Fusarium oxysporum f. sp. *pisi*
(エンドウ萎ちょう病菌)に関する
病害虫リスクアナリシス報告書

令和6年2月19日 改訂

農林水産省
横浜植物防疫所

主な改訂履歴及び内容

平成 31 年 3 月 25 日 作成

令和 6 年 2 月 19 日 発生国の追加(パキスタン、クロアチア、ポルトガル、エジプト及びコロンビア)

目次

はじめに.....	1
リスクアナリシス対象の病害虫の生物学的情報(有害植物).....	1
1 学名及び分類.....	1
2 地理的分布.....	1
3 宿主植物及び国内分布.....	2
4 感染部位及びその症状.....	2
5 移動分散方法.....	2
6 生態.....	2
7 媒介性又は被媒介性に関する情報.....	3
8 被害の程度.....	3
9 防除に関する情報.....	3
10 同定、診断及び検出.....	4
11 我が国における現行の植物検疫措置.....	5
12 諸外国での輸入検疫要件.....	5
リスクアナリシスの結果.....	6
第1 開始(ステージ1).....	6
1. 開始.....	6
2. 対象となる有害動植物.....	6
3. 対象となる経路.....	6
4. 対象となる地域.....	6
5. 開始の結論.....	6
第2 病害虫リスク評価(ステージ2).....	6
1. 農業生産等への影響の評価.....	6
2. 入り込みの可能性の評価.....	7
3. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> の病害虫リスク評価の結論.....	10
第3 病害虫リスク管理 (ステージ3).....	11
1. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> に対するリスク管理措置の選択肢の有効性及び実行可能性の検討.....	11
2. 経路ごとの <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> に対するリスク管理措置の選択肢の有効性(上段)及び実行可能性(下段)一覧.....	13
3. 経路ごとの <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> に対するリスク管理措置の選択肢の特定.....	13
4. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> のリスク管理措置の結論.....	15
別紙1 <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> の発生地の根拠.....	16
別紙2 <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i> の宿主植物の根拠.....	18
別紙3 関連する経路の年間輸入量.....	19
引用文献.....	20

はじめに

Fusarium oxysporum f. sp. *pisi* は、エンドウに感染し、植物体の黄化や萎ちよう・枯死を引き起こす糸状菌。また、本菌は、土壌伝染性で、一度土壌中に侵入すれば根絶には困難を伴うことが知られている。本菌は種子伝染することから、我が国では植物防疫法規則別表1の2で規定し、本病発生国から輸入される種子については、採種用親植物について栽培地検査が必要とされている。今般、新たな発生国の報告があったことから、改めて本検査有害動植物に対するリスク評価を実施し、現行のリスク管理措置の有効性について評価するため、リスクアナリシスを実施した。

リスクアナリシス対象の病害虫の生物学的情報(有害植物)

1 学名及び分類

(1) 学名(CABI, 2018)

Fusarium oxysporum f. sp. *pisi* (Linford) Snyder & Hansen

(2) 英名、和名等

wilt of pea(CABI, 2018)、Fusarium wilt(Kraft and Pflieger, 2001; Sherf and Macnab, 1986)、near-wilt(Kraft and Pflieger, 2001; Sherf and Macnab, 1986)

(3) 分類(CABI, 2018)

種類: 菌類

科: Nectriaceae

属: *Fusarium*

(4) シノニム(CABI, 2018)

Fusarium orthoceras var. *pisi* Linford

Fusarium pisi

Fusarium vasinfectum var. *pisi*

(4) その他

本菌は、11のraceが報告されていたが、その後の研究で、race 1、2、5及び6の4つに絞られ(Brayford, 1996)、それ以外のraceはrace 1又は2の変異とされた(Brayford, 1996)。

race 1(Fusarium wilt)は1924年、米国ウィスコンシン州において確認され、その後、race 1に抵抗性のある品種を導入していたところ、エンドウに立ち枯れ症状が発生し、near-wiltとされるrace 2が確認された(Kraft and Pflieger, 2001)。race 2は米国の全エンドウ生産地域で報告されており、世界中の発生地域のエンドウ生産地でも報告されている(Kraft and Pflieger, 2001)。race 3及びrace 4はそれぞれオランダとカナダで報告されていたが、その後、それらはrace 2に再分類されるとともに、両raceは経済的には重要ではないことが明らかとなった(Kraft and Pflieger, 2001)。race 5及びrace 6は1970年代のワシントン州北西部で報告され、発病に好適な気候等により急速に広がり、ワシントン州北西部やブリティッシュコロンビア州南西部で経済的に重要なraceとなっていたが、その後、抵抗定品種の開発などにより、ワシントン州西部では、経済的重要性は減少している(Kraft and Pflieger, 2001)。

2 地理的分布

(1) 国又は地域(詳細は別紙1を参照。下線部は令和6(2024)年2月19日改訂時に追加。)

アジア: インド、台湾、中華人民共和国、パキスタン

欧州: アゼルバイジャン、アルメニア、イタリア、ウクライナ、ウズベキスタン、英国、エストニア、オランダ、カザフスタン、キルギス、クロアチア、ジョージア、スロバキア、タジキスタン、チェコ、ドイツ、トルクメニスタン、デンマーク、ハンガリー、フランス、ベラルーシ、ベルギー、ポーランド、ポルトガル、モルドバ、ラトビア、リトアニア、ルーマニア、ロシア

アフリカ: アルジェリア、エジプト、モロッコ

北米: アメリカ合衆国、カナダ

中南米: アルゼンチン、コロンビア、ブラジル

大洋州: オーストラリア、ニュージーランド、ハワイ諸島

我が国では、平成14年に愛知県(松崎ら 2003)、平成15年に静岡県、平成16~21年に和歌山県、平成27年に北海道及び和歌山県で本菌が確認(Sakoda et al., 2019)されたため、罹病株の処分、土壌消毒等の防除が行われた。その後、国内における本菌の発生に関する報告はない。

(2) 生物地理区

旧北区、新北区、エチオピア区、東洋区、オセアニア区、オーストラリア区、南極区、新熱帯区の8区に分布する。

3 宿主植物及び国内分布

(1) 宿主植物(詳細は別紙2を参照)

マメ科:エンドウ(*Pisum sativum*)

(2) 我が国における宿主植物の分布・栽培状況

エンドウは 47 都道府県で栽培されている。

4 感染部位及びその症状

本菌は生育の良い土壌腐生菌で、根にコロニーを作るが、宿主でない植物や抵抗性植物の表皮細胞にも感染することもあり、厚壁胞子をつくり、10 年以上、土壌中で生存できる(Kraft and Pflieger, 2001)。厚壁胞子は、罹病植物や植物残渣中にも存在する(Kraft, 1994)。

race 1 の主な症状は茎葉の矮化や黄化であり、明確な立ち枯れを起こすこともあり、感染すると、通常、莢を作らなくなり、平らになった莢には種子も形成されなくなる(Sherf and Macnab, 1986)。race 1、5 及び 6 の症状は似ており、収穫前に感染し、枯死させるが、初期症状としては、葉や托葉が下方に巻く(Kraft and Pflieger, 2001)。茎の下位部の節間は厚くなり、葉や茎は堅くもろくなり、根は表面的には普通に見えるが、縦に切断すると、導管組織が黄色やオレンジに退色していることがある(Kraft and Pflieger, 2001)。この色は感染植物の茎の下位部に広がり、病気が進行すると、葉の黄化は茎の根元から植物の頂部に徐々に広がる(Kraft and Pflieger, 2001)。土壌温度が 20℃を超えると、病気は急激に進行し、枯死する。特に土壌中に十分な菌が存在する場合は、race 1、5 及び 6 に感染すると、感受性のある植物はすぐに枯死する(Kraft and Pflieger, 2001)。また、圃場では、発生した区画のすべての植物が枯死したり、枯死しかけていることは珍しいことではない(Kraft and Pflieger, 2001)。race 2 の症状は、通常開花期や莢が実る季節にあらわれる(Kraft and Pflieger, 2001)。また、最適温度が 82°F(27.8℃)と、race 1 の 74°F(23.3℃)より高いことから、遅い季節に発生する(Sherf and Macnab, 1986)。症状は race 1、5 及び 6 の症状と似ており、緑灰色の葉の退色、葉や托葉が下方に巻いたり、植物の基部から頂部にかけての葉の黄色化が含まれる(Kraft and Pflieger, 2001)。ただし、進行は遅く、莢が成長してから最も病徴が現れやすいこともあり、最初は健全であると思われていた植物が、成熟直前に枯死することもある(Dixon, 1981)。根や茎の導管組織の退色は、race 1、5 及び 6 よりも激しく、オレンジ色から濃い赤色になり、根から植物の頂部近くまで進行する(Kraft and Pflieger, 2001)。

5 移動分散方法

(1) 自然分散

本菌は、病原菌が混入した土壌や植物片が水、風により分散する。

(2) 人為分散

本菌は、人為的に運ばれる土壌や植物の破片により分散し、長距離の分散は感染種子により起こる(Kraft and Pflieger, 2001)。栽培に伴う汚染土壌の移動によっても分散する(Brayford, 1996)。

race 2 は生育後期に枯死させることから、種子内伝搬すると考えられるが、一方で、race 1、5 及び 6 は通常、植物が種子をつくる前に植物を枯死させることから、種子伝搬は、種子表面の汚染土壌や植物残渣に関連して起こると考えられる(Kraft and Pflieger, 2001)。

6 生態

(1) 中間宿主及びその必要性

情報なし。

(2) 伝染環

本菌は通常、エンドウの根の先端や傷ついた根、子葉節から侵入・感染する(Kraft and Pflieger, 2001)。枯死した宿主組織上に、粘液性の分生子を形成することがある(Brayford, 1996)。

Race 1 は、圃場では、感染の広がりが遅く、感染が明確にわかるまで2年以上かかることもある(Sherf and Macnab, 1986)。菌糸は宿主の導管に限られており、根の皮層の腐敗はほとんどなく、病原菌は土壌から皮層を経て導管に侵入する(Dixon, 1981)。菌糸は根に侵入し、導管を通じ上部に広がっていくが、進行が遅く、現れるまでに 25 日経過することもある(Sherf and Macnab, 1986)。なお、症状が現れるまでの期間は土壌の温度や土壌中の菌量にもよる(Sherf and Macnab, 1986)。宿主が枯死した後、病原菌は皮層から出てきて、茎の表面に大量の胞子と共に白色の子座をつくる(Dixon, 1981)。

(3) 植物残渣中での生存

枯死した宿主組織上に胞子を形成する(Brayford, 1996)。

- (4) 耐久生存態
厚壁胞子をつくり、10年以上、土壤中では生存できる(Kraft and Pflieger, 2001; Brayford, 1996)。

7 媒介性又は被媒介性に関する情報

情報なし。

8 被害の程度

明確な収量低下や品質の低下を引き起こし、病原菌にとって理想的な環境であれば、被害は深刻で、圃場のすべてが枯死することもある(Kraft and Pflieger, 2001)。race 2 はエンドウを生産している当該病菌の発生地域に分布しており、感染ほ場の1~3%の植物体を枯死させ、粗粒質土壤中、地温が25°Cに近い時に最も深刻な被害をもたらす(Kraft and Pflieger, 2001)。

9 防除に関する情報

(1) 化学的防除法

- ア 植物体へのベノミル及びカルベンダジム散布(日本ではベノミル水和剤として種子粉衣に適用)並びに臭化メチル(Brayford, 1996)。
イ 種子 1kg に対して 2g のチウラム+グラファイト処理は、台湾における冬作エンドウ(11月~2月)には効果があるが、夏作エンドウ(8月~12月又は2月~5月)には効果がない(Lin, 1991)。
ウ 石灰窒素の施用(300kg/ha)で、本病発生を減少させる(Lin, 1991)。
エ 我が国の登録農薬情報(Famic, 2018)
(ア) 種子粉衣
① チウラム・チオファネートメチル水和剤: 豆類(種実及び未成熟(フザリウム・リゾクトニア菌による病害))
② ベノミル水和剤: 野菜類及び豆類(種実及び未成熟)(フザリウム菌による病害)
③ チウラム・ベノミル水和剤: 豆類(種実)及び野菜類(フザリウム・リゾクトニア菌による病害)
④ チウラム水和剤: 野菜類、豆類(種実)(フザリウム・リゾクトニア菌による病害(立枯病等))
(イ) 土壌くん蒸
クロルピクリンくん蒸剤(液剤、錠剤又はクロピクテープ): えんどう、さやえんどう、実えんどう(萎凋病)
(ウ) 土壌表面散布又は灌水
カーバムナトリウム塩液剤: さやえんどう、実えんどう(萎凋病)

(2) 耕種的防除法

- ア 抵抗性品種の活用(Dixon, 1981; CABI, 1998; Kraft and Pflieger, 2001)。
イ 輪作
台湾では、以下のとおり、水田との輪作等が、菌密度の低減に資する旨報告がある(CABI, 1998)。
(ア) 水田耕作による1作期間の灌水は、本菌の菌密度を効果的に低減した(Wang & Lin, 1985)。
(イ) 11月~2月に栽培される冬作エンドウほ場における本菌の race2 は、水稲2作との輪作(水稲-水稲-エンドウ)で(菌密度が)減少した(Lin, 1991)
ウ エンドウ以外の作物の植付けを推奨(愛知県, 2005; 北海道, 2017; 和歌山県, 2010)。
エ 露地に本菌の race2 が存在する場合、早期植え付け(Kraft and Pflieger, 2001)。
オ ほ場衛生: 前作物や生産資材の適切な処理、作業機械の洗浄(愛知県, 2005; 北海道, 2017; 和歌山県, 2010)
カ 直播き: 実験では、直播きすることにより発病を遅らせ、発病程度を低くする効果が確認され、定植による根痛みが病原菌の侵入を促進する可能性がある(吉田・間下, 2005)。
キ 病株の適切な処分(愛知県, 2005; 北海道, 2017; 和歌山県, 2010)

(3) 物理的防除法

- ア 太陽熱消毒(和歌山県, 2010)
和歌山県の本菌に関する平成21年度病害虫発生予察特殊報(第1号)の防除対策には、夏期に太陽熱土壌消毒を行うと記載されているが、具体的な消毒方法についての記載はない(和歌山県, 2010)。
(参考) 試験情報(和歌山県, 2018)
和歌山県内のビニルハウスの土壌に苗立枯症状を呈したエンドウから分離したフザリウム属を混和接種し、太陽熱土壌消毒(消毒期間 2015年8月7日~9月10日の35日間)を実施し、消毒前後の土壌中の供試菌の菌密度及び消毒期間中の地温を測定した結果、土壌消毒前の深さ5cm及び15cmの土壌1gあたりの菌数は930cfu(コロニー形成単位)及び110cfuであり、土壌消毒後はともに検出できなかった。

(4) 総合的防除法

- 臭化メチルによる土壌くん蒸と組み合わせた耕作(Brayford, 1996)

10 同定、診断及び検出

本菌を含む *Fusarium oxysporum* 種には宿主を異にする多くの分化型 (f. sp.) や非病原性 *oxysporum* 菌株が存在し、かつ、同種、同分化型内又は非病原性株内でも遺伝学的に多様との報告があり、本菌を含む植物病原性 *oxysporum* 種に係る診断等は、一部の分化型 (f. sp.) を除き、形態観察及び接種試験による宿主確認が主体とされている (Booth, 1971; Baayen, *et al.*, 2000; 平野ら, 2012)。

本菌については以下のとおり。

(1) 同定及び診断

培地上で、無色、無隔壁、紡錘形の小型分生子 (2.5-4 μm $\times$ 6-15 μm)、無色、多隔壁の分生子 (3.5-5.5 μm $\times$ 22-25 μm) 及び厚壁胞子を生じる (Dixon, 1981)。本菌は、形態により *oxysporum* 種と同定 (Booth, 1971; Gerlach and Nirenberg, 1982) できるが、分化型 (f. sp. *pisi*) の確認は、宿主植物であるエンドウ苗 (感受性品種) への接種試験 (病原性調査) を要する (農林水産省, 2018, Kraft and Pflieger, 2001)。なお、菌の分離から病原性確認までは、1か月前後要する (迫田ら, 2017; Kraft and Pflieger, 2001)。

(2) 検出

ア 本菌 (分化型 (f. sp. *pisi*)) に特異的な検出

現時点では、本菌 (分化型 (f. sp. *pisi*)) に特異的な血清学的診断法の報告はない。また、遺伝子診断法については、Gherbawy が PCR 法の一つ (RAPD (Random amplified polymorphic DNA)-PCR 法) で本菌 (分化型 (f. sp. *pisi*)) を検出できる旨の報告をしているが、2 菌株しか供試しておらず (Gherbawy, 1999)、本菌のすべての race (1、2、5 及び 6) を供試した旨の記載はない。

イ *oxysporum* 種に特異的な検出

Jimenez-Fernandez らは、*oxysporum* 種を特異的に検出できるとされる FOF1 及び FOR1 プライマー (Mishra, *et al.*, 2003) を用い、塩基の配列が 100% 相同性を有している株のみ PCR 法等により検出可能であるとしている (Jimenez-Fernandez, *et al.*, 2010) が、国際塩基配列データベース (DDBJ/EMBL/GenBank) 上には、本プライマー対と 100% の相同性を持たない *oxysporum* 菌株も存在し (下表参照)、必ずしも *oxysporum* 種が本プライマーで同種とされるか不明である。また、本菌 3 菌株を供試しそれぞれ検出に成功しているが、その菌株のレースは不明である。

さらに、Grajal-Martin は遺伝子解析法の一つである RAPD 解析の結果、本菌 (分化型 (f. sp. *pisi*)) のレース間及びレース内に遺伝的多様性があったことを報告している (Grajal-Martin, 1993)。

(表) FOF1 又は FOR1 プライマーの配列と 100% 相同性を持たない *F. oxysporum* 株

学名	菌株名	Acc.Number	配列相同性 (%)	
			FOF1	FOR1
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>Cubense</i>	A11	MF540560	90.0	95.2
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>vanillae</i>	FOV1	MG905419	90.0	95.2
<i>F. oxysporum</i>	VGFO14-28	MF688881	95.0	95.2
<i>F. oxysporum</i>	A709	KU529831	90.0	100
<i>F. oxysporum</i>	CIB_15	LN828191	100.0	95.2
<i>F. oxysporum</i>	1166	FR731133	100.0	95.2
<i>F. oxysporum</i>	OF8	KY007619	100.0	95.2
<i>F. oxysporum</i>	CBS130320	MH865887	100.0	95.2

よって、これらの手法では、*oxysporum* 種を幅広く特異的に検出できるか不明である。

(3) 種子検定手法

本菌に係る種子検定法の情報はなかった。

なお、エンドウ種子 (菌類に限る) 又は *Fusarium* 菌についての種子検定法 (プロッター法等での検定粒数) は、以下のとおり。

ア エンドウ種子

Ascochyta pisi, *Ascochyta pinodes* 及び *Ascochyta pinodella*: 400 粒/ロット (USDA NSHS, 2018, ISTA, 2018b)

イ *Fusarium* 菌

キュウリ種子:500 粒、トウモロコシ種子:400 粒(USDA NSHS, 2018)

マツ類種子:400 粒(ISTA, 2018b, FAO, 2017)

11 我が国における現行の植物検疫措置

本菌は植物防疫法施行規則(農林省, 1950)別表1に規定されている検疫有害植物であり、同施行規則別表1の2に規定されている国又は地域からの宿主植物の種子であって栽培の用に供するものは、その採種用の親植物について、本菌の発生が知られていないほ場で栽培され、生育後期に栽培地検査を行って本菌の発生がないことを確認し、その旨を検査証明書に追記することを要求している(農林水産省, 1998)。

12 諸外国での輸入検疫要件

本菌により輸入を規制(輸入禁止)している国はない。

リスクアナリシスの結果

第1 開始(ステージ1)

1. 開始

Fusarium oxysporum f. sp. *pisi* に対する検疫措置を見直すためにリスクアナリシスを実施した。

2. 対象となる有害動植物

Fusarium oxysporum f. sp. *pisi*

3. 対象となる経路

リスクアナリシス対象の病害虫の生物学的情報の「2 地理的分布」に示す「国又は地域(我が国を除く)」からの「3 宿主植物及び国内分布」に示す「宿主植物」であって、「4 感染部位及びその症状」に示す「感染部位」である「葉、茎、根、果実、種子、植物残渣」を含む植物

4. 対象となる地域

日本全域

5. 開始の結論

Fusarium oxysporum f. sp. *pisi* を開始点とし、本菌の発生地域から輸入される植物を経路とした日本全域を対象とする病害虫リスクアナリシスを開始する。

第2 病害虫リスク評価(ステージ2)

1. 農業生産等への影響の評価

(1) 定着の可能性

ア リスクアナリシスを実施する地域における潜在的検疫有害動植物の生存の可能性

(ア) 潜在的検疫有害動植物の生存の可能性

本菌は土壌伝染及び種子伝染すると考えられており、植物残渣上でも生存可能であることから、我が国で生活環を維持できると考える。

(イ) リスクアナリシスを実施する地域における中間宿主の利用可能性

中間宿主が必須との情報は得られていない。

(ウ) 潜在的検疫有害動植物の繁殖戦略。

本菌は有害植物であるため、評価基準より5点と評価した。

イ リスクアナリシスを実施する地域における寄主又は宿主植物の利用可能性及び環境の好適性

(ア) 寄主又は宿主植物の利用可能性及び環境の好適性

本菌の宿主のエンドウは 47 都道府県で栽培されており、評価基準より5点と評価した。

(イ) 潜在的検疫有害動植物の寄主又は宿主範囲の広さ

本菌が宿主とする植物の科は、マメ科のみが知られている。

(ウ) 有害動植物の侵入歴

旧北区、新北区、エチオピア区、東洋区、オセアニア区、オーストラリア区、南極区、新熱帯区の8区に分布する。よって、評価基準により5点と評価した。

ウ 定着の可能性の評価結果

評価した項目の平均から、定着の可能性の評価点は5点満点中の5点となった。

(2) まん延の可能性の評価

ア 自然分散(自然条件における潜在的検疫有害動植物の分散)

(ア) 有害植物の自然分散

a ベクター以外による伝搬

(a) 移動距離

本菌は胞子をつくり、風や水、種子で分散することが知られているため、評価基準より5点と評価した。

(b) 年間世代数

本菌は胞子で分散することが知られており、種子伝染、土壌伝染することから、複数の伝染環をもつと考えられ、評価基準より5点と評価した。

b ベクターによる伝搬

(a) ベクターの移動距離

本菌のベクターによる伝搬の情報はないことから、評価しない。

(b) ベクターによる媒介可能期間

本菌のベクターによる伝搬の情報はないことから、評価しない。

イ 人為分散

(ア) 農作物を介した分散

本菌の宿主植物であるエンドウは 47 都道府県で生産されており、評価基準より5点と評価した。

(イ) 非農作物を介した分散

土壌中に生息し、栽培に伴う汚染土壌の移動によって分散することが知られていることから、評価基準より5点と評価した。

ウ まん延の可能性の評価結果

評価した項目の平均から、まん延の可能性の評価点は5点満点中の5点となった。

(3) 経済的重要性の評価

ア 直接的影響

(ア) 影響を受ける農作物又は森林資源

本菌の宿主植物にはエンドウが含まれ、影響を受ける農作物の産出額の合計は 184 億円であることから、評価基準より1点と評価した。

(イ) 生産への影響

本菌の宿主植物であるエンドウは付録2に記載されており、感染ほ場の1～3%枯死させるなど、明確な経済的被害が報告されており、商品価値が失われている。よって評価基準より4点と評価した。

(ウ) 防除の困難さ

海外における公的防除の事例はない。

(エ) 直接的影響の評価結果

上記2項目の評価点の積は4点となり、評価基準より直接的影響の評価点は1点となった。

イ 間接的影響

(ア) 農作物の政策上の重要性

本菌の宿主であるエンドウは政策上重要とされている品目に該当しないことから評価しない。

(イ) 輸出への影響

本菌を対象として、宿主植物の輸入禁止等の制限を行っている国はないことから評価しない。

ウ 経済的重要性の評価結果

直接的影響の評価結果の得点と間接的影響の得点の和から、経済的重要性の評価点は1点となった。

評価における不確実性

特になし。

農業生産等への影響評価の結論(病虫害固有のリスク)

3項目の評価点の積は25点となり、本菌の農業生産等への影響の評価を「中程度」と結論付けた。

2. 入り込みの可能性の評価

項目	評価における判断の根拠等
(1) 感染部位	茎葉の萎凋や黄化、根の退色、莢、種子

(2) 我が国に侵入する可能性のある経路	侵入経路は〔栽植用植物〕、〔栽植用種子〕、〔消費生植物〕、〔消費穀類〕、〔消費乾燥植物類〕と特定される。しかし、通常、エンドウ苗を輸入して栽培することは考えがたく、輸入実績もないことから、「栽培用植物」入り込みの検討対象の経路から外した*。		
	用途	部位	経路となる可能性
	ア 栽植用植物	葉、茎、根	—*
	イ 栽植用種子	種子	○
	ウ 消費生植物	葉、茎、根、果実、種子	○
	エ 消費穀類	種子	○
	オ 消費乾燥植物類	葉、茎、根、種子、植物残渣	○
(3) 宿主植物の輸入データ	別紙3を参照		

(4) 入り込みの可能性の評価

ア 栽植用種子

(ア) 輸送中の生き残りの可能性(加工処理に耐えて生き残る可能性)

原産地で潜在的検疫有害動植物の生存率に影響を与える加工処理等は実施されていない。よって、評価基準より5点と評価した。

(イ) 潜在的検疫有害動植物の個体の見えにくさ

本菌は有害植物であり、評価基準より5点と評価した。

(ウ) 輸入品目からの人為的な移動による分散の可能性

栽培のために宿主植物が存在する地域へ運ばれるため、栽植用植物の評価基準より、5点と評価した。

(エ) 輸入品目からの自然分散の可能性

栽培用植物は評価基準より一律5点であることから、5点と評価した。

(オ) 評価における不確実性

特になし。

栽植用種子の入り込みの可能性の評価の結論

評価を行った項目の得点から平均値は5であり、本菌の栽植用種子を経路とした場合の入り込みの可能性の評価を「高い」と結論付けた。

イ 消費生植物

(ア) 輸送中の生き残りの可能性(加工処理に耐えて生き残る可能性)

原産地で潜在的検疫有害動植物の生存率に影響を与える加工処理等は実施されていない。よって、評価基準より5点と評価した。

(イ) 潜在的検疫有害動植物の個体の見えにくさ

本菌は有害植物であり、評価基準より有害植物はすべての経路で5点となることから、5点と評価した。

(ウ) 輸入品目からの人為的な移動による分散の可能性

本菌の宿主植物であるエンドウは47都道府県で栽培されており、消費生植物の評価基準より4点と評価した。

(エ) 輸入品目からの自然分散の可能性

本菌は風媒伝搬することから、消費生植物の評価基準より2点と評価した。

(オ) 評価における不確実性

特になし。

消費生植物の入り込みの可能性の評価の結論

評価を行った項目の得点から平均値は4であり、本菌の栽植用植物を経路とした場合の入り込みの可能性の評価を「中程度」と結論付けた。

ウ 消費穀類

(ア) 輸送中の生き残りの可能性(加工処理に耐えて生き残る可能性)

植物の用途は消費穀類であって、本菌は厚壁胞子をつくり 10 年以上土壤中で生存できることから、評価基準より5点と評価した。

(イ) 潜在的検疫有害動植物の個体の見えにくさ

本菌は有害植物であり、評価基準より5点と評価した。

(ウ) 輸入品目からの人為的な移動による分散の可能性

植物の用途は消費植物(穀類・豆類)であることから、評価基準より1点と評価した。

(エ) 輸入品目からの自然分散の可能性

本菌は風媒伝搬することから、消費植物の評価基準より2点と評価した。

(オ) 評価における不確実性

特になし。

消費穀類の入り込みの可能性の評価の結論

評価を行った項目の得点から平均値は3.3であり、本菌の消費穀類を経路とした場合の入り込みの可能性の評価を「中程度」と結論付けた。

エ 消費乾燥植物類

(ア) 輸送中の生き残りの可能性(加工処理に耐えて生き残る可能性)

植物の用途は消費乾燥植物類であって、本菌は厚壁胞子をつくり 10 年以上土壤中で生存できることから、評価基準より5点と評価した。

(イ) 潜在的検疫有害動植物の個体の見えにくさ

本菌は有害植物であり、評価基準より5点と評価した。

(ウ) 輸入品目からの人為的な移動による分散の可能性

本菌の宿主植物であるエンドウは 47 都道府県で栽培されており、消費植物の評価基準より4点と評価した。

(エ) 輸入品目からの自然分散の可能性

本菌は風媒伝搬することから、消費植物の評価基準より2点と評価した。

(オ) 評価における不確実性

特になし。

消費乾燥植物類の入り込みの可能性の評価の結論

評価を行った項目の得点から平均値は4であり、本菌の消費乾燥植物類を経路とした場合の入り込みの可能性の評価を「中程度」と結論付けた。

3. *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* の病害虫リスク評価の結論

農業生産等への影響評価の結論(病害虫固有のリスク)	入り込みのリスク		病害虫リスク評価の結論
	用途	入り込みの可能性の評価の結論	
中程度	ア 栽植用種子	高い	中程度(入り込みの可能性が高い)
	イ 消費生植物	中程度	低い
	ウ 消費穀類	中程度	低い
	エ 消費乾燥植物類	中程度	低い

第3 病害虫リスク管理（ステージ3）

リスク評価の結果、*Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* はリスク管理措置が必要な検疫有害植物であると判断されたことから、ステージ3において、発生国からの宿主植物の輸入に伴う本菌の入り込みリスクを低減するための適切な管理措置について検討する。

なお、上記リスク評価では、消費宿主植物が低いリスクながら経路となりうると結論されたが、諸外国で消費宿主植物を介して本病が定着、まん延した旨の情報や、これらの経路を規制対象としている国の情報が皆無であることから、消費植物類は、本報告書における管理措置検討の対象外とした。

1. *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* に対するリスク管理措置の選択肢の有効性及び実行可能性の検討

選択肢	方法	有効性及び実行可能性の検討	有効性及び実行可能性の難易		
			実施時期	有効性	実行上の難易
①病害虫無発生地域、生産地又は生産用地の設定及び維持	植物検疫措置に関する国際基準（以下、ISPM という。）4 又は 10 の規定に従って設定及び維持	<p>〔有効性〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ISPM に基づき輸出国の国家植物防疫機関が設定、管理、維持する病害虫無発生地域、生産地又は生産用地であれば、リスクを十分に低減することができる。 <p>〔実行可能性〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 輸出国において適切に管理されることが条件であるが、実行可能と考えられる。 	輸出国輸出前	○	○
②システムズ・アプローチ		複数の措置の組み合わせであるシステムズ・アプローチについての有効性及び実行可能性については、輸出国から具体的に提案される措置の内容を検討する必要がある。	輸出国輸出前	—	—
③栽培地検査（採種用親植物）	栽培期間中に生育場所において植物の病徴を観察する。	<p>〔有効性〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 採種用親植物の栽培期間中に病徴を明瞭に現す場合は有効である。 ● 本菌は、植物体の生育後期には黄化、立ち枯れ等の明確な症状を生じることから、栽培中の検査は有効である。 <p>〔実行可能性〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 輸出国において生育後期に栽培地検査を行って本菌の発生がないことを確認する等、適切な検査が行われることが条件であるが、実行可能と考えられる。 	輸出国栽培中	○	○
④消毒（種子）	化学的方法、物理的方法等による殺菌処理	<p>〔有効性〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 本菌に対する栽種用エンドウ種子の十分に効果のある薬剤は知られていない。 <p>〔実行可能性〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 適切に行われることが条件であるが、実行可能と考えられる。 	輸出国輸出前	×	○
			輸入国輸入時	×	○

⑤精密検定	菌の形態観察及び接種試験	<p>[有効性]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 本菌の種子検定法の情報は無い。 ● しかし、植物体又は種子から菌を分離・培養し、菌の培養性状及び形態を観察することにより <i>oxysporum</i> 種まで同定可能。また、エンドウ苗（感受性品種）への接種試験により病原性の確認及び分化型の特定が可能。 ● 血清学的手法や遺伝子診断法を用いて本菌（4 race すべて）を特異的に検出する方法は、現時点では知られていない。 ● また、一部の <i>oxysporum</i> 種に対して検出可能とされるプライマーを用いた PCR 法等が、本菌（4 race すべて）を含むすべての <i>oxysporum</i> 種を特異的に検出可能か不明である。 <p>[実行可能性]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 検定施設を有すること、検査に時間を要することが解消できれば実行可能である。 ● 本菌は病原性確認までに1か月前後要するが、実行可能である。 	<p>輸出国 輸出前</p> <p>輸入国 輸入時</p>	<p>○</p> <p>○</p>	<p>○</p> <p>○</p>
⑥荷口への当該有害動植物の付着がないことを検査証明書に追記	輸出国での綿密な目視による検査の結果、当該有害動植物の付着がないことを確認し、その旨を検査証明書に追記する。	<p>[有効性]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 輸出検査時に病徴を明瞭に現す場合は有効である。 ● しかし、種子は病徴等が報告されおらず、有効でない。 <p>[実行可能性]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 輸出国において適切な輸出検査が行われることが条件であるが、実行可能と考えられる。 	輸出国 輸出時	×	○
⑦輸出入検査（目視観察）	病徴等を観察する。	<p>[有効性]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 輸出入検査時に病徴を明瞭に現す場合は有効である。 ● しかし、種子は病徴等が報告されおらず、有効でない。 <p>[実行可能性]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 通常実施されている輸出入検査であり、十分実行可能である。 	<p>輸出国 輸出時</p> <p>輸入国 輸入時</p>	<p>×</p> <p>×</p>	<p>○</p> <p>○</p>

有効性

- : 効果が高い
- ▽: 限定条件下で効果がある
- ×: 効果なし
- : 検討しない

実行性

- : 実行可能
- ▽: 限定条件下で実行可能

×：実行困難
 ー：検討しない

2. 経路ごとの *Fusarium oxysporum* f. sp. *psii* に対するリスク管理措置の選択肢の有効性(上段)及び実行可能性(下段)一覧

経路ごとのリスク管理措置について検討した結果を下記のようにとりまとめた。

選択肢	①	②	③	④		⑤		⑥	⑦	
	病害虫無発生の地域、生産地又は生産用地の設定及び維持	システムズ・アプローチ	栽培地検査	消毒(種子)		精密検定(形態観察及び接種試験)		綿密検査及び検査証明書への追記	輸出入(目視)検査	
経路	輸出国	輸出国	輸出国	輸出国	輸入国	輸出国	輸入国	輸出国	輸出国	輸入国
栽植用種子	○	ー	○※1	×	×	○※2	○※3	×	×	×
	○	ー	○※1	○	○	○※2	○※3	○	○	○

※1:採種用親植物に対する措置

※2:採種用親植物又は種子に対する措置

※3:種子に対する措置

有効性 ○:効果が高い
 ▽:限定条件下で効果がある
 ×:効果なし
 ー:検討しない

実行性 ○:実行可能
 ▽:限定条件下で実行可能
 ×:実行困難
 ー:検討しない

3. 経路ごとの *Fusarium oxysporum* f. sp. *psii* に対するリスク管理措置の選択肢の特定

(1)栽植用種子

ア. リスク管理措置選択肢

(ア)病害虫無発生の地域、生産地又は生産用地の設定及び維持(選択肢①)。

(イ)採種用親植物に対する栽培地検査(選択肢③)

(ウ)精密検定(形態観察及び接種試験)(選択肢⑤)(輸出国での採種用親植物又は種子に対する、若しくは輸入国での種子に対する)

イ. 検討結果

輸出国の国家植物検疫機関が設定・管理・維持する病害虫無発生の地域、生産地又は生産用地の設定及び維持(選択肢①)を要求することは、十分なリスク低減効果があり実行可能であるが、貿易制限性が大きい。

採種用親植物に対する栽培地検査(選択肢③)については、植物体の生育後期には黄化、立ち枯れ等の明確な症状を生じることから、栽培中に生育の後期に実施する検査は有効である。

輸出国での採種用親植物又は種子に対する、若しくは輸入国での種子に対する精密検定(選択肢⑤)については、本菌を検出するための形態観察及び接種試験による検定法が確立されており、本法は有効であると考えられ

る。なお、血清学的手法や遺伝子診断法を用いて本菌(4 race すべて)を特異的に検出する方法は、現時点では知られていない。

なお、複数の措置の組み合わせであるシステムズ・アプローチ(選択肢②)についての有効性及び実行可能性については、具体的に提案される措置の内容を検討する必要がある。

ウ. 栽植用種子を経路とするリスク管理措置の選択肢の特定

- 輸出国のほ場(栽培施設を含む)で採種用親植物を栽培し生育後期に栽培地検査を行うこと。
又は、
- 輸出国(栽培国)で採種用の親植物について、病徴がある場合分離し、また、種子についてはブロッター法等で生じた菌の形態観察を行い、*oxysporum* 種が検出された場合接種試験による検定(病原性の確認及び分化型の特定)を行うこと。
又は、
- 輸入時に種子について、ブロッター法等で生じた菌の形態観察を行い、*oxysporum* 種が検出された場合接種試験による検定を行うこと。

なお、検定を行う場合は、国際種子検査協会が定める国際種子検査規程の抽出方法に準拠した方法で同一の荷口単位から無作為に抽出した規定の種子数について検定を行うこと。また、規定の種子数とは、通常ロットの場合(同一の荷口あたりの種子数が 4,000 粒以上)は、ロットあたり一律 400 粒、小ロットの場合(同一の荷口あたりの種子数が 4,000 粒未満)は、その種子数の 10%とする。

<<種子の検定を実施する場合の粒数の考え方について>>

ア. 検査用主試料の抽出方法

国際種子検査協会(International Seed Testing Association (ISTA))が定める国際種子検査規程(International Rules for Seed Testing)の抽出方法(ISTA Rules 2018 Chapter 2: Sampling) (ISTA, 2018a)に準拠した方法で同一の荷口単位から無作為に検査用の主試料を抽出し、その中から、以下の検定用試料として規定の数量を抽出する。

イ. 検定用試料の抽出方法

検定用試料については、ISTA の抽出方法に準拠した方法で、ISPM31「Methodologies for sampling of consignments」(FAO, 2016)を根拠とした、以下のポアソン分布に基づく抽出量の計算式(山村, 2011)に基づいた抽出理論による検定数量について抽出する(小ロットについては、下記(イ)参照)。

$$n = - \frac{\log_e(1-\beta)}{p}$$

- n : 抽出量
- β : 検出確率(信頼度)
- p : 限界不良植物率(不良率の上限)

本式では、病害虫の付いた植物を不良植物とし、不良植物率が p 以上の荷口が国内へ入ってくるリスクを、 n 個検査することにより、 $1 - \beta$ 以下に制御する。

(ア)通常ロットの種子検定対象の抽出量(n)の基本的な考え方

個々の病原体の具体的な種子検定粒数の根拠とできる技術的情報がない場合は、国際種子連盟(International Seed Federation (ISF)) (ISF, 2018)等の検定プロトコール等の国内外の検定方法の情報等を総合的に考慮し、種子検定のための抽出量(n)は、菌類については、限界不良植物率(=ロットにおいて検出しようとする最低感染種子率)(p)の暫定値として 0.01(=1%=荷口 100 粒/ロット中、感染種子 1 粒)、検出確率(β)は 99%を採用し、上記ポアソン分布の式を用いて、約 460 粒/ロット要することとする(うち 1 粒検出により不合格)。なお、検出確率 99%は、豪州も採用している(Australian Government, 2017)。

	検出確率(β)	限界不良植物率 (p) (暫定値)	抽出量(n)→検定用の主試料/ ロット当たり
菌類	99%	0.01	約 460 粒

<本菌についての検定用抽出量の検討詳細>

本菌の検定粒数や感染種子率に係る情報を記載した文献はない。一方、諸外国ではエンドウ種子や

Fusarium 菌に係る検定種子粒数は 400 粒/ロットを主に採用している (USDA/NSHS, 2018; ISTA, 2018b; FAO, 2017)。そのため、400 粒/ロットについて上記の基本的な考え方にに基づき検討を行った結果、限界不良植物率(p)がほぼ同等(0.0115)であり、種子伝染性菌類に対する検定粒数約 460 粒/ロットと比しても問題はないと考えるため、400 粒/ロットであっても種子が本菌に感染している場合、その種子を検出できる数量であるとする。

よって、本菌の場合の検定のための数量は、下記(イ)で示す同一の荷口あたりの種子数が少ない場合(小ロット)以外は、その同一の荷口あたりの種子数に関わりなく一律に約 400 粒/ロットとする。

なお、通常ロットの検定数である約 400 粒の重量の目安は以下の通り。

植物名	種子約 400 粒の重さ
エンドウ	144g

(イ) 小ロットの種子検定対象の抽出量の基本的な考え方

小ロット(同一の荷口あたりの種子数が少量の場合。例えば、規定の検定数量を確保する場合は困難な場合)の種子検定対象の抽出量については、次の考え方に基づくこととする。

なお、小ロットの範囲とは、上記(ア)で計算した抽出量(検定用試料)の値が、検出対象の同一の荷口あたりの種子の数量(検査荷口の大きさ(母集団))の 10%となるまでの値の範囲とする。

限界不良植物率(p)	小ロットの範囲
本菌(0.0115)	約 4,000 粒未満

よって、本菌の宿主植物の種子については、小ロットの場合、ロットあたりの数量が約 4,000 粒未満の場合、10%抽出することとする。

なお、小ロットの範囲の最大値である約 4,000 粒の重量の目安は以下の通り。

植物名	小ロットの範囲の最大値である種子約 4,000 粒の重さ
エンドウ	1.44kg

4. *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* のリスク管理措置の結論

経路ごとにリスク管理措置の選択肢を検討した結果、本菌の入り込みのリスクを低減させる効果があり、かつ必要以上に貿易制限的でない判断した各経路の管理措置を以下にとりまとめた。

用途・部位	対象植物	植物検疫措置
栽植用種子	<i>Pisum sativum</i> (エンドウ)	<p>○輸出国のほ場における採種用親植物の生育後期における栽培地検査 又は ○輸出国(栽培国)で採種用の親植物について、病徴がある場合分離し、また、種子についてはブロッター法等で生じた菌の形態観察を行い、<i>oxysporum</i> 種が検出された場合接種試験による検定(病原性の確認及び分化型の特定)を行うこと。 又は ○輸入時に種子について、ブロッター法等で生じた菌の形態観察を行い、<i>oxysporum</i> 種が検出された場合接種試験による検定を行うこと。</p> <p>なお、種子について検定する場合、国際種子検査協会が定める国際種子検査規程の抽出方法に準拠した方法で同一の荷口単位から無作為に抽出した 400 粒について、検定を実施する。</p>

Fusarium oxysporum f. sp. pisi の発生地の根拠

国	ステータス	根拠論文	備考
アジア			
インド	発生	CABI, 2018; USDA, 2018; Gupta and Thind, 2012; Richardson, 1990	
台湾	発生	CABI, 2018; Brayford, 1996; USDA, 2018; Gupta and Thind, 2012; Richardson, 1990	
中国	発生	CABI, 2018; USDA, 2018	
日本	発生、一部地域	Sakoda et al., 2019	
パキスタン	発生	Aslam et al., 2019; Calderón et al., 2023; Cornell University, 2023	追加
欧州			
アゼルバイジャン	発生	CABI, 2018	
アルメニア	発生	CABI, 2018	
イタリア	発生	CABI, 2018	
ウクライナ	発生	CABI, 2018	
ウズベキスタン	発生	CABI, 2018	
英国	発生	Brayford, 1996; Sherf and Macnab, 1986; Dixon, 1981; Gupta and Thind, 2012; Charrier and Cousin, 1972	
エストニア	発生	CABI, 2018	
オランダ	発生	Kraft and Pflieger, 2001; USDA, 2018; Gupta and Thind, 2012; Charrier and Cousin, 1972; Richardson, 1990; Gherbawy, 1999	
カザフスタン	発生	CABI, 2018	
キルギス	発生	CABI, 2018	
クロアチア	発生	Calderón et al., 2023; Cornell University, 2023; Ivić et al., 2009; Ivić, 2014	追加
ジョージア	発生	CABI, 2018	
スロバキア	発生	Kováčiková and Krátká, 1979	
タジキスタン	発生	CABI, 2018	
チェコ	発生	Kováčiková and Krátká, 1979	
デンマーク	発生	CABI, 2018; Brayford, 1996	
ドイツ	発生	USDA, 2018; Baćanović-Šišić et al., 2018; Gherbawy, 1999	
トルクメニスタン	発生	CABI, 2018	
ハンガリー	発生	CABI, 2018	
フランス	発生	Charrier and Cousin, 1972	
ベラルーシ	発生	CABI, 2018	
ベルギー	発生	Meyer et al, 1963	
ポーランド	発生	USDA, 2018; Gupta and Thind, 2012; Richardson, 1990; Czyżewska, 1984	

ポルトガル	発生	Bani et al., 2014; Calderón et al., 2023; Cornell University, 2023	追加
モルドバ	発生	CABI, 2018	
ラトビア	発生	CABI, 2018	
リトアニア	発生	CABI, 2018	
ルーマニア	発生	Gupta and Thind, 2012; Săvulescu, 1929	
ロシア	発生	CABI, 2018	
アフリカ			
アルジェリア	発生	Merzoug, 2015	
エジプト	発生	Calderón et al., 2023; Cornell University, 2023; El-Sharkawy et al., 2022	追加
モロッコ	発生	CABI, 2018	
北米			
アメリカ合衆国	発生	Kraft and Pflieger, 2001; Brayford, 1996; USDA, 2018; Sherf and Macnab, 1986; Dixon, 1981; Gupta and Thind, 2012; Charrier and Cousin, 1972	
カナダ	発生	CABI, 2018; Kraft and Pflieger, 2001; Brayford, 1996; USDA, 2018; Sherf and Macnab, 1986; Gupta and Thind, 2012	
中南米			
アルゼンチン	発生	Jauch, 1970	
コロンビア	発生	Calderón et al., 2023; Checa and Alpala, 2016; Cornell University, 2023; Osorio and Castaño, 2011	追加
ブラジル	発生	USDA, 2018; Embrapa, 2018	
大洋州			
オーストラリア	発生	USDA, 2018; Dixon, 1981; Gupta and Thind, 2012	
ニュージーランド	発生	Sherf and Macnab, 1986; Gupta and Thind, 2012; Charrier and Cousin, 1972;	
ハワイ諸島	発生	USDA, 2018; Raabe et al., 1981	

注)備考欄の「追加」は、文献情報等に基づき令和6(2024)年2月19日改訂時に追加した国

***Fusarium oxysporum* f. sp. *pisii* の宿主植物の根拠**

学名	科	属名	和名	英名	根拠	備考
<i>Pisum sativum</i>	マメ科	エンドウ属	エンドウ	pea	CABI, 2018; Brayford, 1996; USDA, 2018; Jauch, 1970; Kováčiková and Krátká, 1979; Embrapa, 2018; Baćanović-Šišić et al., 2018; Săvulescu, 1929; Charrier and Cousin, 1972; Gherbawy, 1999; Czyżewska, 1984	

関連する経路の年間輸入量

(1) 栽植用種子

単位(数量):kg

植物名	生産国	発 生 国	2020		2021		2022	
			件数	数量	件数	数量	件数	数量
Pisum sativum(エンドウ)	イタリア	○	6	1,935	3	3,218	2	1,419
	カタール	×	1	1				
	コロンビア	○					1	1
	シンガポール	×					1	1
	スイス	×	3	3				
	スウェーデン	×	1	3				
	スペイン	×	1	1			1	1
	スリランカ	×					2	2
	タイ	×	19	7,473	12	1,596	16	2,094
	チリ	×					3	3
	ドイツ	○	4	4	1	1	3	21,046
	トルコ	×	1	1				
	ニュージールランド	○	1	2,789			1	5,000
	ネパール	×			1	1	4	6
	パキスタン	○			1	1		
	バングラデシュ	×			1	1	6	6
	フィリピン	×					1	1
	フランス	○	1	3,290	1	1,989	4	3,109
	ベトナム	×			5	5	10	10
	ポーランド	○					1	1
ミャンマー	×	3	3					
英国	○	1	1					
台湾	○			1	1			
中国	○	66	25,416	73	36,109	95	52,422	
米国	○	75	144,558	59	208,111	27	50,724	

引用文献

- 愛知県 (2005) 知ってとくとくエンドウ萎凋病の被害と防除 (online), available from <<https://www.pref.aichi.jp/byogaichu/tirasi/endou17.3.pdf>> (accessed 2018-09-19)
- Australian Government Department of Agriculture and Water Resources (2017) Final pest risk analysis for *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV). (online), available from <<http://www.agriculture.gov.au/SiteCollectionDocuments/biosecurity/risk-analysis/plant-reviews/final-pest-risk-analysis-cgmmv.pdf>>, (accessed 2018_12_04)
- Aslam, S., M. U. Ghazanfar, N. Munir and M. I. Hamid (2019) Managing *Fusarium* wilt of pea by utilizing different application methods of fungicides. *Pakistan Journal of Phytopathology* 31: 81-88.
- Baćanović-Šišić, J., A. Šišić, J. H. Schmidt and M. R. Finckh. (2018) Identification and characterization of pathogens associated with root rot of winter peas grown under organic management in Germany. *European Journal of Plant Pathology*, 151(3), 745-755. (abstract)
- Baayen, R.P., O'Donnell, K., Bonants, P.J.M., Cigelnik, E., Kroon, L.P.N.M., Roebroeck, E.J.A. and Waalwijk, C. (2000) Gene genealogies and AFLP analyses in the *Fusarium oxysporum* complex identify monophyletic and nonmonophyletic formae speciales causing wilt and rot disease. *Phytopathology* 90: 891-900. (online), available from <<https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO.2000.90.8.891>>, (accessed 2018_12_04)
- Bani, M., N. Rispaal, A. Evidente, D. Rubiales and A. Cimmino (2014) Identification of the main toxins isolated from *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* Race 2 and their relation with isolates pathogenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62: 2574-2580.
- Booth, C. (1971) The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, UK, 237 pp.
- Brayford, D. (1996) IMI descriptions of fungi and bacteria No.1269. set 127. *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. *Mycopathologia*, 133(1), 35-63.
- CABI (1998) *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. IMI Descriptions of Fungi and Bacteria No. 1269. (online), available from <<https://www.cabi.org/dfb/FullTextPDF/2005/20056401269.pdf>>, (accessed 2018-09-11).
- CABI (2018) *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (*Fusarium* wilt of pea). Crop protection Compendium. (online), available from <<https://www.cabi.org/cpc/datasheet/24680>>, (last modified 28 March 2018).
- Calderón, R., J. A. Eller, H. K. Brodsky, A. D. Miles, S. G. Crandall, N. Mahowald, R. Pavlick and K. M. Gold (2023) An interactive, online web map resource of global *Fusarium oxysporum* ff. spp. diversity and distribution. *Plant Disease* 107: 538-541.
- Charrier, A. and R. Cousin. (1972) La fusariose du pois: Comportement des varietes de pois inscrites au Catalogue officiel francais vis-a-vis d'une souche de *Fusarium oxysporum* f. *pisi* (Van Hall) Snyder et Hansen. *Ann Amelior Plantes*. 22(3), 281-299.
- Checa, O. and F. Alpala (2016) Reacción de 18 líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) a tres cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* en Nariño, Colombia (English title: Reaction of 18 climbing lines of pea (*Pisum sativum* L.) to three strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* in Nariño, Colombia). *Temas Agrarios* 21: 28-43.
- Cornell University (2023) *Fusarium oxysporum* webmap. (online), available from <<https://blogs.cornell.edu/goldlab/fusarium-oxysporum-webmap/>>, (Accessed 2023-04-28).
- Czyżewska, S. (1984) *Fusarium* species pathogenic to pea (*Pisum sativum* L.). I. Occurrence of *Fusarium* diseases of pea (*Pisum sativum* L.) in Poland. *Biuletyn warzywniczy*. 27. 341-37.
- Dixon, G. R. (1981) Vegetable crop diseases. The AVI Publishing Company, INC.
- El-Sharkawy, H. H. A., Y. M. Rashad and N. T. Elazab (2022) Synergism between *Streptomyces viridosporus* HH1 and *Rhizophagus irregularis* effectively induces defense responses to *Fusarium* wilt of pea and improves plant growth and yield. *Journal of Fungi* 8: 683.
- Embrapa. (2018) Banco de Dados.Fungos Relatados em Plantas no Brasil. *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. (online), available from <<http://pragawall.cenargen.embrapa.br/aiqweb/michtml/fichafg.asp?id=1526>>, (accessed 2018-08-29)
- FAMIC (2018) 農薬登録情報提供システム. (online), available from <<http://www.acis.famic.go.jp/search/vtllp301.jsp>>, (accessed 2018-10-22)
- FAO (2016) ISPM 31 Methodologies for sampling of consignments. (online), available from <<https://www.ippc.int/en/publications/588/>>, (accessed 2018_08_29)
- FAO (2017) ISPM 27 Diagnostic protocols for regulated pests, DP 22: *Fusarium circinatum*. (online), available from <<https://www.ippc.int/en/publications/84182/>>, (accessed 2018_12_04)
- Gerlach, W. and H. Nirenberg (1982) The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas. 406 pp.
- Gherbawy, Y. A. (1999) RAPD profile analysis of isolates belonging to different formae speciales of *Fusarium oxysporum*. *Cytologia*, 64(3), 269-276. (online), available from <https://www.jstage.jst.go.jp/article/cytologia1929/64/3/64_3_269/_article>, (accessed 2018_12_03)
- Grajal-Martin M. J. (1993). Use of Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) to Characterize Race 2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. *Phytopathology* 83:612-614. (online), available from <https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1993Articles/Phyto83n06_612.PDF>, (accessed 2018_12_04)

- Gupta, S.K. and T.S., Thind. (2012) Disease Problems In Vegetable Production. Scientific Publishers (india).
 平野泰志・有江力(2012) トマトに病原性を持つ *Fusarium oxysporum* の分化型およびレースの PCR 法による識別. 植物防疫 66(5), 281-287. (Online), available from
 <http://www.jpqa.or.jp/shiryokan/pdf/66_05_35.pdf>, (accessed 2018_12_04)
- 北海道(2017) 平成 28 年度病害虫発生予察情報第 16 号 特殊報第 1 号 エンドウ萎ちょう病の発生について (Online), available from <http://www.agri.hro.or.jp/boujoshou/yosatsu_kako/h28/yosatsu-h28-pdf/h28-16-tokusyuhou1.pdf> (accessed 2018-09-19)
- ISF (2018) ISHI-Veg Protocols. (online), available from
 <<http://www.worldseed.org/our-work/phytosanitary-matters/seed-health/ishi-veg-protocols/>>, (accessed 2018_11_27)
- ISTA (2018a) ISTA Rules 2018 Chapter 2: Sampling. (online), available from
 <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/ISTA_Rules_2018_02_sampling_updated20171214.pdf>, (accessed 2018_11_27)
- ISTA (2018b) Seed Health Methods 2019. (Online), available from
 <https://www.seedtest.org/en/seed-health-methods-_content---1--1452.html>, (accessed 2018_12_04)
- Ivić, D. (2014) Pathogenicity and potential toxigenicity of seed-borne *Fusarium* species on soybean and pea. Journal of Plant Pathology 96: 541-551.
- Ivić D., A. M. Domijan, M. Peraica, T. Milicevic and B. Cvjetkovic (2009) *Fusarium* spp. contamination of wheat, maize, soybean and pea in Croatia. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology 60: 435-442.
- Jauch, C. (1970) Physiological and histological changes in Pea plants attacked by *F. of sp. pisi*. *Revista de la Facultad de Agronomia y Veterinaria, Universidad de Buenos Aires*, 18(1). (abstract)
- Jimenez-Fernandez, D., Montes-Borrego, Miguel, Navas-Cortes, J. A., Jimenez-Diaz, R.M. and Landa, B.B. (2010) Identification and quantification of *Fusarium oxysporum* in planta and soil by means of an improved specific and quantitative PCR assay. *Applied Soil Ecology* 46 (2010) 372-382. (online), available from
 <http://www.ias.csic.es/rmjimenez/docs/articulos/120_Jimenez_Fdez_et_al_2010_Quantifying_Fo_in_planta_and_soil.pdf>, (accessed 2018_12_03)
- 国際塩基配列データベース(DDBJ/EMBL/GenBank) (2018) (online), available from
 <<http://getentry.ddbj.nig.ac.jp/>>, (accessed 2018_12_03)
- Kováčiková, E. and J. Krátká. (1979) Different manifestations of the pathogenicity of some strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. *Zentralbl Bakteriologie Naturwiss*, 134(2), 159-166. (abstract)
- Kraft, J. M. (1994). *Fusarium* wilt of peas (a review). *Agronomie*. 13:561-567.
- Kraft, J. M. and F. L. Pflieger. (2001) Compendium of pea diseases and pests (No. Ed. 2). American Phytopathological Society (APS Press).
- Lin Y. S. (1991) The occurrence of pea wilt and its control in Taiwan. *Plant Protection Bulletin (Taipei)* (1991) 33 (1) 36-44 (abstract)
- 松崎聖史・本蔵洋一・迫田琢也・深谷雅博(2003) 愛知県における *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* によるエンドウ萎凋病(新称)の発生. *日本植物病理学会報* 69: 274-275
- Merzoug, A., L. Belabid and F. Benfreha. (2015) Distribution of physiological races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* in western Algeria. In *11e Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes, Tours, France, 7 au 9 décembre 2015*. Association Française de Protection des Plantes (AFPP).47-55.
- Meyer, J. A., J. Niclaes and M. Lavalleye. (1963) La flétrissure des pois en Belgique due a *F. oxysporum* f. *pisi* (LINDF.) SNYDER et HANSEN. *Mededelingen van Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat de Gent*, 28(3), 832-838.
- Mishra, P.K., Fox, R.T.V. and Culham, A. (2003) Development of a PCR-based assay for rapid and reliable identification of pathogenic *Fusaria*. *FEMS Microbiol. Lett.* 218, 329-332. (online), available from
 <<https://academic.oup.com/femsle/article/218/2/329/531537>>, (accessed 2018_12_03)
- 日本植物病理学会編(1995) 植物病理学事典. 養賢堂. 東京 日本: 1,220pp
- 農林省 (1950) 植物防疫法施行規則(昭和 25 年農林省令第 73 号).
- 農林水産省 (1998) 輸出国における検疫措置を必要とする植物に係る輸入検疫実施要領(平成 10 年 3 月 30 日 付け 10 農産第 2122 号農産園芸局長通達).
- 農林水産省(2018) 我が国が特に侵入を警戒している病害虫の特徴 エンドウ萎ちょう病菌 (online), available from <http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kaigai/pdf/01endo.pdf>(accessed 2018-09-11)
- Osorio, L. A. G. and J. Z. Castaño(2011) Caracterización del agente causante de la pudrición de raíces de la arveja (*Pisum sativum* Linneo), enfermedad endémica en el municipio de Manizales-Caldas (Colombia). *Agronomica* 19: 33-43.
- Raabe, R.D., I. L. Connors and A. P. Martinez. (1981) Checklist of plant diseases in Hawaii, including records of microorganisms, principally fungi, found in the State. Hawaii institute of Tropical Agriculture and Human Resources. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. Information Text Series No. 022. Agric. Human Resources.
- Richardson, M. J. (1990) An Annotated List of Seed-Borne Diseases. Fourth Edition. International Seed Testing Association, Zurich.

- 迫田琢也・小牟田健慈・藤原裕治(2017)水耕栽培によるエンドウ萎凋病菌の迅速・簡易な接種方法(水耕接種法)の検討. 日本植物病理学会報 84; 44.(講演要旨).
- Sakoda T., K. Komuta and Y. Fujiwara (2019) The Pathogenic Variability among Japanese Isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lisi* to Japanese Commercial Pea Cultivars. Research bulletin of the Plant Protection Service Japan 55: 37-41
- Săvulescu, T. (1929) Phytopathological notes for the year 1928 in Rumania. Rev. Path. Veg. et Ent. Agric. xvi, 1, 26-28. (abstractのみ)
- Sherf, A. F. and A. A. Macnab. (1986) *Vegetable diseases and their control*. John Wiley & Sons.
- The Clorox Company (2018). (online), available from < https://www.clorox.com/clorox-coupons/?doLogin=1&redirect_to%2Fclorox-coupon-portal%2F > (accessed 2018-10-22)
- USDA (2018) Fungal Databases. (online), available from < <https://nt.ars-grin.gov/fungalDATABASES/> >, (accessed, August 21, 2018.) Updated on Mar 14, 2014.
- USDA NSHS (2018) Seed Health Testing Methods. (online), available from < <http://seedhealth.org/http-seedhealth-org-seed-health-testing-methods/> >, (accessed 2018_12_04)
- 和歌山県(2010)平成21年度病害虫発生予察特殊報(第1号)(online), available from < https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070300/071400/yosatsujyouhoukako_d/fil/tokusyu-h21-no01.pdf > (accessed 2018-09-19)
- 和歌山県(2018)太陽熱土壤消毒時における土壤水分、地温の積算時間と殺菌効果の関係 (online), available from < https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070109/gaiyou/001/nougyoushikenjyou/noushinews/noushinews127_d/fil/dojyoushoudoku.pdf > (accessed 2018-10-29)
- Wang, P. H. and Y. S. Lin (1985) Ecology of pea wilt and root rot pathogens in drained paddy field. Plant Protection Bulletin, Taiwan (1985) 27. (4) 317-324 (abstract)
- 山村光司(2011)農学と統計学. 計量生物学 Vol. 32, Special Issue, S 19-S 34. (online), available from < https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjb/32/Special_Issue/32_Special_Issue_S19/_pdf/-char/ja >, (accessed 2018_08_29)
- 吉田桂子・間下なぎさ.(2005). エンドウ萎凋病の発病条件と防除対策. 愛知県農業総合試験場研究報告, (37), 105-110.