ノ ー ト

温室内ポットおよび水耕検定によるサツマイモつる割病抵抗性品種間差の評価

山川博幹¹⁾・島田 峻^{2,3)}・藏之内利和¹⁾・西中未央⁴⁾

¹⁾ 農研機構作物研究部門, 茨城県つくば市, 〒 305-8518

²⁾ 茨城県農業総合センター農業研究所, 茨城県水戸市, 〒 311-4203

³⁾ 現: 茨城県農林水産部産地振興課, 茨城県水戸市, 〒 310-8555

⁴⁾ 農研機構中日本農業研究センター, 茨城県つくば市, 〒 305-8666

Evaluation of resistance to *Fusarium* stem rot in sweetpotato cultivars by pot and hydroponic culture

Hiromoto Yamakawa¹⁾, Shun Shimada^{2,3)}, Toshikazu Kuranouchi¹⁾ and Mio Nishinaka⁴⁾

¹⁾ Institute of Crop Science, NARO, Tsukuba, Ibaraki 305-8518, Japan

²⁾ Agricultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, Mito, Ibaraki 311-4203, Japan

³⁾ Present address: Ibaraki Prefectural Government, Mito, Ibaraki 310-8555, Japan

⁴⁾ Central Region Agricultural Research Center, NARO, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan

キーワード

サツマイモ, サツマイモつる割病, 抵抗性, 品種間差, ポット検定, 水耕検定

緒 言

サツマイモ (*Ipomoea batatas*) は、種いもやつる苗等の栄養体で増殖するため、種苗で伝染する病害が拡がりやすく (小川ら 1979), 生産地において甚大な被害を及ぼすことがある。サツマイモつる割病は、サツマイモの重要病害のひとつで、糸状菌の一種、*Fusarium oxysporum* f. sp. *batatas* (サツマイモつる割病菌) によって引き起こされ、汚染された種いもや苗、土壌等により伝染する。苗が本病に感染すると、植付け後に下葉が黄化して萎れ、芽頂の伸長が抑えられ、茎が地際から縦に裂開する。著しく発病すると枯死に至る。発病が軽微で塊根が得られても、病原菌の感染によって塊根内部の維管束は褐変し、外観上健全に見える塊根を種いもとして利用すると苗伝染の原因となる。生産現場では、本病の防除法として、ベノミル剤等の農薬を用いた種いもや苗の消毒およびクロルピクリン剤等の土壌くん蒸剤による土壌消毒が実施されている。

良食味品種として昭和 50 年に育成された「ベニコマチ」は、一度は千葉県等関東地方に広く普及したものの、本病に極めて弱い (小川ら 1979) ことが判明したため、

その後作付けが減少した。現在作付けされるサツマイモ品種は本病に対して一定の抵抗性を有するものが多いが、本病は 28℃~30℃の高温で発生が助長される (小川ら 1979) ことから、近年の気候変動やマルチ被覆栽培による栽培環境の温暖化により、発生増加が懸念されている。防除法についても問題は残されており、ベノミル剤による苗消毒の本病防除効果は完全ではない (小川ら 1979)。また、土壌くん蒸剤による土壌消毒は環境への負荷が大きく、いずれの防除対策も薬剤コストが必要である。さらに、近年ではベノミル剤耐性サツマイモつる割病菌の出現が確認された (島田ら 2017) ことから、高度抵抗性を有する品種の導入が望まれている。

サツマイモ育種の現場においては、苗の切り口に病原菌を接種後、圃場に植え付けるつる割病抵抗性検定試験により育成系統のつる割病抵抗性が評価されている。しかし、栽培中の気象条件等の変動により安定した結果が得られないことがあるため、通常複数年試験を実施して結果を総合的に判断して抵抗性が評価されている (Katayama *et al.* 2017)。一方、通年実施可能な温室等での抵抗性評価が試みられている。小川ら (1979) は、サツマイモ苗の切り口をつる割病菌懸濁液に浸漬した後に鉢植えし、枯死状況を調査することにより、抵抗性を評価した。本法では、人工的に作成した汚染圃場への植え付け試験よりも病徴が顕著に現れ、抵抗性の品種間差をより詳細に評価することが可能になった。同様の方法により、北海道における品種の抵抗性も評価されている

編集委員: 片山健二

2021 年 8 月 11 日受領 2021 年 9 月 21 日受理

2022 年 2 月 17 日 J-STAGE 早期公開

Correspondence: hy741220@affrc.go.jp

(堀田・高濱 2014)。この他に、水を入れた試験管に病原菌の懸濁液を針接種した苗を挿苗する方法(小川 1988)や、切り苗を病原菌懸濁液中でそのまま培養する方法(Yang *et al.* 2018, Paul *et al.* 2020)も実施されている。これらの方法では2週間程度で抵抗性を評価することが可能である。一連の研究により、従来品種の抵抗性が明らかとなっているが、近年育成された品種の屋内検定法による詳細な抵抗性は不明である。

本研究では、近年育成された品種のうち、病害抵抗性を備えるとされるものについて、つる割病抵抗性を従来品種と比較することを目的として、主要な10品種の抵抗性を、ポット検定および水耕検定により体系的に評価し、評価結果を品種育成試験で実施された圃場検定結果と比較した。

材料および方法

サツマイモ供試品種は、平成29年度作付面積上位5品種の「コガネセンガン」、「ベニアズマ」、「べにはるか」、「高系14号」、「シロユタカ」(農林水産省 2019)に加えて、小川ら(1979)により抵抗性弱とされた「ベニコマチ」および抵抗性強とされた「タマユタカ」、近年育成され病害抵抗性を有するとされる「からゆたか」(平成26年育成)、「こないしん」(令和元年育成)、「あまはづき(関東144号)」(令和3年育成)を合わせた10品種とした。それぞれ農研機構谷和原畑圃場(茨城県つくばみらい市)において健全なつるの先端5節程度もしくは中間部位3節程度を採取し、暖房および天窓の開閉で20℃～32℃に温度調節されたガラス温室において、くみあい園芸用育苗培土げんきくん1号(コープケミカル)3Lを入れたポットへ挿苗することで増殖した。10cm以上に伸長した増殖苗の先端を採取して、抵抗性検定に供試した。

サツマイモつる割病菌は、茨城県農業総合センター農業研究所により茨城県行方市の現地発病株から分離された16NGFo1株を用いた。ポテトデキストロース寒天培地を用いて25℃で7日間前培養した菌叢を、ポテトデキストロース液体培地に添加し、28℃、110 rpmで7日間振とう培養した。得られた菌液を二層に重ねたガーゼでろ過し、1,500×g、5分間の遠心分離により胞子を回収し、滅菌水で2回洗浄した後、血球計算盤を用いて胞子数が温室内ポット検定および水耕検定の場合 1.5×10^6 個/ml、圃場検定の場合 1×10^7 個/mlになるように滅菌水に懸濁した。

ポット検定では、1試験区あたり冬季試験(令和2年12月15～31日に実施)で5本、夏季試験(令和3年7月19～29日に実施)で15本の苗を供試し、苗の切り口を胞子懸濁液に30分間浸漬することで接種した後、くみあい園芸用育苗培土げんきくん1号3Lを入れたポットへ挿苗した。一方水耕検定では、1試験区あたり冬季試

験で4本、夏季試験で12本の苗を供試し、苗の切り口を同様に胞子懸濁液に30分間浸漬することで接種した後、水道水50mlを入れた植物培養用125mlプラントボックスへ挿苗した。以降、上記の20℃～32℃に温度調節されたガラス温室において、毎日灌水しながら、病徴の進展を調査した。発病程度は、植え付け直後に発生する下位葉の枯死を除いて病徴なし(指数0)、葉の黄変もしくは枯死(指数1)、茎あるいは茎頂の枯死(指数2)、完全枯死(指数3)の4段階に分けて、個体数を記録し、試験区全個体の指数の平均値を発病指数とした。冬季試験では、調査を開始した接種後6日目から、完了した16日目までの発病指数の合計値を累積発病指数とし、ポット検定における累積発病指数と水耕検定における累積発病指数の平均値を総合発病指数とした。夏季試験においては、罹病性の「ベニコマチ」が概ね完全枯死した接種後10日目に発病指数を調査し、ポット検定における発病指数と水耕検定における発病指数の平均値を総合発病指数とした。また、夏季試験においては、サツマイモつる割病菌を含まない水中に30分間浸漬してからポットや水中に挿苗する無接種無処理区を設け、供試苗が健全であることを確認した。

圃場検定については、16NGFo1株を用いて十分な発病が認められた2018年と2020年の結果を用いた。農研機構谷和原畑圃場において2018年は6月7日、2020年は6月10日に、試験区あたり5本の苗の切り口を胞子懸濁液に数秒間浸漬して接種した後、透明マルチを張った畦へ株間15cmで植え付けた。発病調査は罹病性の「ベニコマチ」が枯死したのを確認した後、2018年は7月11日、2020年は7月15日に実施し、次の基準で指数化して評価した。指数1:切り口からの菌の侵入による維管束の褐変が基部から1節以内で止まっているもの、指数2:維管束の褐変が1節を超えて2節までで止まっているもの、指数3:維管束の褐変が2節を超えて地下部で止まっているもの、指数4:維管束の褐変が地上部まで進展しているが地上部の枯死は認められないもの、指数5:地上部が部分的に枯死しているもの、指数6:完全に枯死しているもの。年次による発病程度のばらつきを補正するため、得られた指数を基準品種(「タマユタカ」と「ベニコマチ」をそれぞれやや強と弱とした)の数値と比較して、抵抗性を判定した。

結果

1. 冬季試験

冬季温室におけるポット検定および水耕検定の結果を図1に示す。抵抗性弱とされる「ベニコマチ」は極めて高い罹病性を示し、ポット検定では接種後2週間以内に供試した全個体が枯死した。同様に、「シロユタカ」と「コガネセンガン」も迅速に病徴が進展し2週間で全個体が枯死に至った。これらの品種と比較して、「ベニアズ

図1. 冬季試験におけるサツマイモ10品種のサツマイモつる割病発病程度。

上段：ポット検定，下段：水耕検定。横軸は接種後日数を示す。

ポット検定，接種後10日目

水耕検定，接種後10日目

ベニコマチ

あまはづき

図2. サツマイモつる割病発病状況。

上段：冬季試験ポット検定における接種後10日目，下段：冬季試験水耕検定における接種後10日目。

左：ベニコマチ，右：あまはづき。

マ」，「高系14号」，「タマユタカ」は病徴の進展がわずかに遅れる傾向が認められた。一方，「べにはるか」と「からゆたか」は葉が枯凋したものの，半数以上の個体が接種後16日間枯死せずに生存した。「こないしん」は，葉や茎の枯死も少なく，5個体中4個体が生存し，「あまはづき」では植え付け直後に最下位葉がわずかに枯れたのみで，16日間全く病徴を示すことはなく，健全な成長を続けた（図2）。

水耕検定では，ポット検定より病徴の進展が早く，「ベニコマチ」と「シロユタカ」は接種後8日で全個体枯死し，「コガネセンガン」，「ベニアズマ」がこれらの品種よ

表1. 冬季試験検定結果から推定された各品種のサツマイモつる割病抵抗性

品種	累積発病指数		総合発病指数	抵抗性判定
	ポット検定	水耕検定		
あまはづき	0.0	0.5	0.3	強
こないしん	4.2	13.3	8.7	強
からゆたか	15.0	15.3	15.1	やや強
べにはるか	12.8	24.8	18.8	やや強
タマユタカ	22.6	25.0	23.8	中
高系14号	23.4	24.8	24.1	中
ベニアズマ	20.2	28.5	24.4	中
コガネセンガン	25.8	26.5	26.2	やや弱
シロユタカ	25.2	31.3	28.2	弱
ベニコマチ	25.8	30.8	28.3	弱

サツマイモつる割病の発病程度は，指数0：病徴なし～指数3：枯死の4段階で判定し，調査期間11日間の指数の合計値を累積発病指数とした。また，ポット検定における累積発病指数と水耕検定における累積発病指数の平均値を総合発病指数とした。抵抗性判定は，総合発病指数10未満を強，10以上20未満をやや強，20以上25未満を中，25以上27未満をやや弱，27以上を弱とした。

りわずかに遅れ，「高系14号」，「タマユタカ」，「べにはるか」がさらに遅れて枯死した。一方，「からゆたか」と「こないしん」は接種後10日間においては茎や茎頂部が枯死することはなかった。水耕検定においても「あまはづき」はほとんど病徴を示すことはなく，無施肥状態が継続しても下葉がわずかに枯死したのみであった（図2）。

両検定について，品種による病徴進展の遅速も考慮して比較するために，発病程度に応じて，病徴なし（指数0），葉の黄変もしくは枯死（指数1），茎あるいは茎頂部の枯死（指数2），完全枯死（指数3）のように指数化し，全調査期間の発病指数を加算して累積発病指数として数値化すると，表1の通りとなった。「こないしん」，「べにはるか」，「ベニアズマ」において両検定間で累積発病指数に8を超える比較的大きな差異を生じたが，概ね同様な順番で抵抗性の品種間差が認められた。さらに，両検

定における累積発病指数の平均値として総合発病指数を算出し、その数値により冬季温室検定における抵抗性を判定すると、「あまはづき」と「こないしん」が強、「からゆたか」と「べにはるか」がやや強、「タムユタカ」、「高系14号」、「ベニアズマ」が中、「コガネセンガン」がやや弱、「シロユタカ」と「ベニコマチ」が弱となった。

2. 夏季試験

夏季試験では、日射量と気温の上昇により生育が早ま

るため、比較的容易に大量の苗の調整が可能となる。そこで、供試個体数を増やし、冬季試験で認められた抵抗性の品種間差の有意性を検定した。ポット検定、水耕検定のいずれにおいても、接種後10日目に抵抗性弱品種の「ベニコマチ」が概ね完全枯死し、品種間で発病程度の差が最も顕著となった。このため、同日に病徴を調査し、多重比較検定を実施した。ポット検定および水耕検定の結果を図3に示す。

供試した各品種の発病程度は、「ベニアズマ」で発病が

ポット検定, 接種後10日目

水耕検定, 接種後10日目

図3. 夏季試験におけるサツマイモつる割病抵抗性の品種間の有意差検定結果。

上段：ポット検定における接種後10日目の発病指数，下段：水耕検定における接種後10日目の発病指数。

グラフは15個体（ポット検定）および12個体（水耕検定）の平均値±標準誤差を示す。表内の数値は、Steel-Dwassの多重比較による各対比較におけるP値を示す。5%、1%、0.1%水準で有意と判定された箇所を、それぞれ黄色、橙色、赤色で示した。

表 2. 夏季試験検定結果から推定された各品種のサツマイモつる割病抵抗性

品種	接種後 10 日目の発病指数		総合発病指数	抵抗性判定
	ポット検定	水耕検定		
あまはづき	0.1	0.0	0.1	強
こないしん	1.3	0.3	0.8	やや強
からゆたか	1.4	0.2	0.8	やや強
べにはるか	1.7	1.1	1.4	中
タマユタカ	1.7	0.8	1.3	中
高系 14 号	2.5	2.5	2.5	やや弱
ベニアズマ	2.7	2.8	2.7	弱
コガネセンガン	2.3	2.4	2.4	やや弱
シロユタカ	2.8	2.2	2.5	やや弱
ベニコマチ	2.6	2.8	2.7	弱

サツマイモつる割病の発病程度は、指数 0：病徴なし～指数 3：枯死の 4 段階で判定し、供試した全個体の接種後 10 日目の指数の平均値を発病指数とした。また、ポット検定における発病指数と水耕検定における発病指数の平均値を総合発病指数とした。抵抗性判定は、総合発病指数 0.5 未満を強、0.5 以上 1.0 未満をやや強、1.0 以上 2.0 未満を中、2.0 以上 2.6 未満をやや弱、2.6 以上を弱とした。

多いことを除き、冬季試験における結果と概ね一致した。ポット検定と水耕検定のいずれにおいても、「あまはづき」は「ベニコマチ」、「シロユタカ」、「コガネセンガン」、「ベニアズマ」、「高系 14 号」、「タマユタカ」、「べにはるか」と比べて少なくとも 5%水準で有意に発病が抑えられた (図 3)。また、「こないしん」は「ベニコマチ」、「シロユタカ」、「コガネセンガン」、「ベニアズマ」、「高系 14 号」と比べて少なくとも 5%水準で有意に発病が抑えられた (図 3)。一方、サツマイモつる割病菌を含まない水で苗浸漬した無接種無処理区では、ポット検定、水耕検定ともに (各品種それぞれ 5 個体、4 個体ずつ供試)、葉の黄変、茎の枯死等のつる割れ病の病徴を示す個体は認められず、供試苗はすべて健全であったものと推察された。

両検定における発病指数の平均値として総合発病指数を算出し、その数値により夏季試験における抵抗性を判定すると、「あまはづき」が強、「こないしん」と「からゆたか」がやや強、「べにはるか」と「タマユタカ」が中、「高系 14 号」、「コガネセンガン」、「シロユタカ」がやや弱、「ベニアズマ」と「ベニコマチ」が弱となった (表 2)。

3. 圃場試験

上記の温室における検定と同一の菌株を用いた圃場検定 (品種育成試験) の判定結果を表 3 に示す。「あまはづき」は 2018 年と 2020 年の 2 か年とも強、「タマユタカ」は 2 か年ともやや強、「べにはるか」は 2018 年が中、2020 年がやや強であった。「高系 14 号」と「ベニアズマ」は 2 か年とも中、「コガネセンガン」と「シロユタカ」はいずれも 2018 年がやや弱、2020 年が中、「ベニコマチ」は 2 か年とも弱であった。

表 3. 圃場検定で評価された各品種のサツマイモつる割病抵抗性

品種	2018 年		2020 年	
	発病指数	抵抗性判定	発病指数	抵抗性判定
あまはづき	1.6	強	1.4	強
べにはるか	2.6	中	2.2	やや強
タマユタカ	2.3	やや強	2.6	やや強
高系 14 号	3.4	中	3.1	中
ベニアズマ	3.8	中	4.1	中
コガネセンガン	4.7	やや弱	3.4	中
シロユタカ	5.1	やや弱	4.4	中
ベニコマチ	5.8	弱	5.7	弱

サツマイモつる割病の発病指数は、1：無～6：枯死の 6 段階で判定した。

抵抗性判定は、2018 年は発病指数 1.7 未満を強、1.7 以上 2.6 未満をやや強、2.6 以上 3.9 未満を中、3.9 以上 5.2 未満をやや弱、5.2 以上を弱とした。

2020 年は発病指数 1.8 未満を強、1.8 以上 2.8 未満をやや強、2.8 以上 4.5 未満を中、4.5 以上 5.5 未満をやや弱、5.5 以上を弱とした。

考 察

本研究では、近年育成された品種を含むサツマイモ 10 品種について、温室においてポット検定と水耕検定の両方でサツマイモつる割病抵抗性を評価した。ポット検定における接種条件等の方法は、小川ら (1979) は 10^8 個/ml の孢子懸濁液に苗の切り口を 30 秒浸漬したのに対して、本研究では多検体での操作性を考慮して 1.5×10^6 個/ml の孢子懸濁液に 30 分浸漬する方法に改変して実施した。一方、水耕検定では、 10^7 個/ml の孢子懸濁液を苗の茎中央部に針で接種した後水道水に挿苗する方法 (小川ら 1988) や、苗を 10^5 個/ml の孢子懸濁液中に挿苗してそのまま培養する方法 (Yang *et al.* 2018, Paul *et al.* 2020) が報告されているが、本研究では、 1.5×10^6 個/ml の孢子懸濁液に 30 分浸漬した後、水道水に挿苗する方法を適用した。いずれの方法においても接種後 5 日程度から葉や茎の枯死等の病徴が現れ、概ね既報と合致する品種間差が認められた。すなわち、小川ら (1979) の先行研究によって抵抗性弱とされた「ベニコマチ」は、本研究においても抵抗性弱と判定されが、これまで抵抗性強とされていた「タマユタカ」は、より強い抵抗性を示す品種が存在したため、中程度の抵抗性と位置付けられた。一方、近年育成された「あまはづき」、「こないしん」、「からゆたか」や、作付面積が急速に増加している「べにはるか」 (甲斐ら 2017) は、それぞれ抵抗性が強、やや強～強、やや強、中～やや強と判定され、従来品種を上回る抵抗性を有することが示唆された (表 1, 表 2)。これらの結果は、品種育成試験で実施されている圃場検定の結果 (表 3) とよく一致しており、「あまはづき」や「こないしん」が高い抵抗性を有することが、複数の条件において確認された。「べにはるか」については、別の先行研究 (堀田・高濱 2014) においても抵抗性であると判

定されている。特に強い抵抗性を示した「あまはづき」と「こないしん」は、既存品種を超えるつる割病抵抗性を有する品種としての作付けが期待できるだけでなく、今後の病害抵抗性サツマイモ品種開発における重要な育種素材であると考えられる。

本研究で実施したポット検定法および水耕検定法は、気象条件の変動の影響を受けにくく、健全な苗を調整できれば冬季にも実施可能であり、抵抗性判定結果が品種育成試験で年1回実施される圃場検定のものとよく一致したため、圃場検定を補完する検定方法として活用可能と考えられる。これらの検定においては、病原菌を接種した苗を培土あるいは水に挿苗した直後の温度管理に留意する必要がある。秋～冬の温室で継代により栽培される苗は、春～夏に種いもから萌芽する苗と比べて苗質が劣るため、植え付け直後の高温と乾燥の影響をうけて萎凋しやすい。このため、接種直後の温度管理に特段の注意を要する。温室の天窓、側窓を開放する等、過度の高温への暴露を回避する。しかしながら、ポット検定では、接種苗の植え付け直後に高温に暴露されて葉が激しく萎凋した場合においても、「あまはづき」、「こないしん」、「べにはるか」では、供試した5本の苗すべてが接種後16日目において枯死せずに生存した結果が得られている。冬季試験と夏季試験の結果を比較すると、夏季試験において「ベニアズマ」の発病が増えているが、供試した苗が徒長して苗質が低下したためと考えられる。夏季試験では生育が早いいため、品種によっては苗が徒長しやすい。このため、供試苗を増殖する際に挿苗の時期をずらすことによって、供試品種間で苗の生育状態をそろえることに留意する必要がある。ポット検定と水耕検定の2つの検定法を比較すると、ポット検定法のほうが病徴の進展が穏やかであるため(図1)、発病途中段階においても正確な抵抗性強弱判定が可能である。また、上記の通り高温に暴露された場合においても品種間差を評価しうる。このため、より多くの検体の検定にはポット検定法のほうが適すると判断する。

また、本研究では抵抗性強弱の判定指標として、冬季試験(表1)では11日間の指数の合計である累積発病指数を用い、夏季試験(表2)では接種後10日目の指数の平均値である発病指数を用いており、計算方法が異なる。冬季は苗数の確保が難しい。供試苗数が少ないと、特定の一日の発病指数だけでは品種間差が現れにくいいため、累積発病指数を用いた。累積発病指数を用いることで、苗数を十分に確保した夏季試験の特定の一日の発病指数を使った場合とほぼ同様の判定結果を得ることができたため、供試苗数が少ない場合は、累積発病指数の適用が有効と考えられる。

本研究では茨城県行方市で採取された16NGFo1株を用いて検定したが、今後他の産地で被害が発生した場合、現地で分離された菌株についても同様の方法で迅速に検定を実施することが可能である。また、近年、検定に労

力を要するサツマイモネコブセンチュウ抵抗性について、抵抗性の異なる2品種を交配して作成したF₁集団の量的形質遺伝子座(QTL)解析によりDNAマーカーを作成する試みが開始されている(Sasai *et al.* 2019)。このようなDNAマーカーを作成する際の多検体の抵抗性評価を反復して実施する場面においても、本研究の温室内検定法は有効と考えられる。我々は最近、次世代シーケンス技術を用いて、いも類等同質倍数体作物においてDNAマーカーを迅速に開発するpolyploid QTL-seq法を開発した(Yamakawa *et al.* 2021)。今後は、本検定方法を活用してサツマイモつる割病抵抗性DNAマーカー開発を進めたい。

謝 辞

本研究は農林水産省国際競争力強化技術開発プロジェクト「輸出促進のための新技術・新品種開発」(事業実施主体: 農研機構)の支援を受けて実施された。また、実施にあたり、農研機構次世代作物開発研究センターの羽鹿牧太氏(現東北農業研究センター)、田口和憲氏(現中日本農業研究センター)、九州沖縄農業研究センターの小林晃氏、小林有紀氏、ならびに遺伝資源センターの青木孝之氏にサツマイモつる割病菌について貴重な御助言をいただいた。菌検体調製においては、機器等で農研機構生物機能利用研究部門の瀬尾茂美氏、光原一朗氏に御支援をいただいた。温室および圃場試験の実施に際し、農研機構技術支援部中央技術支援センターつくば第3業務科谷和原畑作技術チームの科員の各位にご協力いただいた。ここに記して深謝の意を表する。

引用文献

- 堀田治邦・高濱雅幹(2014)北日本病虫研報 65: 32–36.
- 甲斐由美・境 哲文・片山健二・熊谷 亨・石黒浩二・中澤芳則・山川 理・吉永 優(2017)農研機構研報九州沖縄農研 66: 87–119.
- Katayama, K., A. Kobayashi, T. Sakai, T. Kuranouchi and Y. Kai (2017) Breed. Sci. 67: 3–14.
- 農林水産省地域作物課(2019)いも・でん粉に関する資料. 農林水産省.
- 小川 奎(1988)農研センター研報 10: 1–125.
- 小川 奎・竹股知久・竹内昭士郎・駒田 旦・安藤隆夫(1979)農事試研報 30: 97–120.
- Paul, N.C., W. Park, S. Lee, M.N. Chung, H.U. Lee and J.W. Yang (2020) Plants 9: 497.
- Sasai, R., H. Tabuchi, K. Shirasawa, K. Kishimoto, S. Sato, Y. Okada, A. Kuramoto, A. Kobayashi, S. Isobe, M. Tahara *et al.* (2019) DNA Res. 26: 399–409.
- 島田 峻・赤井浩太郎・西宮智美・渡邊 健・有江 力(2017)日植病報 83: 211.
- Yamakawa, H., E. Haque, M. Tanaka, H. Takagi, K. Asano, E. Shimosaka, K. Akai, S. Okamoto, K. Katayama and S. Tamiya (2021) Plant Biotechnol. J. 19: 2040–2051.
- Yang, Z., Y. Lin, H. Chen, W. Zou, S. Wang, Q. Guo and X. Chen (2018) Crop Sci. 58: 1558–1565.