

青枯病抵抗性トマト安濃9号の育成とその特性[†]

山田 朋宏・吉田 建実*・齋藤 猛雄・門馬 信二**
 斎藤 新・松永 啓・佐藤 隆徳***・坂田 好輝

(平成21年8月7日受理)

Development and Characteristics of Tomato Ano 9 Go,
 a Tomato Line with a High Level of Bacterial Wilt Resistance

Tomohiro Yamada, Tatemi Yoshida, Takeo Saito,
 Shinji Monma, Atsushi Saito, Hiroshi Matsunaga,
 Takanori Sato and Yoshiteru Sakata

I 緒 言

青枯病はトマトをはじめナス科野菜において最も大きな被害をもたらす土壌伝染性病害の1つであり、その病原菌 (*Ralstonia solanacearum*) は土壌中で複数年にわたり病原性を保持する。通常、青枯病の汚染圃場では、発病抑制を目的として、青枯病抵抗性台木を用いるが、台木の根の傷等から進入した青枯病菌が、導管を通じて穂木まで伝わり、発病に至る例が報告されており (Nakaho et al., 1996)、完全に発病を抑制することは難しいことから、青枯病防除には簡便・確実な臭化メチルによる土壌消毒が併用されてきた。しかし、日本では2005年よりトマト栽培における臭化メチルの使用が全面禁止となり (西, 2007)、台木・穂木ともに青枯病抵抗性を有する品種の重要性が一層増している。

野菜茶業研究所内の青枯病汚染圃場には、尾崎・木崎 (1989) の分類における I~IV 群菌等が存在することから、各種青枯病菌に対するナス科野菜の抵抗性システムを同時に選抜することが可能な検定圃場として有用であると

考えられる。野菜茶業試験場 (現野菜茶業研究所) では、1985年より生食用の青枯病抵抗性育種素材の育成に着手し、果実が大玉で青枯病抵抗性を有する系統を本青枯病汚染圃場内で選抜・固定し、‘とまと中間母本農9号’ (2004年8月18日品種登録第12207号) (門馬ら, 2002) として品種登録した。しかしながら本中間母本の青枯病抵抗性は、当時最も強い台木用品種 ‘LS89’ と同等ないしやや劣った (門馬ら, 2002) ため、より高度な青枯病抵抗性を有する生食用トマト育種素材の育成に着手することとした。そのためには新たな青枯病抵抗性遺伝子 (群) を集積することが必要であると考え、Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC) より提唱された、世界各地で育成された青枯病抵抗性トマトの同時比較検定に関する共同研究 (Wang and Hanson, 1996; Wang et al., 1998) において導入した青枯病抵抗性品種・系統のうち、比較的大果の ‘R-3034-3-10-N-UG’ (Javier, 1993; Wang et al., 1998) に注目した。我々は、この ‘R-3034-3-10-N-UG’ を育種素材として ‘とまと中間母本農9号’ との交雑を行い、完熟果色が桃色で、より高度の青枯病抵

〒514-2392 三重県津市安濃町草生360

野菜育種研究チーム

* 野菜研究調整監

** 福島県農業総合センター

*** 研究支援センター

† 本報告の一部は平成19年度園芸学会春季大会 (2007年度) で講演した。

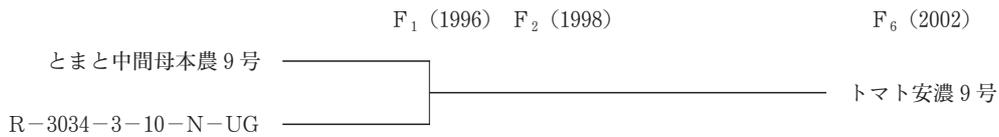


図-1 トマト安濃9号の育成図

抗性を有する生食用系統、トマト安濃9号を選抜した。本系統は特性検定試験において安定した青枯病抵抗性を示したが、同じく生食用の‘とまと中間母本農9号’に比べ、果実が小さいこと、また、糖度が低いことから、最終的には中間母本候補とならなかった。

しかしながら、トマト安濃9号は両親よりも高度の青枯病抵抗性を示し、その抵抗性は、‘とまと中間母本農9号’から受け継いだ抵抗性遺伝子群またはその一部に、‘R-3034-3-10-N-UG’の新たな抵抗性遺伝子(群)を集積した結果得られたものと推定される。そのためトマト安濃9号は、生食用トマトにおける新たな青枯病抵抗性育種素材として有用であると考えられることから、種子を公開することとした。本報では、トマト安濃9号の育成経過とその特性について紹介する。

なお、本系統に対する特性検定試験の実施にあたり、千葉県農業総合研究センター、兵庫県立農林水産技術総合センターおよび宮崎県総合農業試験場の担当者各位より多大なご協力を賜った。また、本系統育成期間において、野菜茶業研究所研究支援センター業務第1科各位には、圃場作業全般に渡り献身的なご支援を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

II 育成経過

桃色完熟果、非心止まり性の青枯病抵抗性品種‘とまと中間母本農9号’を育成親として、また赤色完熟果、心止まり性の青枯病抵抗性フィリピン在来品種‘R-3034-3-10-N-UG’をもう一方の育成親として1996年に交雑し、草勢や青枯病抵抗性をもとに自殖および選抜を繰り返した。2002年にF₆世代において、完熟果色が桃色で高度青枯病抵抗性を有する系統にトマト安濃9号の系統名を付した(図-1)。2003~2005年にわたり千葉県、兵庫県および宮崎県において特性検定試験を実施した結果、本系統は青枯病抵抗性(表-1)ならびに萎凋病(レース1)抵抗性(表-2)を有すること、また半身萎凋病には罹病性(データ略)であることが確認された。

表-1 特性検定試験地におけるトマト安濃9号の青枯病抵抗性の判定

試験地	2003年	2004年	2005年
千葉県	○	○	○
兵庫県	○	○	△
宮崎県	○	○	○

標準品種：‘大型福寿’、‘影武者’、‘LS 89’および‘とまと中間母本農9号’(2003年を除く)

○：抵抗性を示し有望である、△：再検討を要す、×：見込みなし

表-2 特性検定試験地におけるトマト安濃9号の萎凋病(レース1)抵抗性の判定

試験地	2003年	2004年	2005年
千葉県	○	○	○
兵庫県	△	△~○	○
宮崎県	○	○	○

標準品種：‘大型福寿’、‘Walter’および興津1号

○：抵抗性を示し有望である、△：再検討を要す、×：見込みなし

III 系統特性

1 青枯病抵抗性

2001年から2006年にかけて野菜茶業研究所内の青枯病汚染圃場において、門馬らの報告(2002)に準じて、土壌灌注接種による青枯病抵抗性検定を実施したところ、トマト安濃9号は育成親の青枯病抵抗性品種‘とまと中間母本農9号’だけでなく、2001年当時最も強い青枯病抵抗性台木用品種の一つであった‘LS 89’よりも発病度が有意に低く、高度の青枯病抵抗性を有していることが示された(表-3)。また、同様に2004年および2006年に実施した抵抗性検定において、トマト安濃9号の青枯病抵抗性は、もう一方の育成親の‘R-3034-3-10-N-UG’と同等以上であった(表-3)。

また、近年‘LS 89’と同等以上の青枯病抵抗性を有する台木用品種が発表されたことから、2006年に各種市販台木用品種との青枯病抵抗性の比較を行った。その結果、トマト安濃9号はこれら台木用品種と同等以上の青枯病抵抗性を示し(表-4)、その有用性が明らかとなった。

2 一般特性

一般特性として、表-5 および表-6 に示す各種特性について調査を行った。トマト安濃9号は、高温期に一部心止まり性を示すことがあるものの、通常は非心止まり性で、葉巻性はやや強である（表-5、写真-1）。節

表-3 トマト安濃9号の青枯病抵抗性

品種・系統名	用途	平均発病度 ^z	
		2001~2006年 ^y	2004、2006年
トマト安濃9号	生食用育種素材	24.4 ^a	
とまと中間母本農9号	生食用中間母本	59.3 ^b	
LS 89	台木用品種	61.6 ^b	
影武者	台木用品種	100.0	
瑞栄	生食用品種	100.0	
大型福寿	生食用品種	100.0	
トマト安濃9号	生食用育種素材		25.5
R-3034-3-10-N-UG	育種素材		51.0

^z 接種菌濃度は $3\sim 8\times 10^8$ (個/ml) とし、野菜茶業研究所内の青枯病汚染圃場内で実施した。

発病度：{ Σ 各個体の発病程度 / (4 \times 個体数)} \times 100

発病程度：「0：外部病徴なし」, 「1：葉の萎凋 1-33%」,
「2：葉の萎凋 34-66%」, 「3：葉の萎凋 67-100%」,
「4：枯死」(接種70日後)

^y 異なるアルファベットは、Steel法により5%水準で有意であることを示す。

表-4 トマト安濃9号の青枯病抵抗性
(台木品種との比較)

品種・系統名	用途	定植株数	発病株率 (%)	平均発病度 ^z
トマト安濃9号	生食用育種素材	7	43	11
Bバリア	台木用品種	7	43	14
ボランチ	台木用品種	7	29	18
BF興津101号	台木用品種	7	86	32
LS 89	台木用品種	7	57	39
大型福寿	生食用品種	7	100	100

2006年5月18日に播種し、6月27日に野菜茶業研究所内の青枯病汚染圃場に定植した。栽植密度は畝幅180cm、株間40cm、条間70cmの2条植えとした。

7月19日に株元を断根後、菌濃度 4×10^8 (個/ml) で土壌灌注接種し、9月30日まで調査した。

^z 発病度：{ Σ 各個体の発病程度 / (4 \times 個体数)} \times 100

発病程度：「0：外部病徴なし」, 「1：葉の萎凋 1-33%」,
「2：葉の萎凋 34-66%」, 「3：葉の萎凋 67-100%」,
「4：枯死」(接種70日後)

間長は‘瑞栄’や‘桃太郎8’に比べやや短い、第1果房までの葉数はほぼ同等で、花房の形は単純花房である。トマト安濃9号の完熟果色は桃色、果形はやや扁平である（表-6、写真-2）。一果重は‘とまと中間母本農9号’や‘桃太郎8’に比べ軽く、80g程度である。果実の硬さや大きさの均一性ならびに果肩部の緑色程度は中であり、着果性は良い。本育成系統の糖度(Brix)は、‘とまと中間母本農9号’や‘桃太郎8’に比べ低く、4.5程度である。

なお、前述のとおり、特性検定試験において萎凋病(レース1)抵抗性(表-2)と半身萎凋病罹病性が確認されている。また、Nested Allele-Specific PCR(山田ら、2006)による検定から、トマト安濃9号はモザイク病(ToMV)抵抗性遺伝子 $Tm-2$ や $Tm-2a$ を保有していないことが確認された(データ略)。



写真-1 トマト安濃9号の植物体

野菜茶業研究所内、普通露地圃場
(2006年6月19日撮影)

表-5 トマト安濃9号の植物体特性

品種・系統名	心止まり性 ^z	葉巻性	節間長 (cm)	第1花房の着生節位	葉色	葉長	葉幅	花房の形	花数
トマト安濃9号	CID	やや強	7.8	8.3	濃緑	中	中	単純	中
とまと中間母本農9号	ID	中	7.9	7.9	濃緑	中	中	単純	中
R-3034-3-10-N-UG	D	中	4.6	8.7	濃緑	短	狭	単純	中
瑞栄	ID	中	8.9	8.1	濃緑	中	中	単純	中
桃太郎8	ID	やや強	8.4	8.2	濃緑	中	中	単純	中

2006年3月6日に播種し、4月24日に野菜茶業研究所内の普通露地圃場に定植した。栽植密度は畝幅180cm、株間40cm、条間70cmの2条植えとした。

^z D：心止まり性、ID：非心止まり性、CID：非心止まり性(高温期に一部心止まり性を示す)。

表-6 トマト安濃9号の植物体特性

品種・系統名	完熟期の果色	果実表皮の色	果形	果実横断面の形	一果重(g)	果実の硬さ	果実の大きさの均一性	果肩部の緑色程度	着果性	糖度(Brix)
トマト安濃9号	桃	無色	やや扁平	整円	76	中	中	中	良	4.5
とまと中間母本農9号	桃	無色	やや扁平	整円	158	やや軟	中	中	中	5.2
R-3034-3-10-N-UG	赤	黄色	球	整円	46	やや硬	良	無	中	4.9
瑞栄	桃	無色	やや扁平	整円	165	やや軟	中	中	良	5.6
桃太郎8	桃	無色	やや扁平	整円	165	中	中	中	中	5.8

2006年3月6日に播種し、4月24日に野菜茶業研究所内の普通露地圃場に定植した。栽植密度は畝幅180cm、株間40cm、条間70cmの2条植えとした。



写真-2 トマト安濃9号の果実

スケールバーは5cmを表す。

(2006年6月19日撮影)

3 青枯病抵抗性の遺伝

青枯病抵抗性トマト安濃9号 (P_1) と青枯病罹病性‘とまと中間母本農5号’ (P_2)、ならびにそれらの F_1 、 F_2 世代の青枯病抵抗性指数と頻度分布により、トマト安濃9号の青枯病抵抗性の遺伝特性を調査した(表-7, 図-2)。本試験における青枯病抵抗性は、門馬ら(2002)の青枯病汚染圃場検定に準じて行い、定植後、灌注接種日以前に枯死した株を1、接種後6日以内に枯死した株を2とし、その後6日ごとに1を加え、最強を13とする抵抗性指数で評価した。

トマト安濃9号の抵抗性指数はすべて13で高度抵抗性を示し、‘とまと中間母本農5号’の抵抗性指数はすべて1で罹病性を示した。また、 F_1 世代と F_2 世代の抵抗性指数はそれぞれ3から13、1から13まで幅広く分布し、それらの平均値は両親の抵抗性指数の中間値付近であった(表-7)。このことから、トマト安濃9号の有する青枯病抵抗性は、累積効果のある複数遺伝子により支配されており、総体的には不完全優性に遺伝するものと推定される。

これまで、青枯病抵抗性と平均一果重が負の相関関係を示すとの報告(Acosta et al., 1964; Sonoda et al., 1979) ならびに負の相関関係はないとする報告(Monma et al., 1997; 門馬ら, 2002) があり、トマト安濃9号よりも大果で抵抗性の高い系統を作出する際に問題となる懸念があることから、前述のトマト安濃9号と‘とまと中間母本農5号’との F_2 世代を用いて、各個

表-7 トマト安濃9号および交雑後代の青枯病抵抗性指数

品種・系統名	供試個体数	抵抗性指数 ² の平均値	同左分散
トマト安濃9号(P_1)	10	13.0	0.0
とまと中間母本農5号(P_2)	10	1.0	0.0
F_1 ($P_1 \times P_2$)	10	8.1	13.2
F_2 ($P_1 \times P_2$)	120	6.6	19.3

2006年4月11日に播種し、5月19日に野菜茶業研究所内の青枯病汚染圃場に定植した。

7月19日に株元を断根後、菌濃度 4×10^8 (個/ml) で土壌灌注接種し、9月30日まで調査を行った。

² 定植後、灌注接種日以前に枯死した株を1、接種後6日以内に枯死した株を2とし、その後6日ごとに1を加え、最強を13とする指数。

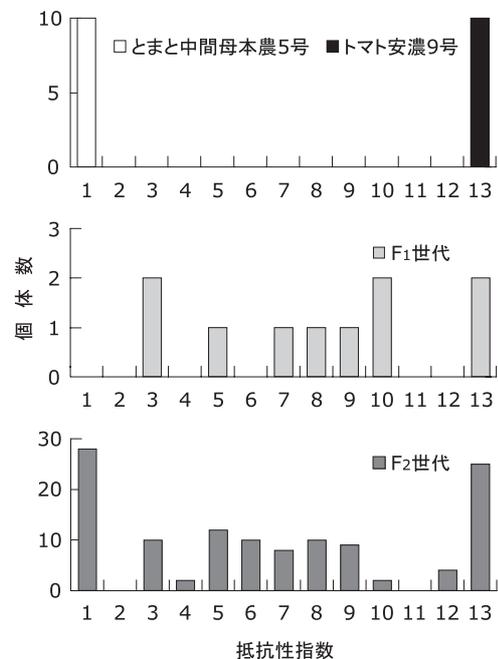


図-2 トマト安濃9号の青枯病抵抗性遺伝解析における抵抗性指数の頻度分布

試験条件については、表-7参照。

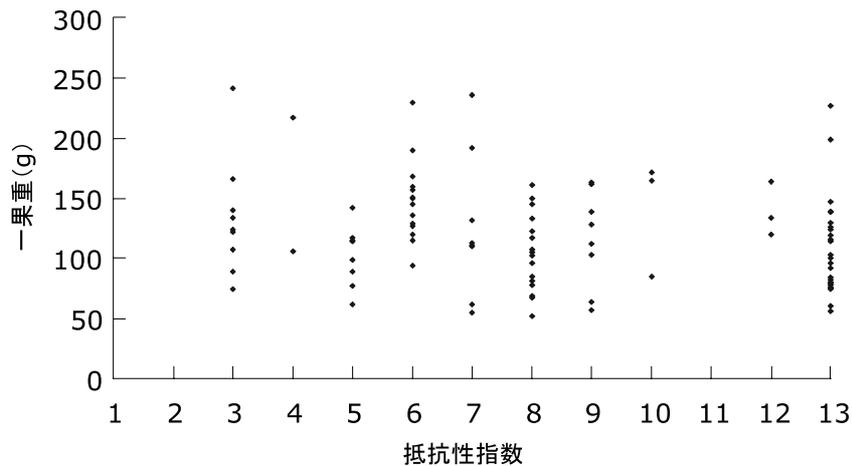


図-3 ‘とまと中間母本農5号’とトマト安濃9号の交雑F₂世代における青枯病抵抗性（抵抗性指数）と一果重の関係

試験条件については、表-7参照。

各個体からは、10果を目標に4果以上を収穫した。

抵抗性指数1の個体からは果実を収穫できなかったため、これらの一果重は測定値なし。

‘とまと中間母本農5号’とトマト安濃9号の抵抗性指数は1と13で、

平均一果重はそれぞれ167gと92gであった。

体の一果重と青枯病抵抗性指数の関係を解析した（図-3）。その結果、Monma et al. (1997) や門馬ら (2002) の報告と同様に、一果重と抵抗性指数との間に密接な相関は認められず ($R = -0.1828, p > 0.05$)、抵抗性指数が最強の13で、200g以上の果実を着ける個体も分離し、トマト安濃9号の有用性が示された。

IV 考 察

トマト安濃9号の青枯病抵抗性は、育成親の青枯病抵抗性品種‘とまと中間母本農9号’よりも有意に強く（表-3）、もう一方の育成親の‘R-3034-3-10-N-UG’に比べても同等以上の抵抗性を示す（表-3）ことから、トマト安濃9号は両親より遺伝した新たな組合せの青枯病抵抗性遺伝子（群）を保有していると推察される。また、本系統は市販台木用品種と同等以上の青枯病抵抗性を示し（表-4）、その完熟果色は桃色である（表-6）。

本系統と青枯病罹病性品種とのF₁世代の抵抗性指数の分散が13.2と大きかった（表-7）が、異なる材料を用いた青枯病抵抗性の遺伝解析（Monma et al., 1997; 門馬ら, 2002）においても同様の結果が示されており、ヘテロ接合体では抵抗性発現の環境変動が大きくなることが推察される。

また本試験において、交雑F₂世代120個体では、一果重と抵抗性指数との間に密接な相関は認められなかった（図-3）ことから、トマト安濃9号は青枯病抵抗性

を有する生食用桃色完熟果の中～大玉トマトの育種素材として有用であると考えられる。

なお、トマト安濃9号の種子は、「独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構における育成系統取扱規則」に従った分譲が可能である。

V 摘 要

1) 生食用大玉、青枯病抵抗性の‘とまと中間母本農9号’と青枯病抵抗性のフィリピン在来品種‘R-3034-3-10-N-UG’とを交雑し、草勢や青枯病抵抗性をともに自殖と選抜を繰り返し、固定系統トマト安濃9号を育成した。トマト安濃9号は‘とまと中間母本農9号’および‘LS89’に比べ、高度の青枯病抵抗性を示す。

2) トマト安濃9号は、高温期に一部心止まり性を示すものの、通常は非心止まり性で、その完熟果色は桃色である。一果重は約80gで、‘桃太郎8’や‘とまと中間母本農9号’に比べ小さい。果実の硬さは‘桃太郎8’と同等であり、‘とまと中間母本農9号’より硬い。糖度（Brix）は‘とまと中間母本農9号’や‘桃太郎8’より低い。

3) トマト安濃9号と青枯病罹病性‘とまと中間母本農5号’との交雑F₁世代およびF₂世代の抵抗性指数は幅広く分布し、その平均値は両親の抵抗性指数の中間値付近であったことから、トマト安濃9号の有する青枯病抵抗性は、複数の遺伝子に支配され、総体的には不完全

優性に遺伝するものと推定される。また、 F_2 世代の一果重と抵抗性指数との間に密接な相関は認められず、本育成系統は青枯病抵抗性を有する生食用桃色完熟果の中～大玉トマトの育種素材として有用であると判断される。

4) トマト安濃9号の種子は、「独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構における育成系統取扱規則」に従った分譲が可能である。

引用文献

- 1) Acosta, C. J., J. C. Gilbert and V. L. Quinon (1964): Heritability of bacterial wilt resistance in tomato. *Proc. Amer. soc. Hort. Sci.* **84**: 455–461.
- 2) Javier, E. Q. (1993): Countering Disease Losses. Vegetable Research and Development in Southeast Asia: The AVNET Final Report. AVRDC, Taipei, 26–34.
- 3) Monma, S., Y. Sakata and H. Matsunaga (1997): Inheritance and selection efficiency of bacterial wilt resistance in tomato. *JARQ*, **31** (3), 195–204.
- 4) 門馬信二・吉田建実・松永啓・佐藤隆徳・成河智明・坂田好輝・飛騨健一 (2002): 青枯病抵抗性 ‘とまと中間母本農9号’ の育成とその特性. 野菜茶研研報, 123–35.
- 5) Nakaho, K., S. Takaya and Y. Sumida (1996): Conditions that increase latent infection of grafted or non-grafted tomatoes [*Lycopersicon esculentum*] with *Pseudomonas solanacearum*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* **62**, 234–239
- 6) 西和文 (2007): 不可欠用途臭化メチルの原則全廃に向けた新しい動き. 今月の農業, **6**, 98–100.
- 7) 尾崎克己・木村俊彦 (1989): ナス属植物の青枯病抵抗性検定法. 中国農研報, **4**, 103–117.
- 8) Sonoda, R. M., J. J. Augustin and R. B. Volin (1979): Bacterial wilt of tomato in Florida; history, status and sources of resistance. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, **92**, 100–102.
- 9) Wang, J-F. and P. M. Hanson (1996): Worldwide evaluation of international resistance sources to bacterial wilt in tomatoes: preliminary results. *TVIS Newsletter*, **1** (1), 10–13.
- 10) Wang, J-F., P. Hanson and J. A. Barnes (1998): Worldwide evaluation of an international set of resistance sources to bacterial wilt in tomato. Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects. Prior, P., C. Allen and J. Elphinstone, (eds). Springer, Heidelberg, 61–73.
- 11) 山田朋宏・畑中康孝・福岡浩之・齊藤猛雄・斎藤新 (2006): Nested Allele-Specific PCR によるトマトの *Tm-2* 遺伝子座の識別. 園学雑, **75** (別1), 118

Development and Characteristics of Tomato Ano 9 Go, a Tomato Line with a High Level of Bacterial Wilt Resistance

Tomohiro Yamada, Tatemi Yoshida, Takeo Saito,
Shinji Monma, Atsushi Saito, Hiroshi Matsunaga,
Takanori Sato and Yoshiteru Sakata

Summary

To produce a tomato line with a high level of bacterial wilt resistance, we performed an intraspecific cross between the Philippine cultivar ‘R-3034-3-10-N-UG’ and the Japanese cultivar ‘Tomato Chuukanbohon Nou 9 Go’. After continuous selfing and selection for bacterial wilt resistance and plant vigor, we selected a highly resistant line from the F_6 progeny and named this line Tomato Ano 9 Go. The resistance of the line was higher than those of ‘Tomato Chuukanbohon Nou 9 Go’ and ‘LS 89’.

Tomato Ano 9 Go is of the conditional indeterminate type, and its fruit is a slightly flattened round shape, with a pink outer color. Its fruit weight is approximately 80 g, which is lighter than those of ‘Momotaro 8’ and ‘Tomato Chuukanbohon Nou 9 Go’. The fruit’s soluble solids (°Brix) content is lower than those of ‘Tomato Chuukanbohon Nou 9 Go’ and ‘Momotaro 8’.

Since the average bacterial wilt resistance index in the F_2 population derived from crossing Tomato Ano 9 Go and ‘Tomato Chuukanbohon Nou 5 Go’, a susceptible cultivar, is close to the median value of the two parents and ranged from susceptible to resistant, the resistance to bacterial wilt in Tomato Ano 9 Go appears to be controlled by multiple genes with incomplete dominance. Since there was no significant correlation between fruit weight and the resistance index in the F_2 population, Tomato Ano 9 Go is a highly promising material for breeding fresh-market varieties with bacterial wilt resistance.

Seeds of Tomato Ano 9 Go are available upon request from the authors under a materials transfer agreement.

Accepted; August 7, 2009

Vegetable Breeding Research Team

360 Kusawa, Ano, Tsu, Mie, 514-2392 Japan