹径（cm）	出葉数（枚）
クロルピクリン処理区	16.9 ± 1.3	7.7 ± 0.9	7.8 ± 0.4
無処理区	11.7 ± 0.9	6.6 ± 0.8	7.0 ± 0.6
有意差	n.s.	＊＊	＊＊

＊＊は *t* 検定で有意差あり，n.s.は有意差なし（$p < 0.05$）.

引　用　文　献

1）景山幸二ら（1981 a）: 日植病報 **47** : 313 ～ 319.
2）――――・宇井格生（1981 b）: 同上 **47** : 320 ～ 326.
3）――――・――――（1982）: 同上 **48** : 333 ～ 335.
4）――――ら（1983）: 同上 **49** : 148 ～ 152.
5）亀川　藍ら（2010 a）: 日植病報 **76** : 29.
6）――――ら（2010 b）: 沖縄県農研セ研報 **4** : 42 ～ 460.
7）――――ら（2010 c）: 日植病報 **76** : 159.
8）Kobayashi, S. et al.（2010）: J. Gen. Plant Pathol. **76** : 278 ～ 283.
9）Lin, H. L. et al.（1986）: HCHU Horticulture **11** : 29 ～ 38.
10）Matoba, Y. et al.（2008）: J. Gen. Plant Pathol. **74** : 81 ～ 85.
11）Mazzola, M.（1998）: Phytopathology **88** : 930 ～ 938.
12）Mosqueda-Vazquez, R. et al.（1981）: J. Amer. Soc. Hort. Sci. **106** : 484 ～ 487.
13）元木　悟ら（2006）: 園学研 **5** : 443 ～ 446.
14）沖縄県農林水産部（2001）: 沖縄県野菜栽培要領 : 121 ～ 125.
15）西尾道徳（1983）: 土肥誌 **54** : 64 ～ 73.
16）清水基滋（1994）: 北海道農試集報 **67** : 55 ～ 63.
17）瀧嶋康夫（1965）: 化学と生物 **3** : 530 ～ 535.
18）Trujillo, E. E. and R. B. Hine（1965）: Phytopathology **55** : 1293 ～ 1298.
19）東條元昭（2010）: 土壌伝染談話会レポート **25** : 9 ～ 19.
20）植原一雄・栗畑耕二（1973）: 鹿児島大学農学部学術報告 **23** : 127 ～ 132.
21）Vawdrey, L.（2001）: Australasian Plant Pathology **30** : 199 ～ 204.