

クワイ連作障害の原因解明と防除対策

清水佐知子・延平光雄*・川上浩之**

キーワード：クワイ，赤枯症，*Fusarium* 属菌，耕種的防除，種球消毒

広島県におけるクワイ栽培は，福山地域で明治後半から行われており，その生産量は1995年に日本一になるなど，本県の重要な地域特産物となっている。しかしながら，市街地を中心とした限られた圃場での長年の連作により，近年，株の枯死，塊茎の腐敗といった連作障害が発生し問題となっている。この障害は，植付け後の7月頃から発生し，初期症状は外葉の黄化や紅葉状の症状を呈する。さらに症状が激しくなると，株の枯死に至る。また，収穫時には，塊茎が軟化腐敗し，全収量の約5%が廃棄処分となり，大きな減収要因となっている。しかしながら，本症状の原因は不明であり，その防除対策は確立されていない。

海外で発生しているクワイの病害については，中国のクワイ (*Sagittaria trifolia* L. var. *sinensis* Makino) で，*Sclerotium hydrophilum* (Li, Q. X. and Wang, L. R. 1985)，および *Cylindrocarpon chiayiense* (Tsay, J. G. and Yung, B. K. 1992) が報告されている。一方，国内におけるクワイ (*S. trifolia* L. var. *edulis* Ohwi) の病害としては，*Marssonina* sp. による葉枯病 (安ら 1959, 笹野 1961)，*Cercospora sagittariae* による斑紋病 (村田 1916)，*Doassansia horiana* による火ぶくれ病 (西門 1937, 我孫子・折原 1994)，*Cylindrocarpon destructans* による乾腐病 (西門・宮脇 1943)，*Pythium myriotylum* による茎腐病 (善林ら 1984, 1985)，および *Fusarium* sp., *Pythium paroecandrum* による赤枯症 (田中ら 1983, 嘉儀ら 1983) が報告されている。

そこで，福山市で発生しているクワイ連作障害の原因について，これら病害の可能性も含めた病原菌の調査，および防除対策の検討を行った。

本報は，1997年からの4年間，および2005年に，福山市園芸センター，JA 福山市川口支店，(旧)油木地域農

業改良普及センター福山支所，(旧)病害虫防除所 福山支所，(旧)農業技術センター専門技術員室と共に，生産現場直結型研究課題等で取り組んだ調査結果についてまとめたものである。

材料および方法

1. 福山市のクワイ連作障害の原因調査

1) 枯死株の発生推移および病原菌の分離

1998年9月，および1999年7～12月に，福山市クワイ栽培圃場で，本障害の発生推移と発病株の被害程度を確認した。また，現地調査で採集した株，および現地で採集された発病株の葉，葉柄，ランナー，およびクラウンから症状別に糸状菌と細菌の分離を行った。糸状菌については，腐敗部と健全部の境界部分3mm角を切り出し，この切片を1%次亜塩素酸ナトリウム溶液に3分浸漬，滅菌水で3回洗浄した後，ストレプトマイシン100ppm加用PDA平板培地に静置した。25℃で7～10日培養した後，生育してきた菌糸を単菌糸分離した。分離された糸状菌は，顕微鏡下で孢子や菌糸の形態を観察し，分類群を決定した。細菌については，上記と同様に表面殺菌した切片を，滅菌水を入れたマイクロチューブ内で細かく切断し，抽出物懸濁液を Kings'B 培地に塗抹後，25℃で5日培養して生育してきたコロニーを単分離した。

発病株から分離した糸状菌および細菌の各菌株については，クワイ塊茎へ接種し，病原性を調査した。すなわち，1%次亜塩素酸ナトリウム溶液で表面殺菌したクワイ塊茎を厚さ8mmに切断後，湿度100%に保ったバットに並べ，切断面にPDA培地で培養した糸状菌の含菌糸ディスクを静置した。25℃で10日間培養した後，菌の生育，組織の腐敗程度を調査した。細菌については，上記のクワイ切断面に， 10^8 cfu/mlに調整した細菌懸濁液を針傷接種し，同様条件で培養後，組織の腐敗程度を調査した。

* 福山市園芸センター

** 西部農業技術指導所

2) 塊茎腐敗の原因菌

1997年12月、1998年11月、および1999年12月に、福山市クワイ栽培圃場で採集した株、および現地で採集された株の腐敗塊茎から症状別に糸状菌と細菌を分離し、それらの病原性調査を行った。菌の分離、および病原性調査は、1-1)と同様の方法で行った。

2. クワイ赤枯症の防除対策

1) 耕種的防除法の検討

(1) 深耕がクワイ赤枯症の発生におよぼす影響

1999年に福山市川口町の連作20年以上のクワイ栽培圃場において、深耕処理がクワイ赤枯症の発生や土壤中 *Fusarium* 菌密度の推移に及ぼす影響を調査した。深耕区は1999年5月28日にスコップで地表から深さ30cmまでをていねいに耕起した後、トラクターで地表から深さ15cmまでを耕起した。慣行区はトラクターでの地表から深さ15cmまでの耕起のみを行った。各区は試験期間を通して水の出入り口以外は波板で仕切った。試験規模は、1区6.6m²、27株で、1反復とした。

1999年6月22日にクワイを植付け、約1カ月毎にクワイの発病程度を下記の基準にしたがって全株調査し、発病株率と発病度を算出した。また、11月8日の収穫時には、塊茎の腐敗、収量について調査した。

発病程度0：健全

- 1：数枚の葉が黄化・枯死
- 2：株の半分の葉が黄化・枯死
- 3：ほとんどの葉が黄化・枯死
- 4：株の枯死・欠株

発病度 = Σ (発病程度 × 該当株数) / (4 × 調査株数) × 100

また、発病調査時に1区5カ所から地表下5～15cmの土壌を採取して混ぜ合わせ、駒田培地 (Komada, 1975) を用いた希釈平板法により乾土1gあたりの *Fusarium* 菌密度を計数した。

(2) 湛水処理がクワイ赤枯症の発生におよぼす影響

2000年に農業技術センターガラス温室 (東広島市八本松町原) において、ポット試験により、湛水処理がクワイ赤枯症の発生および土壤中 *Fusarium* 菌数の推移に及ぼす影響を調査した。ワグネルポット (1/5000a) に、*Fusarium* 菌密度が約10⁴cfu/g 乾土の福山市川口町の汚染圃場土壌をポットの高さ七分目まで充填した。湛水処理区は、2000年3月16日～7月7日の113日間、水深が1cm以上になるように湛水状態で管理し、2000年7月7日にクワイを1株植付けた。無処理区は、春期の現地圃場を想定して、土が乾かない程度に適宜灌水し、2000年7月7日にクワイを1株植付けた。定植後から掘り取り調査日の12

月12日までの栽培期間中は、いずれの区も湛水状態に保つ水管理を行った。試験規模は、1区1株1ポットで、4反復とした。

クワイの赤枯症の調査は、株の全葉について、下記の基準で程度別枯死葉数を調査し、株の枯死度を算出した。また、2000年12月12日に塊茎を掘り取り、腐敗、収量について調査した。

葉の枯死程度0：健全

- 1：黄化
- 2：枯死

枯死度 = Σ (枯死程度 × 該当葉数) / (2 × 全葉数) × 100

また、湛水処理中、および栽培期間中に、1ポット当たり3カ所から地表下5～15cmの土壌を採取して混ぜ合わせ、駒田培地を用いた希釈平板法により土壤中 *Fusarium* 菌密度の推移を調査した。

(3) クワイ収穫残渣の鋤き込みがクワイ赤枯症の発生におよぼす影響

2000年に福山市園芸センター屋外 (福山市金江町藁江) において、コンテナ試験により、クワイの収穫残渣の鋤き込みがクワイ赤枯症の発生および土壤中 *Fusarium* 菌数に及ぼす影響を調査した。プラスチックコンテナ (60cm × 40cm × 30cm) にクワイ栽培暦のない畑地の土壌約50lを充填した。2000年3月21日にクワイの収穫残渣鋤き込み区は、クワイ収穫残渣2.5kg (約5株分) をスコップで切り混ぜながら土壌に混和した。滅菌残渣鋤き込み区は、同量の残渣を121℃で20分間オートクレーブ滅菌した後、プラスチックコンテナの土壌に同様に混和した。無処理区は何も混和しなかった。その後、コンテナは試験期間を通して屋外に放置した。試験規模は、1区2株1コンテナで、2反復とした。

2000年7月10日にコンテナ1個当たりクワイ2株を植付け、株の全葉について、2-1)-(2) 湛水試験の調査基準で程度別枯死葉数を調査し、株の枯死度を算出した。また、2000年12月13日の収穫時には、塊茎の腐敗、収量について調査した。なお、栽培期間中はいずれの区も湛水状態で水管理した。

また、残渣鋤き込み直後と58日後、94日後の3回、および栽培期間中に、1コンテナ当たり3カ所から地表下5～15cmの土壌を採取し、駒田培地を用いた希釈平板法により土壤中 *Fusarium* 菌密度の推移を調査した。

2) 薬剤による種球消毒法の検討

(1) 植付け前の種球消毒

1999年に福山市川口町の深耕試験と同じクワイ栽培圃場において、種用根茎 (以下、種球) の植付け前の消毒がクワイ赤枯症の発生や土壤中 *Fusarium* 菌密度の推移

に及ぼす影響を調査した。植付け時の1999年6月22日に、ベノミル水和剤（ベノミル50.0%）を種球重の0.5%相当量を粉衣し、直ちに植付けた。無処理区は、薬剤粉衣をせずに種球を植付けた。各区は試験期間を通して水の出入り口以外は波板で仕切った。試験規模は、1区6.6m²、27株で、1反復とした。

クワイの植付け後から、約1カ月毎にクワイの発病程度を2-1)-(1) 深耕試験の基準にしたがって全株調査し、発病株率と発病度を算出した。また、1999年11月8日の収穫時には、塊茎の腐敗・収量について調査した。

(2) 冷蔵貯蔵前の種球消毒

2004年の冬に、福山市新涯町および山手町のクワイ栽培圃場から採取した種球を用いて、冷蔵貯蔵前の種球消毒試験を行った。冷蔵開始時の2005年1月5日に、チウラム・ベノミル水和剤20（チウラム20.0%、ベノミル20.0%）の300倍液に30分間種球を浸漬し、軽く葉液を切った後、ビニール袋に入れて密封し、産地で使用している0~5℃の冷蔵施設で貯蔵した。無処理区は、水道水に30分浸漬し、同様に貯蔵した。貯蔵5カ月後の2005年6月17日に冷蔵施設から取り出し、種球の腐敗状況を調査した。試験規模は、1処理あたり100球とし、3反復行った。

また、2005年6月17日~7月1日まで、溜め水にそれぞれの種球を入れて、室温で浸種・出芽処理を行った。2005年7月1日に本田へ植付け、植付け時の出芽状況を調査した。また、その33日後の2005年8月3日に、生育程度、葉先枯れ等の葉害の有無を調査した。葉害試験の規模は、1区20株の1反復とした。

結果および考察

1. 福山市のクワイ連作障害の原因調査

1) 枯死株の発生推移および病原菌の分離

1999年の枯死株の発生は、植付け約1カ月後の7月下旬頃から認められ、その後も12月までの栽培期間中に発生をみた。症状は、はじめ株の外葉2~3枚が黄色~紅色に変色し、やがて株全体が枯死に至った（写真1）。初期症状株のクラウン部分を切断すると、根の付け根などの維管束部分が褐変しており、さらに葉柄の維管束が地際から上部15cmまで褐変しているものもあった（写真2）。根は、激しく褐変・腐敗していた。初期症状株のクラウンや葉柄の維管束褐変部位からは、12株中11株からと高頻度に *Fusarium* sp.（写真7）が分離された。これらを塊茎に接種すると、組織内部への侵入・腐敗が認められ、強い病原性が示された（表1、写真5）。

1999年10月頃から、枯死株のなかにランナーやクラウ

ンの表面が黒変しているものが見られるようになった。これらの黒変部分からは、糸状菌1が分離された。これらを塊茎に接種すると、接種面を褐変させたが、組織内部への侵入・腐敗は認めなかった。

また、同時期の1999年10月頃から、葉および葉柄にごま葉枯れ状の褐色病斑が多数発生した。これらの病斑部からは *Marssonina* sp. が分離された。本分離菌は、塊茎接種で接種面を褐変させたが、組織内部への侵入・腐敗は認めなかった。本菌の分生子の形態は、2細胞、まれに単細胞で、大きさ14-18×3-4 μm、長楕円形の無色であった。これは、吉野・安（1974）や笹野（1961）が報告しているクワイ葉枯病菌の形態（7.2-17.9×2.1-3.7 μm、9.9-21.5×2.6-3.3 μm）とほぼ一致しており、葉および葉柄の褐色病斑は葉枯病と考えられた。

一方、ランナーやクラウンの表面黒変部分から分離された糸状菌1の分生子の形態は、単細胞、まれに2細胞で、大きさ5-18×3-5 μm、卵円形~長楕円形の無色であった。本菌を塊茎に接種した時の症状は、葉から分離した葉枯病菌と同じであったが、分生子の形態が異なることから、ここでは糸状菌1とし、その分類群については今後の検討としたい。

また、植付け直後の1999年7月から12月の栽培期間をとおして、葉および葉柄に火ぶくれ病の発生があった。

2) 塊茎腐敗の原因菌

悪臭をともなう軟腐部分（写真3）からは、*Fusarium* sp., *Pythium* sp., および細菌が分離された。このうち *Fusarium* sp. と一部の *Pythium* sp. が塊茎腐敗をおこし、強い病原性を示した（表2）。

塊茎側面の褐変部分からは *Fusarium* sp. と糸状菌1が分離され、*Fusarium* sp. は塊茎腐敗を、糸状菌1は塊茎接種面を褐変させたが、組織内部への侵入・腐敗はおこさなかった。

塊茎底部の黒変部分（写真4）からは糸状菌1（写真8）が分離され、塊茎接種面を褐変させたが、組織内部への侵入・腐敗はおこさなかった（写真6）。

塊茎側面の褐変部分や底部の黒変部分から分離された糸状菌1の分生子の形態は、単細胞、まれに2細胞で、大きさ6-12×3-5 μm、卵円形~長楕円形の無色であり、ランナーやクラウンの表面黒変部分から分離された糸状菌1とほぼ同形態であり、同種と考えられた。

また、塊茎表面の直径5~10cmの半球型に盛り上がった腫瘍状病斑（コブ）を呈するものがあった。このコブの表皮下には多くの黒褐色の小粒が認められ、大きさが直径約150 μmであった。これは、我孫子・折原（1994）が報告している、福山市のクワイで調査した火ぶくれ病



写真1 福山市クワイ栽培圃場における赤枯れ症状

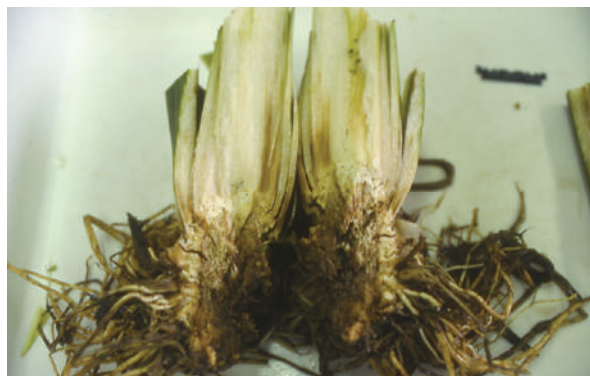


写真2 赤枯れ症状株の切断面。クラウンの腐敗や維管束の褐変が見られる。



写真3 塊茎の健全（左）と軟化腐敗（右）



写真4 塊茎の底部黒変

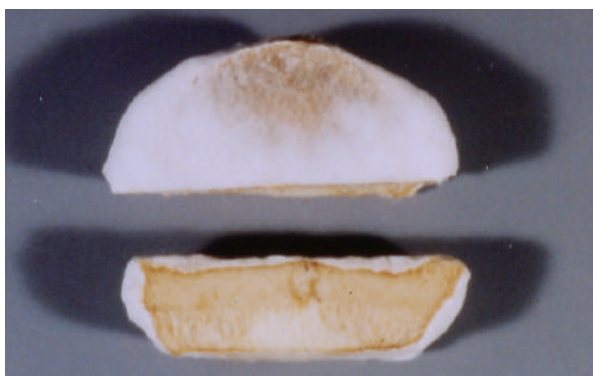


写真5 *Fusarium* sp. のクワイ塊茎への接種。菌糸の生育および組織内部の腐敗を示す。



写真6 糸状菌1のクワイ塊茎への接種。菌糸の生育および組織表面の褐変を示す。



写真7 枯死株の維管束褐変部分から分離された *Fusarium* sp.

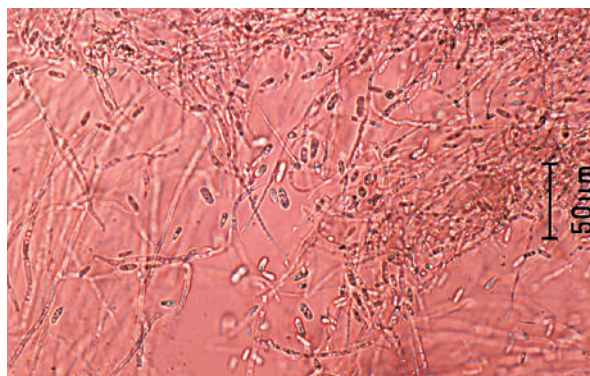


写真8 塊茎の底部黒変部分から分離された糸状菌1

表1 クワイ枯死株から分離された菌とその病原性（1998，1999）

調査日	圃場	症 状	分離菌 ^{a)}	病原性（塊茎接種）	
				株数 ^{b)}	程度 ^{c)}
1998/9/24	A	葉，葉柄の黄化，塊茎は健全	<i>Fusarium</i> sp.	5/5	++
	B	クラウン維管束褐変，塊茎芽の褐変	<i>Fusarium</i> sp.	4/5	++
1999/7/23	C	葉は紅色，クラウン維管束褐変	糸状菌 1	1/1	+
	C	葉は紅色，種球のくさり	<i>Fusarium</i> sp.	6/6	++
	C	葉は紅色，クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	3/3	++
8/20	D	外葉3枚黄化，クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	6/6	++
9/22	C	葉柄維管束褐変（地際から上部15cm） クラウン褐変・水浸状，塊茎褐変	<i>Fusarium</i> sp.	6/6	++
10/25	D	クラウン維管束褐変 クラウン表面黒変	<i>Fusarium</i> sp. 糸状菌 1	4/4 1/1	++ +
	C	クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	4/4	++
11/8	D (深耕区)	クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	4/4	++
		ランナー表面黒変	糸状菌 1	2/2	+
		葉に小褐点（葉枯病病斑）	<i>Marssonina</i> sp.	3/3	+
	D (種球消毒区)	クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	1/1	++
		ランナー表面黒変	<i>Fusarium</i> sp.	3/3	++
			糸状菌 1	1/1	+
		クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	2/2	++
D (慣行区)	ランナー表面黒変	糸状菌 1	2/2	+	
E	10/7に紅葉，クラウン維管束褐変	<i>Fusarium</i> sp.	2/2	++	

^{a)} 網掛けはクワイ塊茎接種により病原性を示した菌

^{b)} 病原性を示した菌株数 / 供試菌株数

^{c)} ++：組織内部への侵入・腐敗，+：接種部位の褐変

表2 クワイ腐敗塊茎から分離された菌とその病原性（1997～1999）

調査日	圃場	症 状	分離菌 ^{a)}	病原性（塊茎接種）	
				株数 ^{b)}	程度 ^{c)}
1997/12/16	?	軟腐，悪臭（側面表面はしみたような褐色，内部は白色で水浸状）	<i>Pythium</i> sp.	0/9	—
			細菌	0/9	—
1998/11/27	F	直径5～10 mmのコブ，この表皮下に黒褐色の小粒⇒ひぶくれ病病斑	<i>Doassansia</i> sp. (検鏡で確認)	ND	
	A	側面の軟腐，悪臭 (かなり軟腐症状のすすんだもの)	<i>Pythium</i> sp.	0/3	—
			細菌	0/20	
	C	側面の軟腐，悪臭	<i>Pythium</i> sp.	2/2	++
			細菌	0/12	—
A	底部から黒変 (腐ったランナーの付け根から)	糸状菌 1 細菌	4/5 0/30	+	
1999/12/2	C	直径5～10 mmのコブ，この表皮下に黒褐色の小粒⇒ひぶくれ病病斑	<i>Doassansia</i> sp. (検鏡で確認)	ND	
	C	側面の軟腐，悪臭（ひぶくれ病斑が脱落したと思われる跡の組織から腐敗するものあり）	<i>Fusarium</i> sp.	1/1	++
			<i>Pythium</i> sp.	0/11	—
	C	側面の褐変	<i>Fusarium</i> sp.	3/3	++
糸状菌 1 <i>Pythium</i> sp.			2/2 0/2	+	
12/21	?	側面の褐変	<i>Fusarium</i> sp.	ND	
12/28	C	側面の黒変	糸状菌 1	ND	

^{a)} 網掛けはクワイ塊茎接種により病原性を示した菌

^{b)} 病原性を示した菌株数 / 供試菌株数

^{c)} ++：組織内部への侵入・腐敗，+：接種部位の褐変

菌 *Doassansia horiana* Hennings の孢子球の大きさ（直径 94.8–181.7 μm ）とほぼ一致した。また、軟腐・悪臭症状のなかには、腐敗部分に火ぶくれ病菌の孢子球が観察されたことから、火ぶくれ病の病斑が脱落し、その跡の組織が腐敗していると考えられるものもあった。接種試験は行っていないが、症状と孢子球の大きさから、塊茎のコブ、およびその脱落后の腐敗症状は火ぶくれ病菌の感染に起因すると考えられる。

以上の結果をまとめると、枯死株および、塊茎腐敗（軟腐、褐変）からは、高頻度に *Fusarium* sp. が分離され、塊茎接種で強い病原性を示したことから、福山市で問題となっている連作障害の原因は、*Fusarium* sp. が主因と考えられた。また、地上部のその他病害として、火ぶくれ病と葉枯病の発生を認めた。

塊茎腐敗については、悪臭をともなう軟腐症状には、*Fusarium* sp. と *Pythium* sp. が、側面の褐変・黒変症状には *Fusarium* sp. と糸状菌1が、底部の黒変症状には糸状菌1の関与が示唆された。

嘉儀ら（1983年）は、大阪府で発生した赤枯症状の塊茎から *Fusarium* 属菌が高率に分離され、クワイに対して強い病原性を有することから、本菌が赤枯症の主因であるとしている。また、次いで *Pythium* 属菌が分離され、クワイに対して弱い病原性を有していることから、二次的に塊茎腐敗を起こすものと報告している。本調査結果もこれらと一致しており、本県で問題となっている株の枯死や塊茎腐敗も、*Fusarium* 属菌を主因とする赤枯症と考えられる。

2. クワイ赤枯症の防除対策

1) 耕種的防除法の検討

(1) 深耕がクワイ赤枯症の発生におよぼす影響

土壤中 *Fusarium* 菌数は、慣行区では、耕起約1カ月後で植付け時の1999年6月22日では、 2×10^3 cfu/g 乾土であったが、植付け1カ月後の1999年7月23日以降は 10^3 cfu/g 乾土以下に低下して推移した。これに対して深耕区では、調査期間を通して土壤中 *Fusarium* 菌数は $2 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$ cfu/g 乾土で推移し、慣行区と比べて高い菌密度のままであった（図1）。

クワイでの赤枯症の発生は、1999年8月頃からいずれの区でも外葉数枚が黄化し始めた。株が枯死し始めたのは、深耕区が慣行区にくらべて半月早く、1999年9月22日の調査で発病株（発病程度2：株の半分の葉が黄化・枯死、を発病とする）が数株認められ、1999年10月7日にはほとんどの株が発病した。両区とも、収穫時の1999年11月8日にはほとんどの株が黄化・枯死した（図2）。

塊茎の腐敗は、慣行区では認められなかったのに対し、深耕区では2個（2.7%）の塊茎が腐敗していた。腐敗、着色不良、ハカマ黒変を合わせた不良球率は、慣行区が12.9%であったのに対し、深耕区では19.2%と高く、品質が劣った。収量も、慣行区が52.6g/株であったのに対し、深耕区では48.9g/株と約1割低かった（表3）。

以上の結果から、深耕すると土壤中 *Fusarium* 菌密度が高くなり、赤枯症の発生を助長することが明らかとなった。

レンコンでは、*Fusarium oxysporum* f.sp. *nelumbinicola* によるレンコン腐敗病は、冬期に土が乾燥した後に耕起した区で、著しく発病が多かったとしている（南川1963）。作目は異なるが、クワイでも同じ *Fusarium* 属菌で同様の結果となっている。このことから、クワイ赤枯症の発生を助長しないためには、天地返しなどの深耕は避けるべきである。

また、クワイ赤枯症は、葉が黄化・枯死するといった地上部の症状が見えるころには、すでに地下部の根やクラウンの維管束褐変や腐敗症状が進んでいた。このことから、*Fusarium* 菌の感染は、定植直後から起こっていると推測される。つまり、赤枯症の発病抑制には、栽培初期の土壤中 *Fusarium* 菌密度を低下させることが重要であると考えられる。

(2) 湛水処理がクワイ赤枯症の発生におよぼす影響

無処理区の土壤中 *Fusarium* 菌密度は、調査期間を通して $2 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ cfu/g 乾土であったが、湛水処理区では、処理前の 1×10^4 cfu/g 乾土の菌数が、湛水処理4カ月後には 10^3 cfu/g 乾土以下まで低下した。湛水処理区は、処理1カ月後から無処理区より土壤中 *Fusarium* 菌密度が低く推移した（図3）。

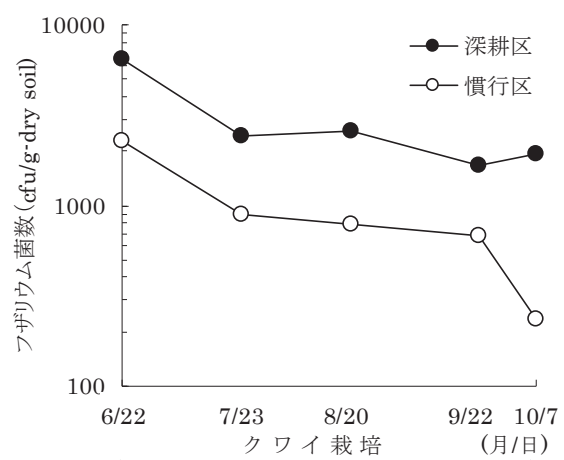


図1 深耕が土壤中フザリウム菌密度の推移におよぼす影響（福山市クワイ栽培圃場，1999年）

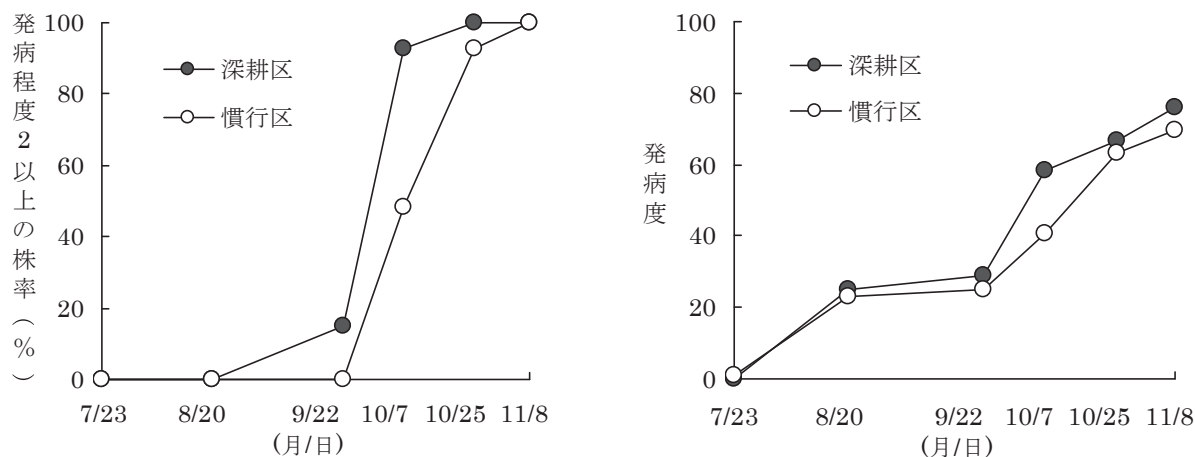


図2 深耕がクワイ赤枯症の発生推移におよぼす影響 (左：発病程度2以上の株率，右：発病度，福山市クワイ栽培圃場，1999年)

発病度 = $\sum(\text{発病程度} \times \text{該当株数}) / (4 \times \text{調査株数}) \times 100$ $n = 27$
 発病程度 0:健全 1:数枚の葉が黄化・枯死 2:株の半分の葉が黄化・枯死
 3:ほとんどの葉が黄化・枯死 4:株の枯死・欠株

表3 深耕がクワイ塊茎の品質，収量におよぼす影響 (福山市クワイ栽培圃場，1999.11.8)

処理区	品質別球数 (個)					不良球率 ^{b)} (%)	収量 ^{c)} (g/株)
	健全	腐敗	着色不良 ^{a)}	ハカマ黒変	ひぶくれ		
深耕	59	2	9	2	1	19.2	48.9 (93)
慣行	61	0	3	6	0	12.9	52.6(100)

^{a)} 産地では腐敗前の症状とされ，規格外とされる。
^{b)} (腐敗球数+着色不良球数+ハカマ黒変球数) × 100 / 合計
^{c)} () 内は慣行区を100とする

クワイの発病は，無処理区では2000年9月5日に2株が枯死した。一方，湛水処理区では2000年10月18日に1株が枯死したが，残り3株は最終調査日まで健全葉のみられ完全枯死には至らなかった (図4)。

塊茎の腐敗球率は，無処理区では83.3%の塊茎が腐敗していたのに対し，湛水処理区では13.3%と低かった。1株あたりの収量は，湛水処理区では29.6gであったのに対し，無処理区ではその約1/3の9.9gと少なかった (表4)。

以上のように，定植前4か月間の湛水処理により，土壌中 *Fusarium* 菌の密度抑制効果が認められ，無処理区と比較しても，株の枯死率，塊茎の腐敗球率とも低く，収量も高くなった。湛水による *Fusarium* 属菌による病害防除効果は，クワイと同様に水田で栽培されるレンコン腐敗病でも確認されている (西沢 1954, 南川1963)。南川 (1963) は，冬期間，田面を湛水することで，次年作の発生を軽減でき，実際に佐賀県では，漏水防止や生育期間中の深水の保持，冬期間の湛水を実施することで，レンコン腐敗病の発生を抑制できることを報告している。本試験の結果からも，春期の湛水処理は *Fusarium* 属菌に起因するクワイ赤枯症の防除対策に有効であると

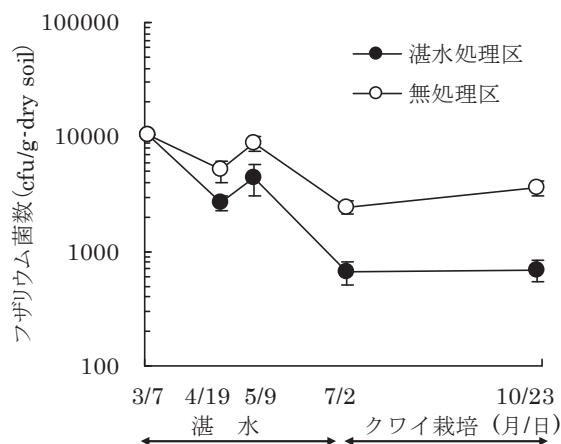


図3 湛水処理が土壌中フザリウム菌密度の推移におよぼす影響 (農業技術センターポット試験，2000年)

図中のバーはSEを示す (n=4)

考えられる。

(3) クワイ収穫残渣の働き込みがクワイ赤枯症の発生におよぼす影響

土壌中 *Fusarium* 菌密度は，いずれの区も残渣処理時の2000年3月21日から植付け時の2000年7月10日までの約

3か月間は、 $4 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$ cfu/g 乾土の高い *Fusarium* 菌密度で推移し、処理区間の差はなかった。しかし、植付け2か月後の2000年8月21日には、滅菌残渣鋤き込み区は無処理区と同程度の 10^2 cfu/g 乾土以下まで *Fusarium* 菌密度が低下したのに対し、残渣鋤き込み区は、 1×10^4 cfu/g 乾土の高密度のままであった。クワイ栽培後期の2000年10月1日には、いずれの区も $2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$ cfu/g 乾土に *Fusarium* 菌密度が低下した (図5)。

株の枯死は、残渣鋤き込み区で早くから観察され、2000年11月10日には4株すべてが枯死したのに対し、滅菌残渣鋤き込み区では3株が、無処理区では1株が枯死した (表5)。

塊茎の腐敗球率は、無処理区が1.8%、滅菌残渣鋤き込み区が7.1%であったのに対し、残渣鋤き込み区が19.1%と高かった。収量は、残渣鋤き込み区が157.5g/株、無処理区が170.0g/株であったのに対し、滅菌残渣鋤き

込み区が217.5 g / 株と他区より多かった (表6)。

以上のことから、クワイ収穫残渣を鋤き込むことで、湛水状態となる栽培期間中も、土壌中の *Fusarium* 菌密度が高いレベルで維持され、赤枯症の発病が助長されると考えられる。一方、残渣の滅菌処理により赤枯症の発生を軽減できると考えられる。また、無処理区と比べ収量が多かったことから、堆肥化などにより十分 *Fusarium* 属菌が滅菌できていれば、残渣による肥料効果も期待できると考えられる。一般的に、罹病残渣の除去や分解は、伝染源を減少し、被害発生が軽減されることが知られているが (Marchall, 1997, 駒田1998), 本試験の結果からも、クワイ赤枯症の防除には、クワイ栽培残渣を圃場内で鋤き込むのではなく、圃場外に持ち出して適切に処分し、病原菌の伝染源を除去することが重要であると考えられる。

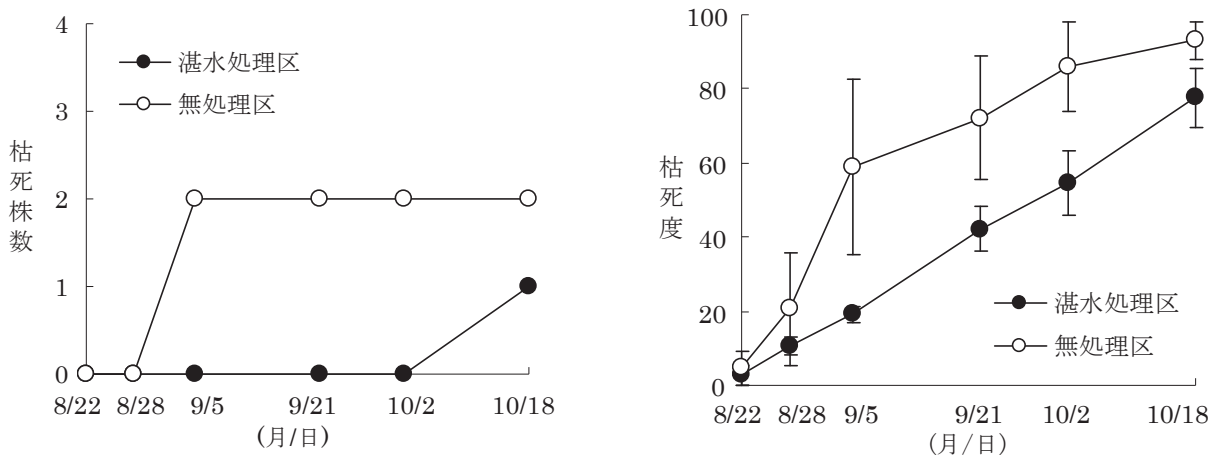


図4 湛水処理がクワイ赤枯症の発生推移におよぼす影響 (左: 枯死株数, 右: 枯死度, 農業技術センターポット試験, 2000年)

図中のバーはSEを示す (n=4)
 枯死度 = $\sum (\text{枯死程度} \times \text{該当葉数}) / (2 \times \text{全葉数}) \times 100$ 葉の枯死程度 0: 健全 1: 黄化 2: 枯死

表4 湛水処理がクワイ塊茎の品質, 収量におよぼす影響 (農業技術センターポット試験, 2000.12.12)

処理区	反復	品質別球数 (個)			腐敗球率 (%)	収量 (g/株)
		健全	腐敗	合計		
湛水	I	5	0	5	0	57.8
	II	5	0	5	0	42.2
	III	0	0	0	-	0
	IV	3	2	5	40.0	18.4
	平均	3.3	0.5	3.8	13.3	29.6
無処理	I	3	6	9	66.7	33.4
	II	0	3	3	100	6.2
	III	0	0	0	-	0
	IV	0	0	0	-	0
	平均	0.8	2.3	3.0	83.4	9.9

2) 薬剤による種球消毒法の検討

(1) 植付け前の種球消毒

クワイの株の枯死は、種球消毒区、慣行区とも、1999年10月上旬から発生し、それ以降は種球消毒区のほうが慣行区に比べて発病度がわずかに低く推移した(図6)。

塊茎の腐敗は、両区とも認めなかった。しかし、着色不良やハカマ黒変など規格外とされる不良球率は、種球消毒区で6.1%と、慣行区の12.9%と比較して少なかった。収量は、種球消毒区が慣行区の約1.4倍と多かった(表7)。

以上のように、ベノミル水和剤を種球に粉衣したことで、植付け直後の *Fusarium* 菌の感染を抑制できたものと推察され、植付け前のベノミル水和剤種球粉衣は、クワイ赤枯症の発生抑制効果があると考えられる。

(2) 冷蔵貯蔵前の種球消毒

冷蔵貯蔵前の種球に対する、チウラム・ベノミル水和剤20の300倍液、30分浸漬は、新涯町では、無処理区の腐敗球率が44.3%であったのに対し、処理区では7.3%と少なく、高い防除効果が認められた。山手町では、無処理区が15.0%であったのに対し、処理区は6.3%と、

防除効果が認められた。また、種球の発芽状況や植付け後の生育状況は両試験地とも良好で、薬害は認められなかった(表8)。

なお、貯蔵69日目の2005年3月15日に腐敗球を採取し、表面に生育している菌糸を顕微鏡観察したところ、腐敗

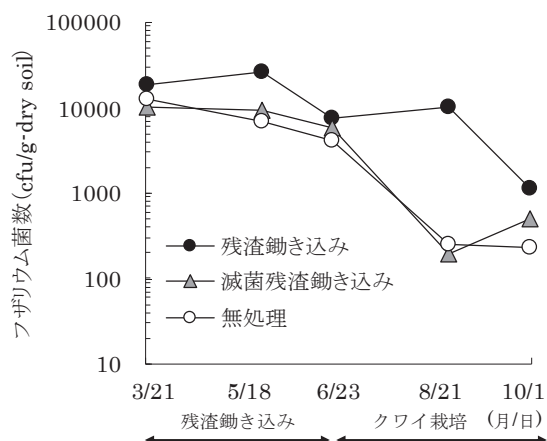


図5 クワイ収穫残渣の鋤き込みが土壤中フザリウム菌密度の推移におよぼす影響 (福山市園芸センターコンテナ試験, 2000年)

表5 クワイ収穫残渣の鋤き込みがクワイ赤枯症の発生におよぼす影響 (福山市園芸センターコンテナ試験, 2000年)

処 理 区	反 復	枯死度		枯死株数 (/2株)
		10月16日	11月3日	11月10日
残渣鋤き込み	1	60.0	80.0	2
	2	51.6	75.0	2
	平均	55.8	77.5	2.0
滅菌残渣鋤き込み	1	55.9	77.8	2
	2	50.0	63.9	1
	平均	52.9	70.8	1.5
無 処 理	1	43.3	56.7	1
	2	48.6	62.2	0
	平均	46.0	59.4	0.5

表6 クワイ収穫残渣のすきこみがクワイ塊茎の品質、収量におよぼす影響 (福山市クワイ栽培圃場, 2000.12.13)

処 理 区	反 復	品質別球数 (個)			腐敗球率 (%)	収量 (g/株)
		健 全	腐 敗	合 計		
残渣すきこみ	1	25	5	30	20.0	155
	2	22	4	26	18.2	160
	平均	23.5	4.5	28.0	19.1	157.5
滅菌残渣すきこみ	1	42	6	48	14.3	220
	2	47	0	47	0	215
	平均	44.5	3.0	47.5	7.1	217.5
無 処 理	1	28	1	29	3.6	170
	2	30	0	30	0	170
	平均	29.0	0.5	29.5	1.8	170.0

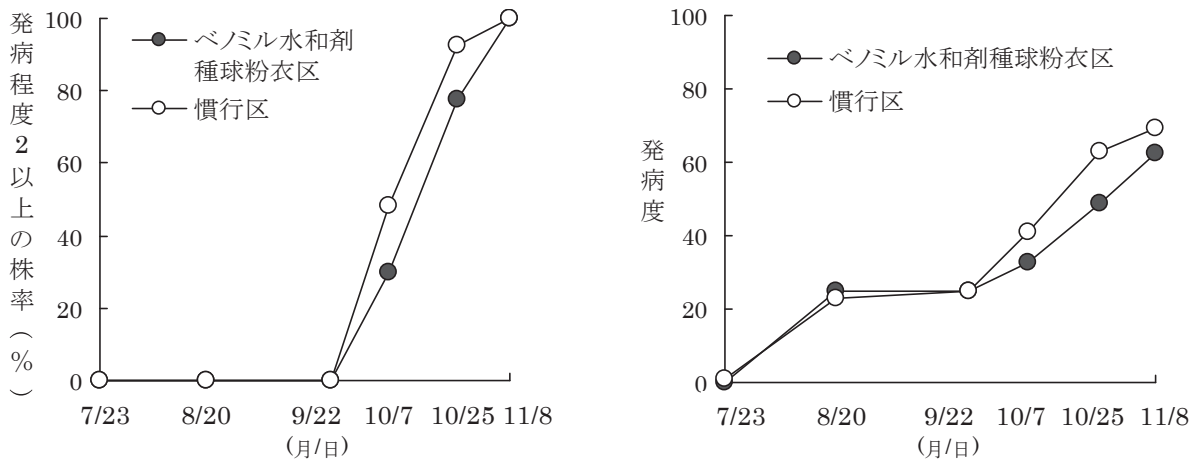


図6 ベノミル水和剤の種球粉衣がクワイ赤枯症の発生推移におよぼす影響 (左：発病程度2以上の株率，右：発病度，福山市クワイ栽培圃場，1999年)

発病度 = $\Sigma(\text{発病程度} \times \text{該当株数}) / (4 \times \text{調査株数}) \times 100$ n = 27
 発病程度 0: 健全 1: 数枚の葉が黄化・枯死 2: 株の半分の葉が黄化・枯死
 3: ほとんどの葉が黄化・枯死 4: 株の枯死・欠株

表7 ベノミル水和剤種球粉衣がクワイ塊茎の品質，収量におよぼす影響 (福山市クワイ栽培圃場，1999.11.8)

処 理 区	品質別球数 (個)					合計	不良球率 ^{b)} (%)	収量 ^{c)} (g/株)
	健全	腐敗	着色不良 ^{a)}	ハカマ黒変	ひぶくれ			
ベノミル水和剤種球粉衣	59	0	3	0	1	66	6.1	72.6(138)
慣 行 区	61	0	3	6	0	70	12.9	52.6(100)

^{a)} 産地では腐敗前の症状とされ，規格外とされる。
^{b)} (腐敗球数 + 着色不良球数 + ハカマ黒変球数) × 100 / 合計
^{c)} () 内は慣行区を100とする

表8 冷蔵貯蔵前のクワイ種球の消毒が貯蔵中の腐敗や薬害におよぼす影響 (福山市，2005年)

採種場所	処理区	反復	種球の腐敗 (6月17日)				薬害 (7月1日)		(8月3日)	
			調査球数	健全球数	腐敗球数	防除価 ^{a)}	調査株数	発芽状況	生育状況	葉先枯れ
山手	ベノミル・チウラム 水和剤20 300倍液 30分浸漬	1	100	100	0		20	良好	良好	なし
		2	100	81	19					
		3	100	100	0					
		平均	100	93.7	6.3	57.8				
		無処理	1	100	89	11		20	良好	良好
	2	100	76	24						
	3	100	90	10						
	平均	100	85.0	15.0						
新涯	ベノミル・チウラム 水和剤20 300倍液 30分浸漬	1	100	91	9		20	良好	良好	なし
		2	100	100	0					
		3	100	87	13					
		平均	100	92.7	7.3	83.5				
		無処理	1	100	77	23		20	良好	良好
	2	100	25	75						
	3	100	65	35						
	平均	100	55.7	44.3						

^{a)} 防除価 = (無処理区の腐敗球率 - 処理区の腐敗球率) × 100 / (無処理区の腐敗球率)

の主因菌は *Fusarium* 属菌であることを確認している。

以上のことから、種球の冷蔵貯蔵前、チウラム・ベノミル水和剤20の300倍液、30分浸漬は、種球の冷蔵貯蔵中の *Fusarium* 属菌による腐敗に対して防除効果があり、健全種球の確保に有効な手段と考えられた。なお、本試験のデータを基に、本剤が上記方法でクワイ種球消毒剤として農薬登録（2006年7月31日付）された。

「福山のクワイ栽培」（1981）によると、福山市のクワイ赤枯症は、1977年8月に新涯町で初めて確認され、発病圃の種球について調査した結果、15aの圃場のうち10aは自家採取球を使い、残り5aは他圃場で採種されたものを新たに購入したものであった。赤枯症はその5aの圃場で発生しており、自家採取球を植付けた10aでは1株も発生はみられなかった。このことから、他圃場の種球から伝染したものと述べられている。また、埼玉県では、1969、1970年頃に赤枯症が大発生したが、その後、無病種球への更新を行ったところ、発生はみられなくなったと記されている（福山市のクワイ栽培、1981）。また、嘉儀ら（1983）は、大阪府での赤枯症は、多発圃場から採種した塊茎を用いた圃場ほど次年度の発生が多く、無病圃場からのものでは発病が低い傾向が認められることから、塊茎（種球）伝搬を示唆している。したがって、赤枯症の防除対策には、無病種球の使用が重要と考えられ、本試験で明らかとなったように、ベノミル水和剤やチウラム・ベノミル水和剤20で、植付け前や冷蔵貯蔵前に種球消毒することは、クワイ赤枯症の防除に有効である。また、湛水処理や適切な残渣処理など耕種的防除もクワイ赤枯症の防除に有効な手段である。

このように、クワイ赤枯症対策では、種球消毒などによる健全種球の確保、および湛水処理や残渣の持ち出しによる栽培初期の土壤中 *Fusarium* 菌密度の低減を組み合わせた、総合的な対策を講じることが重要と考える。

摘 要

福山市のクワイ栽培で発生している連作障害の原因、およびその防除対策について調査し、以下の知見を得た。

1. 株の枯死、塊茎腐敗からは、高頻度に *Fusarium* sp. が分離され、塊茎接種で強い病原性が認められたことから、これらの症状は *Fusarium* sp. を主因とするクワイ赤枯症であると考えられた。
2. 植付け前4カ月間の湛水処理は、クワイ赤枯症の発生を抑制した。
3. 植付け前の深耕、およびクワイ収穫残渣の鋤き込みは、

クワイ赤枯症の発生を助長した。

4. 植付け前の種球へのベノミル水和剤、種球重0.5%粉衣は、クワイ赤枯症の発生を抑制した。
5. 冷蔵貯蔵前の種球のチウラム・ベノミル水和剤20の300倍液、30分浸漬は、貯蔵中の *Fusarium* 属菌による種球腐敗を抑制した。

謝 辞

本報を作成するにあたり、大阪府環境農林水産総合研究所食とみどり技術センターの草刈眞一博士、ならびに独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センターの宮川久義博士にはご校閲を賜りました。また、本試験を実施するにあたり、試験調査圃場を提供してくださった福山市のクワイ生産者の方々をはじめ、福山市園芸センター、JA福山市川口支店、(旧)油木地域農業改良普及センター福山支所、(旧)病害虫防除所福山支所、(旧)農業技術センター専門技術員室の各位には多大なご協力をいただきました。また、(旧)広島県立農業技術センター環境研究部の研究員並びに技術員、嘱託職員の方々からは、適切な助言と協力をいただきました。ここに記して各位に厚く謝意を表します。

引用文献

- 我孫子和雄・折原詳子. 1994. クワイひぶくれ病菌による球茎のごおよびかさぶた症状. 日植病報. 60(3): 340.
- 福山市農協・福山市農林部野菜振興課. 1981. 福山市のクワイ栽培: 38-42.
- 嘉儀 隆・田中 寛・草刈眞一・中曽根渡. 1983. フザリウム属菌によるクワイの赤枯症. 大阪農技セ研報. 20: 11-18.
- Komada, H.. 1975. Development of selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. Rev. Plant Protec. Res. 8: 114-125.
- 駒田 且. 1998. 野菜の土壌病害 その発生のしくみと防ぎ方. タキイ種苗株式会社広報出版部: 20-22.
- Li, Q. X. and Wang, L. R. 1985. A preliminary study on the disease of aquatic plants in Jiangsu Province. J. Jiangsu Agri. Coll. 6:35-41.
- Marshall, D.. 1997. Cultural controls for crop diseases. Edited by Pimentel, D.. Techniques for reducing pesticide use. John Wiley & Sons Ltd. pp. 221-235.
- 南川勝次. 1963. 食用蓮に関する研究. 佐賀農試研報4:

- 1-73.
- 村田壽太郎. 1916. 園芸之友12 : 4-5.
- 西門義一. 松本弘義. 1937. 慈姑の炎腫病菌に就いて. 病虫雑24(1) : 11-18.
- 西門義一. 宮脇雪夫. 1943. クワキ及びハスの乾腐病. 病虫雑30(10) : 293-298.
- 西沢正洋. 1954. 蓮根の病害に関する研究 (第1報). 九州農試研報2(2) : 131-142.
- 笹野市蔵. 1961. クワイの新病害について. 北陸病害虫研報9 : 66-67.
- 田中 寛・嘉儀 隆・草刈眞一・中曾根渡. 1983. フザリウム属菌によるクワイの赤枯症について. 日植病報49(1) : 102.
- Tsay, J. G. and Tung, B. K. 1992. Leaf spot of arrowhead caused by *Cylindrocarpon chiayiense* in Taiwan. Plant Prot. Bull. 34:175-179.
- 善林六朗・渡辺恒雄・渋川三郎. 1984. *Pythium myriotylum* によるクワイ茎腐病 (新称) について. 日植病報50(3) : 394.
- 善林六朗・渡辺恒雄・渋川三郎. 1985. *Pythium myriotylum* によるクワイ茎腐病. 日植病報51(4) : 482-485.

Cause investigation of the growth retardation by continuous cropping of arrowhead (*Sagittaria trifolia* L. var. *sinensis* MAKINO) and its control measures

Sachiko SHIMIZU, Mitsuo NOBUHIRA and Hiroyuki KAWAKAMI

Summary

The cause of growth retardation by continuous cropping of arrowhead in Fukuyama city and its control measures were revealed.

1. *Fusarium* sp. was isolated from the symptoms of stock withering and fusarial bulb rot of arrowhead with high frequency and it showed a strong pathogenicity by the inoculation to arrowhead tuber. It was thought that reddening and bulb rot of arrowhead were mainly caused by *Fusarium* sp..
2. The ponding processing for four months before arrowhead planted reduced the occurrence of reddening and bulb rot of arrowhead.
3. The deep plowing and burying the residue before arrowhead planted increased the occurrence of reddening and bulb rot of arrowhead.
4. The seed bulbs coating of benomyl wettable powder at the ratio of 0.5% of bulbs weight before planting reduced the occurrence of reddening and bulb rot of arrowhead.
5. The seed bulbs soaking in 300 time liquid solution of benomyl thiram wettable powder 20 for 30 minutes before refrigeration storing reduced the seed bulb rot caused by *Fusarium* sp..

Key words : Arrowhead, cultural control, *Fusarium* sp., reddening and bulb rot, seed bulbs disinfection