

熊本県への導入に適するトマト黄化葉巻病抵抗性品種の検討と減収抑制効果の評価法

熊本県農業研究センター農産園芸研究所 ^{つつみ} 堤

^{やす} 泰 ^{ゆき} 之*

は じ め に

トマト黄化葉巻病はタバココナジラミ *Bemisia tabaci* (Gennadius) が媒介する *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) の感染で発病するウイルス病である。日本国内では、1998 年に静岡県、愛知県、長崎県で発生が確認され (KATO et al., 1998)、以降、西日本を中心に発生が拡大し、トマト産地に多大な被害を与えている。TYLCV には性質の異なる五つの系統があり、各系統には遺伝子配列の異なる株が存在する。日本では西日本を中心に分布するイスラエル系統長崎株、東海地方を中心に発生するマイルド系統愛知株、同静岡株 (UEDA et al., 2004)、およびイスラエル系統とマイルド系統のリコンビナント株である土佐株の 4 株が報告されている (UEDA et al., 2005)。

トマトには複数の TYLCV 抵抗性遺伝子がある。これまで報告された抵抗性遺伝子はすべて TYLCV に感染するが (NITANY, 1975)、ウイルスの増殖や病徴の発現を抑制するものである (斎藤, 2006)。したがって、抵抗性遺伝子を導入した品種であっても、発病による減収の可能性 (以下栽培リスク) がある。また、TYLCV に対する増殖抑制効果と発病抑制効果は、抵抗性遺伝子の種類や数、組み合わせによって異なることが予想される。国内では、抵抗性遺伝子 *Ty-1*、*Ty-2*、*Ty-3* および *Ty-3a* を単独または複数保有する抵抗性品種が販売されており (斎藤ら, 2008)、導入にあたっては、事前に栽培リスクを評価し、産地に最も適した品種を選定することが重要である。

本研究では、抵抗性品種に熊本県内で発生している TYLCV イスラエル系統長崎株を接種し、熊本県内における栽培に適した抵抗性品種の検討を行った。また、栽培リスク評価法を確立するため、TYLCV の感染がトマトの生育や収量に及ぼす影響を調査し、栽培リスクを評

価するうえで必要となる調査項目、調査を行う生育ステージおよび調査方法等を検討した。また、リスク評価は従来 TYLCV が発生する野外圃場で行われていたが、周辺圃場への保毒虫飛散や均一な感染圧の確保等に問題があり、安全で正確な評価が困難であったため、閉鎖環境で実施可能な栽培リスク評価手法を検討した。

I 試 験 方 法

1 供試品種

トマト黄化葉巻病抵抗性品種 ‘TY 桃太郎さくら’ (タキイ種苗、抵抗性遺伝子: *Ty-2*)、‘AEGEAN’ (エンザ、*Ty-3a*)、系統 A (*Ty-1* と *Ty-3* をもつ系統) および罹病性品種 ‘ハウス桃太郎’ (タキイ種苗) を供試品種とした。供試品種は、2008 年 7 月 18 日に播種し、ガラスハウス内に設置した網室 (側面および天井は目合い 0.2 mm × 0.4 mm の防虫ネットを展張) 内で定植期まで育苗した。なお、網室は接種用と無接種用の 2 室設置した。接種用網室および無接種用網室内には、供試品種の苗を各 20 株収容した。

2 TYLCV の接種

熊本県内で採取した TYLCV イスラエル系統長崎株 (以下 TYLCV-IL) が感染したトマト苗およびタバココナジラミバイオタイプ Q (*Bemisia tabaci* biotype-Q) を収容した接種用網室内に供試品種の苗を配置し、保毒虫により感染させた。育苗期の接種は、7 月 13 日～9 月 2 日までとした。育苗期に TYLCV-IL を接種した各供試品種の 20 株は、9 月 2 日に接種用網室と無接種用網室へ 10 株ずつ定植した。このとき、無接種用網室へ定植した株にはピリダベンフロアブル (サンマイトフロアブル) を散布し、タバココナジラミを除去した。また、育苗期に TYLCV-IL を接種しなかった各供試品種の 20 株は、接種用網室と無接種用網室にそれぞれ 10 株を定植した。定植直後に接種用網室へタバココナジラミを追加放飼し、育苗期に発病したトマト株を感染源として、収穫終了時まで保毒虫が発生する環境を維持し、供試品種に接種した。これらの操作により、TYLCV の①育苗期接種、②本圃期接種、③育苗期+本圃期接種および④無接種の 4 区を設けた。

A Study on Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistant Varieties Suitable for Incorporation into Kumamoto Prefecture, and the Evaluation Methods of the Suppressive Effects on Yield Decrease. By Yasuyuki TSUTSUMI

(キーワード: トマト黄化葉巻病, 抵抗性品種, TYLCV, タバココナジラミバイオタイプ Q, 栽培リスク)

* 現所属: 熊本県農業研究センター天草農業研究所

3 耕種概要

定植は第1花房開花期である9月2日に、畝幅140 cm、株間40 cm、1条植えで行った。誘引は、地上約2 mに設置した直管を利用したつる下ろし誘引とした。着果処理は4-CPA液剤（トマトトーン）100倍希釈液で行った。5果以上の着果を確認した果房は、1花房当たり4果に摘果した。摘心は、12月30日に‘AEGEAN’は第7花房の上位2葉を残して、その他の品種は第9花房の上位2葉を残して行った。

4 発病および感染調査

成長点付近の葉に黄化や縮葉等の病徴が確認された株を発病株とし、発病株数を育苗期は7月13日～9月2日まで1日おきに、本圃期は9月2日から摘心した12月30日まで7日おきに調査した。TYLCV-ILの感染については、定植時の9月2日と栽培終了時の2009年2月20日に、成長点から3葉目の先端の小葉を採集し、大貫（1999）の方法によりPCR法で検定した。

5 生育および収穫調査

2008年10月23日～09年2月20日までに収穫された果房、すなわち‘AEGEAN’は第1～7果房、その他の品種は第1～9果房について、果重、果数および果実品質を調査した。ただし、果重90 g未満の小果は収量から除外した。生育は、収穫終了後に摘心部位までの草丈と展開葉数を調査した。ただし、無接種用網室の中央部に定植した育苗期接種の‘TY桃太郎さくら’5株は、

落花が多発したため生育および収量調査の対象から除外した。また、育苗＋本圃期接種の系統A1株と‘ハウス桃太郎’2株については、トマト黄化葉巻病の発病により萎縮した成長点付近に葉かび病が多発し、生育が抑制されたため、生育および収量調査の対象から除外した。

II 抵抗性品種におけるTYLCVの感染と発病

トマト黄化葉巻病抵抗性遺伝子は、いずれもTYLCVの感染を抑制せず、感染したTYLCVの増殖や移動を抑制し、PCR法で検出可能な、あるいは病徴を発現する閾値以下にウイルス濃度を抑えたと考えられている。ここでは、PCR法で区別できない未感染株と、感染株であるがTYLCV-IL未検出株をまとめて未感染株とし、未感染株を増やす効果を感染抑制効果とした。

育苗期接種、本圃期接種および育苗期＋本圃期接種はいずれも‘ハウス桃太郎’の発病株率が100%となる条件であった。TYLCV接種によるトマト黄化葉巻病の感染および発病は、供試したすべての品種で確認された（表-1）。育苗＋本圃期に接種した‘TY桃太郎さくら’では、定植時に10株中3株の、栽培終了時に10株中5株の感染が確認された。定植時に感染が確認された3株は、定植時無病徴であったが、栽培終了時発病株となった。栽培終了時に新たに感染が確認された2株のうち1株は発病株であった。本圃期に接種した‘TY桃太郎さくら’では、栽培終了時に10株中1株で感染が確認された

表-1 抵抗性遺伝子の異なるトマト品種へのTYLCV接種と黄化葉巻病の発病

品種	接種期	発病株数	
		定植時	栽培終了時
TY桃太郎さくら (抵抗性遺伝子: Ty-2)	育苗	0/10 ^y (0/10) ^z	0/10
	本圃	0/10 (0/10)	0/10 (1/10)
	育苗＋本圃	0/10 (3/10)	4/10 (5/10)
	無接種	0/10 (0/10)	0/10
AEGEAN (抵抗性遺伝子: Ty-3a)	育苗	10/10 (10/10)	10/10
	本圃	0/10 (0/10)	10/10
	育苗＋本圃	10/10 (10/10)	10/10
	無接種	0/10 (0/10)	0/10
系統A (抵抗性遺伝子: Ty-1, Ty-3)	育苗	9/10 (9/10)	9/10
	本圃	0/10 (0/10)	10/10
	育苗＋本圃	10/10 (10/10)	10/10
	無接種	0/10 (0/10)	0/10
ハウス桃太郎	育苗	10/10 (10/10)	10/10
	本圃	0/10 (0/10)	10/10
	育苗＋本圃	10/10 (10/10)	10/10
	無接種	0/10 (0/10)	0/10

^z: TYLCV 検出株数/供試株数, 分母は供試株数. ^y: 発病株数/供試株数.

が無病徴であった。育苗期の接種で感染した株は20株中3株であり、‘ハウス桃太郎’の20株中20株に比べ少なかった。‘AEGEAN’は、育苗期、本圃期、育苗+本圃期の接種ですべての株が感染し発病した。系統Aは、育苗期接種で20株中1株が未感染であったが、その他の株はすべて発病した。‘ハウス桃太郎’と同じ割合で発病が確認された。したがって、‘AEGEAN’、系統Aと‘ハウス桃太郎’の感染、発病頻度に差はなかった。

‘ハウス桃太郎’は育苗期接種で接種開始20日後から発病株が確認され、41日後にすべての株が発病した。これに対して‘AEGEAN’は、発病株の確認が22日後と‘ハウス桃太郎’よりやや遅く、発病株の増加もやや遅れたが、41日後にはすべての株が発病した。系統Aでは、‘ハウス桃太郎’に比べて発病株の増加が2日程度遅れたものの、発病株の初確認日や41日後の発病株数に差は認められなかった(図-1)。

育苗+本圃期接種に供試した‘ハウス桃太郎’、‘AEGEAN’および系統Aの株は、すべて定植時に発病していた。このうち、‘ハウス桃太郎’と系統Aは栽培終了時まで病徴が確認されたが、‘AEGEAN’は、接種開始133日後(12月3日)から成長点付近で確認されていた黄化や縮葉等の病徴が消失した。ただし、栽培終了時に発生していた脇芽には病徴が認められた。‘TY 桃太郎さくら’では、育苗期に感染した3株が定植された。これらの感染株は、接種開始62日後から病徴が確認された。

また、定植後に感染が確認された2株のうち1株は定植90日後に病徴が認められた(図-2)。本圃期接種の‘ハウス桃太郎’は、接種開始後14日目にすべての株が発病した。これに対して、‘AEGEAN’および系統Aは接種開始後21日目に発病株が確認され、すべての株に病徴が確認されたのは、‘AEGEAN’が49日目、系統Aが56日

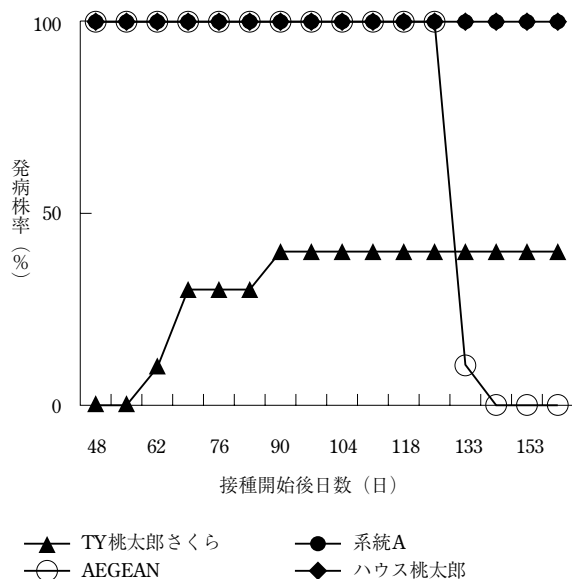


図-2 TYLCV-ILの育苗期+本圃期における抵抗性遺伝子が異なるトマト品種の発病株率の推移

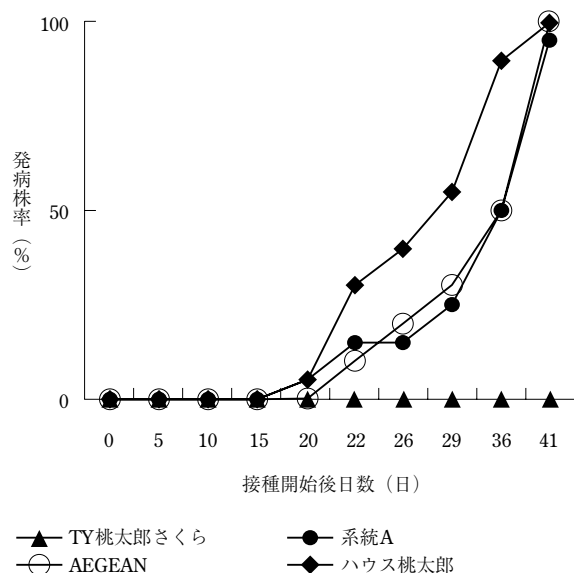


図-1 TYLCV-ILの育苗期接種における抵抗性遺伝子が異なるトマト品種の発病株率の推移

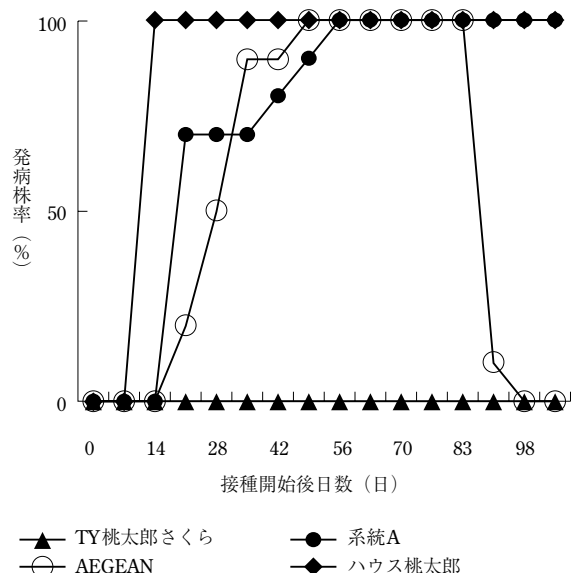


図-3 TYLCV-ILの本圃期における抵抗性遺伝子が異なるトマト品種の発病株率の推移

目であった (図-3)。なお、本圃期接種の‘TY 桃太郎さくら’は、栽培終了時に 10 株中 1 株が感染株であったが無病徴であった。

今回の接種条件下では、‘AEGEAN’および系統 A の感染株率は、‘ハウス桃太郎’と差が認められなかった。また、発病時期が 2 日程度遅れるものの、すべての感染株が発病したことから、‘AEGEAN’および系統 A は TYLCV-IL に対する感染および発病抑制効果はないと考えられる。

III 発病株の生育

栽培終了時における発病株の草丈は、無発病株に対して‘TY 桃太郎さくら’で 77%, ‘AEGEAN’で 84 ~ 91%, 系統 A で 71 ~ 88%, ‘ハウス桃太郎’で 55 ~ 71% と短く、生育は有意に抑制された (表-2)。しかし、発病株の葉数は、各品種とも無接種株と有意差はなく同等であった。接種草丈/葉数により算出した発病株の平均節間長は、各品種の無接種株に対して有意に短かった。よって、発病による生育抑制は、主に節間の伸長が阻害されることで引き起こされると考えられる。

IV 抵抗性品種の発病と収量

発病株の収量は、各品種で無接種株に対して有意に減

少した (図-4)。無接種株の収量に対して‘TY 桃太郎さくら’では 55%, ‘AEGEAN’では 61 ~ 75%, 系統 A では 55 ~ 69% であった。‘ハウス桃太郎’では 4 ~ 26% であった。

発病株の果数は、無接種株に対して有意に減少した (図-5)。発病株の果数は、無接種株に対して‘TY 桃太郎さくら’では 63%, ‘AEGEAN’では 68 ~ 78%, 系統 A では 49 ~ 70% であった。‘ハウス桃太郎’では 7 ~ 33% であった。

抵抗性品種における発病株の 1 果重は、無接種株に対して減少傾向であったが、有意差は認められなかった (図-6)。発病株の 1 果重は、無接種株に対して‘TY 桃太郎さくら’では 86%, ‘AEGEAN’では 91 ~ 96%, 系統 A では 98 ~ 111% であった。しかし、‘ハウス桃太郎’では有意に減少し、68 ~ 82% であった。

抵抗性遺伝子 *Ty-3a* をもつ ‘AEGEAN’ と *Ty-1* および *Ty-3* をもつ系統 A の発病株は、生育が抑制され、着果数が減少することで収穫終了時までの収穫量が減少した。しかし、減収率は最も大きい育苗+本圃期接種でも 61% および 55% と ‘ハウス桃太郎’の 4% に比べ低く、発病による減収を抑制する効果は認められた。したがって、両品種は TYLCV-IL の増殖を抑制することで発病程度およびそれに伴う減収割合を軽減すると考えられ

表-2 品種・感染時期の違いおよび発病の有無が生育に及ぼす影響 (2009 年 2 月 17 日調査)

品種	接種時期	感染	発病	株数 (n)	草丈 (a) (cm)	葉数 (b) (枚)	a/b (cm/枚)
TY 桃太郎 さくら	育苗期	— ^z	—	5	288.6 ± 26.1 ^{ns}	33.3 ± 1.7 ^{ns}	8.7 ^{ns y}
	本圃期	—	—	9	266.3 ± 21.4 [*]	32.7 ± 1.5 ^{ns}	8.2 ^{ns}
	育苗+本圃期	+ ^z	+	4	217.3 ± 19.5 ^{**}	36.0 ± 1.9 ^{ns}	6.0 ^{**}
		—	—	5	275.0 ± 10.6 ^{ns}	33.4 ± 1.0 ^{ns}	8.2 ^{ns}
	無接種	—	—	10	282.5 ± 13.5	32.8 ± 1.8	8.6
AEGEAN	育苗期	+	+	10	199.6 ± 5.7 ^{**}	28.7 ± 2.8 ^{ns}	7.0 ^{**}
	本圃期	+	+	9	216.9 ± 19.3 [*]	29.4 ± 1.4 ^{ns}	7.4 ^{**}
	育苗+本圃期	+	+	10	202.3 ± 24.7 ^{**}	29.3 ± 2.1 ^{ns}	6.9 ^{**}
	無接種	—	—	10	237.6 ± 14.2	28.8 ± 1.9	8.3
系統 A	育苗期	+	+	9	212.1 ± 18.3 ^{**}	34.0 ± 0.9 ^{ns}	6.2 ^{**}
	本圃期	+	+	10	230.2 ± 33.0 ^{**}	34.6 ± 2.1 ^{ns}	6.7 ^{**}
	育苗+本圃期	+	+	9	199.6 ± 26.2 ^{**}	37.2 ± 2.1 ^{**}	5.4 ^{**}
	無接種	—	—	10	279.3 ± 16.7	34.0 ± 1.5	8.2
ハウス 桃太郎	育苗期	+	+	10	154.7 ± 12.4 ^{**}	34.1 ± 4.4 ^{ns}	4.5 ^{**}
	本圃期	+	+	10	189.4 ± 11.9 ^{**}	34.9 ± 4.3 ^{ns}	5.4 ^{**}
	育苗+本圃期	+	+	8	145.0 ± 16.9 ^{**}	35.6 ± 2.4 ^{ns}	4.1 ^{**}
	無接種	—	—	10	265.0 ± 14.1	34.1 ± 1.6	7.8

^z + : 感染または発病あり, — : 感染または発病なし. ^y 両側 t 検定により, 同一品種の無接種株に対して, ** : 1% 水準で有意差あり, * : 5% 水準で有意差あり, ns : 有意差なし.

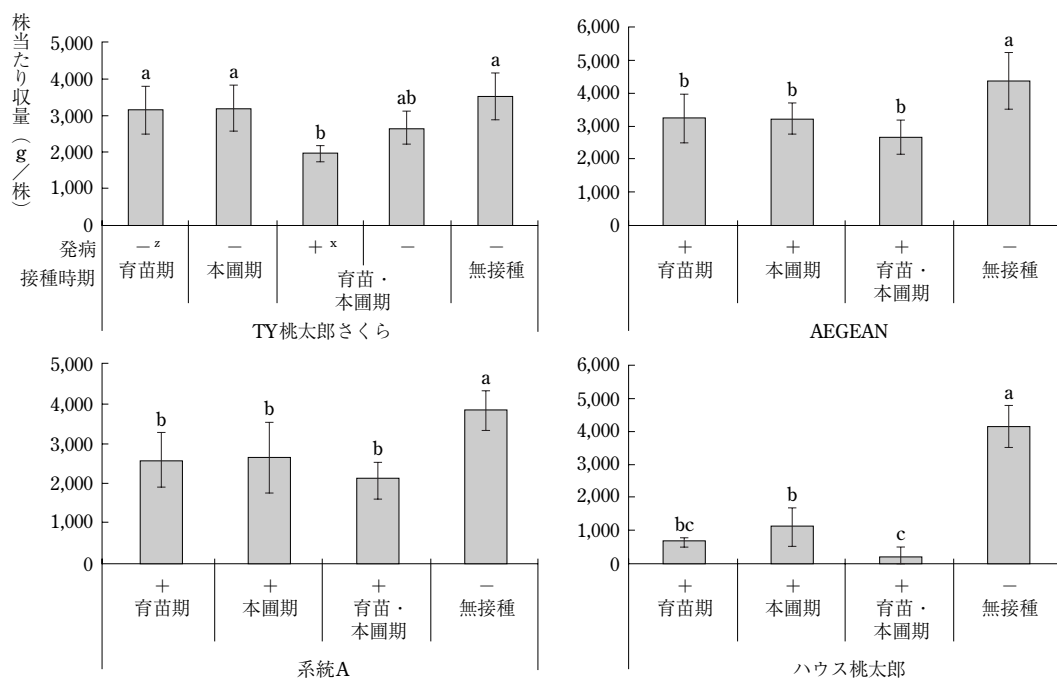


図-4 抵抗性遺伝子および接種時期の違いが収量に与える影響

同一品種の異なる文字間で Tukey 多重比較により 5%水準で有意差あり.

z-: 発病が確認されなかった株, x+: 病徴が確認された株.

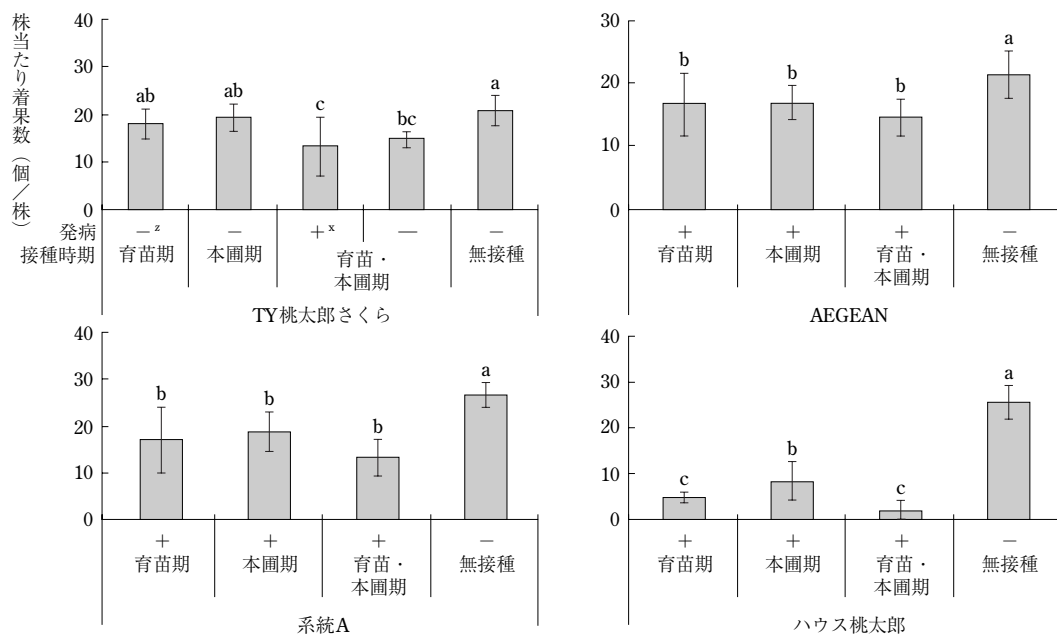


図-5 抵抗性遺伝子および接種時期の違いが着果数に与える影響

同一品種の異なる文字間で Tukey 多重比較により 5%水準で有意差あり.

z-: 発病が確認されなかった株, x+: 病徴が確認された株.

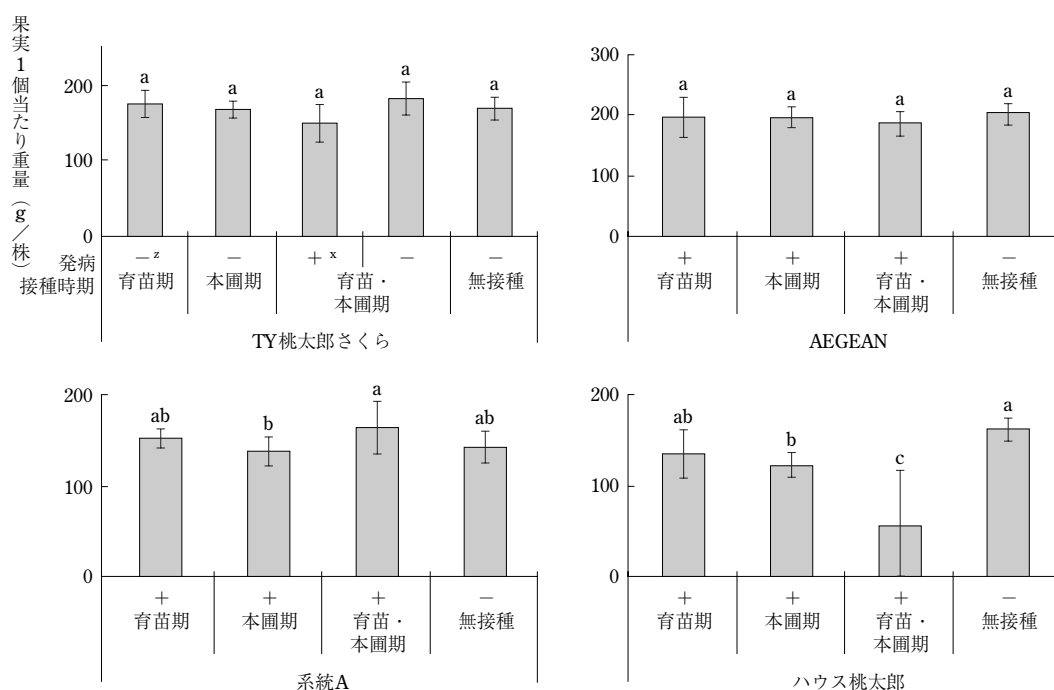


図-6 抵抗性遺伝子および接種時期の違いが1果重に与える影響
同一品種の異なる文字間でTukey多重比較により5%水準で有意差あり。
z-：発病が確認されなかった株，x+：病徴が確認された株。

る。一方、‘TY 桃太郎さくら’は、同一の接種条件において育苗期接種で20株中3株からTYLCVが検出され、本圃定植後に発病した。また、本圃期のみ接種した‘TY 桃太郎さくら’では、10株中1株で感染を確認した。これらの感染および発病頻度は‘ハウス桃太郎’に比べて有意に低く、感染および発病抑制効果が認められた。ただし、発病株では生育が抑制され、着果数および収量の減少が認められた。したがって、Ty-2をもつ‘TY 桃太郎さくら’は感染から発病に至るウイルス増殖を強く抑制するものの、発病から減収につながるウイルス増殖抑制効果は低いと考えられる。

V 抵抗性品種の栽培リスク評価

1 導入に適する品種

前章で述べたことから、TYLCV イスライエル系統長崎株が発生している熊本県では、供試した3抵抗性品種・系統のうち‘TY 桃太郎さくら’が導入品種として適していると考えられた。また、抵抗性遺伝子としてTy-2が有効であることが示唆された。ただし、今回の試験で使用する品種は、各抵抗性遺伝子1品種・系統であった。また、抵抗性遺伝子をホモあるいはヘテロでもつ場

合でも抵抗性強度が変わることが予想される。今後、複数の品種を比較し、各抵抗性遺伝子のTYLCV-IL系統に対する抑制効果を明らかにする必要がある。

2 栽培リスクの評価法

TYLCV-ILによる減収は、発病株のみで確認された。また、発病株の発生頻度は、抵抗性遺伝子の有無あるいは抵抗性遺伝子の種類でも異なると考えられる。さらに、発病株の減収率は、品種により異なると推察される。したがって、抵抗性品種の栽培リスクは、評価するトマト品種にTYLCVを虫媒接種し、発病株率および発病株の無接種株に対する減収率を求めることで評価できると考えられる。また、栽培リスクは、発病株率と減収率の結果から、次の式により栽培リスク指数として評価が可能である。

栽培リスク指数＝発病率×発病株の減収率×100
(栽培リスク小：0≤栽培リスク指標≤栽培リスク大：100)

このとき、ウイルスの接種圧を示すため、罹病性品種を供試品種とともに接種を行い、罹病性品種の発病率を栽培リスク指標とともに記載することが必要である。

行徳ら(2008)は‘ハウス桃太郎’を用いて感染時期が

早いほど感染から発病期間が短く、減収率が高いことを報告している。本試験において、‘AEGEAN’および系統 A の減収率は、育苗期接種および本圃期接種間で有意差は見られなかったが、育苗期接種の発病期間は、本圃期接種が 49 日および 55 日に対して、41 日と短い傾向が見られた。したがって、接種は、処理期間の短縮と処理中の管理の簡便性等も考慮して育苗期接種とし、鉢上げ直後（本葉 2 葉期ころ）から開始し、定植期（第 1 花房開花前）まで継続して行うことが適当と考えられる。

減収率の調査は、育苗期に接種した株から PCR 法によって感染株を検出した後、媒介昆虫の影響を受けない本圃に感染株および無接種株を定植して収量を調査し、無接種株に対する減収率を求める。このとき、第 1 果房は、発病の前後に開花するため収量への影響が少ないと推察されることや、収量のばらつきが大きかったこと等から、調査から除外することが望ましいと考えられる。今回の調査において、第 1 果房の収量を除外した第 2 ～ 4 果房の減収率と最終的な減収率には、有意差は見られなかった。また、本圃の生育期間中において、

‘AEGEAN’発病株の病徴は、気温が低下した 12 月に消失が確認され、気温が上昇した栽培後期に再び発現した。斎藤ら（2009）は、抵抗性遺伝子 *Ty-1* および *Ty-3* を有する品種は、TYLCV に感染すると高温条件下では植物体中のウイルスが急激に増殖し、発病することを報告している。したがって、抵抗性品種の発病は、栽培時における環境条件の影響を受けることが考えられるため、調査を実施する環境は、季節による気温などの変動を考慮し、導入する品種の作型に応じて設定する必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 行徳 裕ら (2008): 熊本県農業研究センター研究報告第 15 号: 50 ～ 61.
- 2) KATO, K. et al. (1998): Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 64: 552 ～ 559.
- 3) NITANY, F. E. (1975): Phytopath. Medit. 14 (2-3): 127 ～ 129.
- 4) 大貫正俊 (1999): 平成 11 年度研究成果情報 (九州地域・全文版) 第 15 号: 441 ～ 442.
- 5) 斎藤 新 (2006): 野菜茶業研究集報第 3 号: 99 ～ 102.
- 6) ————ら (2008): 園学研 7 号 (別冊 1): 107.
- 7) ————ら (2009): 同上 8 号 (別冊 2): 443.
- 8) UEDA, S. et al. (2004): J. Gen. Plant Pathol. 70: 232 ～ 238.
- 9) ———— and S. TAKEUCHI (2005): ibid. 71: 319 ～ 325.

(新しく登録された農薬 43 ページからの続き)

移植水稻: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ヘラオモダカ (北海道, 東北), ミズガヤツリ (北海道を除く), アオミドロ・藻類による表層はく離

●グリホサートイソプロピルアミン塩液剤 ※新規参入
22663: クサトリナー (エス・ディー・エス バイオテック) 10/04/07

グリホサートイソプロピルアミン塩: 41.0%

フリーパス (No. 19689) と同様の適用

●ブロマシル粉粒剤 ※新規参入

22664: こっぱ S (レインボー薬品) 10/04/07

ブロマシル: 1.0%

快速除草 (No. 21697) と同様の適用

●オリザリン水和剤 ※新製剤

22670: サーフラン 15SC (ユーピーエルジャパン) 10/04/21

22671: ウィードロック (丸和バイオケミカル) 10/04/21
オリザリン: 15.0%

日本芝 (生産圃場, ゴルフ場): 一年生雑草

●MDBA 粒剤 ※名称変更

22677: ホクサンバンペルー D 粒剤 (北海三共) 10/04/21
MDBA: 2.5%

三共バンペルー D 粒剤 (No. 16283) から商品名のみ変更

●ピリブチカルブ・プレチラクロール乳剤 ※名称変更

22680: ホクサンシング乳剤 (北海三共) 10/04/21

ピリブチカルブ: 12.0%, プレチラクロール: 8.0%

北海三共シング乳剤 (No. 22326) から商品名のみ変更

●グリホサートイソプロピルアミン塩液剤 ※新規参入

22681: クサフージシャワー (キング園芸) 10/04/21

グリホサートイソプロピルアミン塩: 1.0%

クサトリローゼ除草スプレー (No. 20707) と同様の適用