التحويل الوراثى

أدى التحويل الوراثى للطماطم بجين المضاد البكتيرى: lactoferrin (وهو: cationic iron-binding glycoprotein) إلى جعلها مقاومة جزئيًّا للبكتيريا *R. solanacearum* مسببة مرض الذبول البكتيرى (Lee وآخرون ٢٠٠٢).

وأمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بجين الفلفل ferredoxin-1protein (اختصارًا: PFLP)، حيث أُنتج الـ PFLP بجذورها، وكانت النباتات المحولة وراثيًّا مقاومة لبكتيريا الذبول البكتيرى (Huang وآخرون ٢٠٠٧).

التقرح البكتيرى

تسبب البكتيريا *Clavibacter michiganensis* ssp. *michignensis* (سابقًا *Corynebacterium michiganensis*) مرض التقرح البكتيرى Bacterial Canker فى الطماطم.

مصادر المقاومة لمختلف سلالات البكتيريا ووراثتها

اكتشفت المقاومة للمرض فى بعض سلالات الطماطم والنوع البرى *S. pimpinellifolium* (Thyr ١٩٦٨)، والسلالة PI 251305 من *S. habrochaites* (Hassan وآخرون ١٩٦٨)، وسلالات أخرى من نفس النوع. يتحكم فى مقاومة النوع *S. pimpinellifolium* عدة جينات ذات سيادة غير تامة.

وجدير بالذكر أن أصناف الطماطم تختلف — فى خاصية انتقال البكتيريا عن طريق البذور — حيث تختلف نسبة البذور التى تكون حاملة للبكتيريا (عند استخلاص البذور من ثمار نباتات مصابة) باختلاف الأصناف كما يلى:

الصنف	البذور الحاملة للبكتيريا (٪)
Highlander	٤٩
Heinz 1350	٣
Campbell	صفر

ومن الواضح أنه يمكن الاستفادة من تلك الخاصية فى جهود التربية لإنتاج أصناف لا ينتشر فيها المرض عن طريق البذور (عن Russell ١٩٧٨).

ولقد وجدت المقاومة لبكتيريا التقرح البكتيرى فى خمس من ثلاث وعشرين سلالة جرى تقييمها من *S. peruvianum*. وعندما استخدمت إحداها — وهى LA2157 — فى دراسة وراثية أظهرت واسمات الـ RFLP عدة مناطق كروموسومية ترتبط بالمقاومة، وأمكن تحديد جينين للمقاومة (Van Heusden وآخرون ١٩٩٥).

وقد ذُكر أنه باستخدام واسمات الـ RFLP أمكن التعرف على خمس مناطق فى كروموسومات ١، و ٦، و ٧، و ٨، و١٠ على صلة بالمقاومة لبكتيريا التقرح البكتيرى فى تلك السلالة (LA 2157 من *S. peruvianum*) (Sandbrink وآخرون ١٩٩٥).

وفى دراسة أخرى أُجريت على نباتات الجيل الثانى لتلقيح بين صنف الطماطم Solentos والسلالة LA 2157 من *S. peruvianum* (وهى سلالة تتحمل شدّ البرودة، وتقاوم كلاً من نيماتودا تعقد الجذور وبكتيريا التقرح البكتيرى *C. michiganensis* subsp. *michiganensis*) أمكن التعرف على ثلاث QTLs تتحكم فى المقاومة لبكتيريا التقرح البكتيرى وتقع على الكروموسومات ٥، و ٧، و ٩، وكانت ذات تأثير مضيف، وذات سيادة مشتركة مع الـ QTL التى تقع على الكروموسوم ٧ (Van Heusden وآخرون ١٩٩٩).

كذلك أمكن التعرف فى السلالة LA2157 من *S. peruviamum* على ٣ QTLs ترتبط بالمقاومة للبكتيريا، وتقع على الكروموسومات ٥، و ٧، و٩ كانت جينات المقاومة مضيفة وذات سيادة مشتركة مع الـ QTL التى تحمل على الكروموسوم ٧. ويؤدى الجمع بين تلك الـ QTL (على الكروموسوم ٧) والـ QTLs الأخرتين إلى إعطاء مستوى من المقاومة مماثل لذلك الذى يوجد فى السلالة البرية (Van Heusden وآخرون ١٩٩٩).

ووُجدت مقاومة جزئية للبكتيريا *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* فى السلالة LA 407 من *S. habrochaites*، وهو مستوى من المقاومة لم يختلف عن ذلك الذى يوجد فى سلالة الكنترول المقاومة LA 2157 من *S. peruvianum*. ولقد استخدمت السلالة LA 407 فى دراسة وراثية وفى التربية للمقاومة، ووجد أن كفاءة توريث صفة المقاومة فى المعنى العام كانت متوسطة إلى عالية؛ حيث تراوحت من ٠,٣٤ إلى ٠,٨٥، وتحكم فى صفة المقاومة جين واحد إلى ثلاثة جينات. وأمكن تطوير سلالتين مربتين داخليًا من جيل التلقيح الذاتى الرابع للتهجين الرجعى الثانى (BC_2S_4) احتفظتا بالمقاومة، مع اشتمالهما — نظريًا — على ٨٧,٥٪ من الخلفية الوراثية للطماطم، وأُعطيتا الرمزين الكوديين IBL2353، و IBL2361 (Francis وآخرون ٢٠٠١).

وفى دراسة أخرى وجد أن المقاومة لبكتريا التقرح البكتيرى المتحصل عليها من السلالة LA407 من *S. habrochaites* يتحكم فيها ما لا يقل عن عاملين وراثيين أعطيا الرمزين: Rcm 2.0، وهو يقع على الكروموسوم ٢، وRcm 5.1، وهو يقع على الكروموسوم ٥. ووُجد أن كفاءة التوريث المتحققة كانت عالية، وذلك عندما قُدِّرت على أساس أقصى إصابة مرضية، حيث بلغت ٠,٦٣ للجين Rcm 2.0، و ٠,٨٥ للجين Rcm 5.1 (Kabelka وآخرون ٢٠٠٢).

وقد أُجرى تقييم لأربع وعشرين سلالة برية من الطماطم لمقاومة البكتريا *C. michignensis* subs. *michiganensis* — مسببة مرض التقرح البكتيرى — وأمكن التعرف على مصادر جديدة لتحمل الإصابة فى كل من: السلالة GI.1554 من *S. pimpinellifolium*، والسلالتين LA 735، و LA 2072 من *S. neorickii*، كما أمكن تأكيد صفة تحمل الإصابة التى تم التوصل إليها فى دراسات سابقة فى كل من: السلالات LA 2157، و PI 127829، و LA 385 من *S. neorickii*، والسلالة LA407 من *S. habrochaites*، وصنف الطماطم IRAT L3. وتجدر الإشارة إلى إنه لم يمكن التعرف على أى سلالات منيعة، كما أن السلالات التى أظهرت إصابة طفيفة كان تواجد البكتيريا فيها كبيرًا (Sen وآخرون ٢٠١٣).

ويمكن القول أنه لا تتوفر درجة عالية من المقاومة للبكتيريا *C. michiganensis* subps. *michiganensis* فى أصناف الطماطم التجارية. وكما أسلفنا.. كان اكتشاف المقاومة للمرض لأول مرة فى عام ١٩٣٤ فى أحد سلالات النوع البرى *S. pimpinellifolium*، وأعقب ذلك اكتشاف المقاومة فى عدد آخر من سلالات النوع ذاته، وفى كل من: *S. arcanum*، و *S. chilense*. أما أصناف الطماطم، مثل: Bulgaria 21، و Heinz 2990 — التى نُقلت إليها المقاومة من *S. pimpinellifolium* – فلم تكن ناجحة تجاريًا. ويبين جدول (٣-١) مختلف مصادر المقاومة ووراثتها (عن Sen وآخرين ٢٠١٥).

جدول (٣-١): مصادر المقاومة للتقرح البكتيرى ووراثتها.

مصدر المقاومة	وراثة المقاومة
• *S. lycopersicum* (الأصناف Bulgaria 12، Homested، و Heinz 1350، Highlander، و Campbell)	كمية وأفقية وذات سيادة غير تامة، مع وجود جينات محورة
• *S. pimpinellifolium* (السلالة Utah 20)	
• *S. habrochaites* (السلالة PI 251305)	
• *S. peruvianum* var. *humifusum*	جين واحد سائد على الكروموسوم ٤
• *S. arcanum* (السلالة LA 2157)	٢-٣ جينات متنحية
• *S. habrochaites* (السلالة LA 407)	جينان على الكروموسومين ٢، ٥
• *S. chilense*	جين واحد سائد على الكروموسوم ٤ مع جينات محورة

طرق التقييم للمقاومة

فى دراسة أجريت على ١٣ صنفًا من تلك التى أنتجت على أساس أنها مقاومة للمرض.. قام Berry وآخرون (١٩٨٩) بحقن النباتات بسلالات عالية الضراوة من

البكتيريا، ووجدوا أن ١١ صنفًا منها كانت مقاومة عندما كانت العدوى شديدة (٨,٥ × $١٠^{٨}$ خلية بكتيرية/نبات)، بينما لم تظهر المقاومة فى الصنفين الآخرين إلا عندما كانت العدوى أقل شدة (٨,٥ × $١٠^{٢}$ خلية بكتيرية/ نبات)؛ وهو ما يعنى إمكانية تمييز الأصناف ذات المستويات المتوسطة من المقاومة بحقنها بتركيز منخفض من المعلق البكتيرى.

وقد توصل Strider & Konsler (١٩٦٥) إلى طريقة سهلة وسريعة لاختبار مقاومة المرض عن طريق رش الأوراق الفلقية بمعلق بكتيرى باستعمال رشاشة يدوية صغيرة. بدأت أعراض المرض فى الظهور بعد نحو ثلاثة أيام على شكل بقع بيضاء صغيرة زادت مساحتها — تدريجيًا — إلى أن وصل قطرها إلى ملليمتر واحد بعد نحو ٨ أيام من المعاملة. كما التحمت بعض البقع الصغيرة معًا وكونت بقعًا أكبر حجمًا، وصل قطرها إلى عدة ملليمترات، وذبلت الأوراق الفلقية فى حالات الإصابة الشديدة. وقد استخدم Hassan وآخرون (١٩٦٨) هذه الطريقة فى تقييم عدة مئات من الأصناف والسلالات لمقاومة المرض.

وتمكن Thyr (١٩٦٨) من تقييم النباتات للمقاومة بعدوى النباتات بالبكتيريا المسببة للمرض، وهى فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الثالثة؛ وذلك بقطع الورقة الحقيقية الأولى عند اتصالها بالساق وحقنها (عدواها) بالبكتيريا فى مكان الجرح؛ حيث ظهرت أعراض المرض على التراكيب الوراثية القابلة للإصابة بعد ذلك بنحو ثمانية أسابيع. وقد أكد Van Steeklenburg (١٩٨٤) فعالية تلك الطريقة.

ومن الطرق الأخرى التى اتبعت فى العدوى بالبكتيريا ما يلى:

١–وخز السيقان من خلال نقطة من معلق البكتيريا، أو بإبرة ملوثة بالنمو البكتيرى، وهى من أفضل الطرق لتقييم المقاومة.

٢–تجريح الجذور، ثم سكب معلق البكتيريا عليها.

٣–قص أطراف الأوراق بمقص سبق غمسه فى معلق البكتيريا.

هذا.. مع العلم بأن اختبارات البادرة لا تتفق — دائمًا — مع اختبارات الحقن (عن Russell ١٩٧٨).

طبيعة المقاومة

تعتمد خاصة المقاومة فى أصناف الطماطم على تفعيل تكاثر البكتيريا بشدة فى النباتات، ولكنها لا تحد من إصابتها جهازيًا (Van Steckelenburg ١٩٨٤). وقد وجد Gilbert & Mohanakumaran (١٩٦٩) أن مقاومة السلالة PI 127805A (من *S. pimpinellifoium*) ترجع إلى ارتفاع محتوى جذورها من مركب الـ alph-tomatine الذى يثبط نمو البكتيريا. ويذكر Russell (١٩٧٨) أن كمية هذا المركب تزداد بعد العدوى بالبكتيريا، ويكون معدل الزيادة فى تركيزه أكبر فى الأصناف المقاومة مما فى الأصناف القابلة للإصابة.

التربية للمقاومة

أُنتج فى نورث كارولينا صنفا الطماطم Venus، و Saturn؛ وكلاهما مقاوم لمرضى الذبول البكتيرى والتقرح البكتيرى (.Anon ١٩٧١). كما أنتجت أصناف أخرى كثيرة مقاومة للمرض؛ منها: H2990، و MR2، و Monense، و Cm VF232، و UC134.

وفى محاولة لمقارنة مدى مقاومة بعض هذه الأصناف.. وجد Van Steeklenburg (١٩٨٤) أن أعلى درجات المقاومة كانت فى الصنفين Irat L3، و Okitsu Sozai 1-20؛ بينما لم تتأكد من هذا الاختبار مقاومة الأصناف Florida MH-1، و Utah 20، و Bulgaria 12. ويبدو أن مرد تلك الاختلافات إلى تباين السلالات البكتيرية المستخدمة وطرق الاختبار للمقاومة باختلاف الباحثين.

إن من أهم المشاكل التى واجهت تربية الطماطم لمقاومة البكتيريا *R. solanacearum* وجود عدة سلالات من البكتيريا، وتعقُّد صفة المقاومة، والتأثير القوى للعوامل البيئية على ظهور الأعراض المرضية وشدتها؛ مما حدَّ من فرصة تطوير طريقة

فعالة للتقييم فى طور البادرة. وإلى جانب تلك المشاكل فإن استخدام السلالة Hawaii 7997 – التى تُعد من أهم مصادر المقاومة – فى التربية استحال معه إنتاج سلالات تربية ذات ثمار كبيرة الحجم وتحمل نفس مستوى المقاومة؛ فكان هناك – دائمًا – علاقة عكسية بين مستوى المقاومة وحجم الثمار.

وفى محاولة لكسر الارتباط بين المقاومة للبكتيريا وجين مفترض يتحكم فى حجم الثمار، أمكن إنتاج سلالتين على مستوى جيد من المقاومة وثمارهما كبيرة الحجم، هما: Fla. 8109، و Fla. 8109B (Scot وآخرون ٢٠٠٣).

وقد أمكن تحويل الطماطم وراثيًا بجين الـ endolysin (وهو lys) المتحصل عليه من البكتيريوفاج CMP1، والذى يُشفر لتمثيل إنزيم peptidase يعمل على تحلل الـ murein فى البكتيريا *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* مسببة مرض التقرح البكتيرى. لم تُظهر النباتات المحولة وراثيًا أعراض الإصابة المرضية بعد عدواها بالبكتيريا المسببة للمرض، كما انخفضت فيها جوهريًا أعداد البكتيريا (Wittmann وآخرون ٢٠١٥).

البقع البكتيرية

تسبب البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* مرض البقع البكتيرية bacterial spot فى الطماطم.

مصادر المقاومة لمختلف سلالات البكتيريا ووراثتها

تتوفر المقاومة فى سلالة الطماطم Hawaii 7998، وهى صفة كمية، وذات كفاءة توريث مرتفعة نسبيًا (Scott & Jones ١٩٨٨).

وتُعد السلالة Hawaii 7998 عالية المقاومة لإصابات الأوراق بالبكتيريا *X. campestris* pv. *vesicatoria*، ولكن تُصاب ثمارها، وتلك صفة ليست سيتوبلازمية، وتظهر بصورة متوسطة فى هجن الجيل الأول بين السلالة والأصناف القابلة للإصابة.