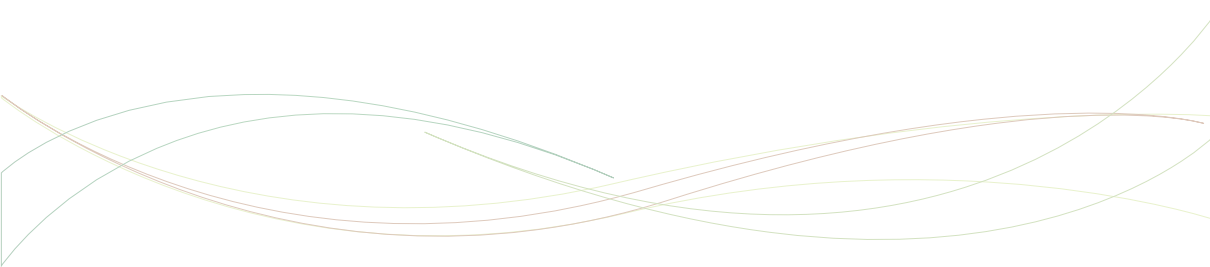


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مقدمة:

إن من أهم المشاكل التي تواجه وتهدد الانتاج الزراعي على مستوى العالم أمراض النبات حيث بلغت نسبة الخسائر في الإنتاج الزراعي ما يعادل 25% وهو ما يعادل استهلاك 600 مليون إنسان هذا بالإضافة إلى ما تسببها من خفض في جودة المنتج، وتقوم أيضاً الممرضات النباتية بإفراز السموم أو التوكسينات والتي تسبب حالات تسمم وأمراض خطيرة متعددة تصيب الإنسان أو الحيوان الذي يأكل هذا المنتج المصاب. ولقد بذلت الكثير من الجهود المتواصلة في محاولة القضاء على هذه الأمراض أو حتى خفض نسبة الإصابة بها مما يقلل الخسائر الناجمة عنها. وقد تعددت وسائل المكافحة لهذه المسببات والتي تندرج كلها تحت قسمين أساسيين هما:

القسم الأول: والذي يهتم برفع قدرة النبات على المقاومة وذلك عن طريق إنتاج أصناف مقامة أو عن طريق ترجيح كافة الظروف البيئية لصالح النبات ضد الممرضات وذلك عن طريق استخدام العمليات الزراعية المختلفة والمعدلات السمادية المثلى والتي من شأنها جعل النبات قوي وأكثر قدرة على مقاومة المرض وتحمله.

القسم الثاني: والذي يهتم بالقضاء على الممرضات المختلفة أو تثبيط فاعليتها. وقد اعتمد هذا القسم في المقام الأول على المبيدات سواء كانت جهازية أو غير جهازية الأمر الذي أدى بدوره إلى تلوث البيئة والتأثير على صحة الإنسان كنتاج مباشر للأثر المتبقي لهذه الكيماويات المستخدمة في المكافحة.

لذا اتجهت الأنظار في السنوات القليلة الماضية إلى استخدام بعض الطرق الجديدة الآمنة في مقاومة الأمراض النباتية، حيث تعتبر طريقة استخدام المقاومة المستحثة في مقاومة الكثير من الأمراض النباتية هي أهم هذه الطرق في مقاومة الأمراض النباتية فقد تم استخدام عدد من الطرق سواء من أصل كيميائي أو بيولوجي في مقاومة الكثير من الأمراض النباتية التي تصيب الجذور والمجموع الخضري وذلك للمحاصيل الاقتصادية.

تعرف **المقاومة المستحثة Induced Resistance** على أنها عباره عن حث النبات ودفعه إلى مقاومة المرض وذلك عن طريق تكوين المواد المسئولة عن المقاومة قبل حدوث الإصابة وكذا سرعة رد الفعل عند حدوث الإصابة.

وهناك تعريف آخر للمقاومة تم اقتراحه بواسطة العالم أجريوس 1988 حيث عرف المقاومة على أنها هي مقدرة النبات على منع أو التغلب الكامل أو بعض منه على تأثير المسبب المرضي أو أي عامل مضر.

والمقاومة المستحثة تجعل النبات محفز على نحو ملائم ليظهر مقاومة تجاه المسبب المرضي، ويلاحظ أن **المقاومة المستحثة Induced Resistance** في النبات تشابه **المقاومة المكتسبة Acquired Immunity** في الحيوان مع ملاحظة أن ميكانيكية المناعة في الحيوان تختلف عن ميكانيكية المقاومة المستحثة في النبات حيث أن النبات لا يمتلك جهازاً مناعياً، فنجد أنه في حالة المقاومة المكتسبة بالحيوان يحدث نتيجة الإصابة بالمرض تكوين الأجسام المضادة antibodies هذه الأجسام المضادة تكون متخصصة بشدة على الأنتجين للجسم الغريب (المرض) الذي دخل جسم الحيوان. بينما المقاومة المستحثة في حالة النبات لا تكون متخصصة. مع ملاحظه أنه يوجد ما يعرف بـ **Cross Protection** في النبات والتي فيها يتم استخدام سلالة ضعيفة من المسبب المرضي وحقتها في النبات ونتيجة لذلك يحدث حماية للنبات من خطر العديد من السلالات أو العزلات الأخرى القريبة منها والقوية مرضياً ولكن الميكانيكيات تكون مختلفة في الحالتين، لذلك يجب ألا توصف المقاومة المستحثة في النبات بالمناعة.

هناك العديد من العوامل التي تقوم بتنشيط المقاومة لدى النبات هذه العوامل تعرف بعوامل الحث؛ وهي إما أن تكون عوامل حيوية أو غير حيوية. وتعتمد المقاومة المستحثة على العديد من الميكانيكات والتي تتكون نتيجة العدوى بالمسبب المرضي والذي يؤدي إلى تنشيط تحرر الإشارات Signals والتي بدورها تؤدي إلى تحفيز الجينات لكي تعبر عن المقاومة أو تؤدي إلى التعبير عن أنشطة جديدة مضادة للمسببات المرضية مثل تفاعل الحساسية الزائدة والتي تحدث عند التعرف الدقيق للنبات على المسبب المرضي.

مميزات المقاومة المستحثة:

- غير ضارة بالنسبة للإنسان والبيئة.
- غير متخصصة حيث تفيد المقاومة المستحثة في مقاومة العديد من الأمراض سواء الفيروسية أو الفطرية أو البكتيرية.
- ثابتة وذلك لأنها تعتمد على نشاط العديد من المواضيع الحيوية.
- ذات تأثير ممتد حيث قد تكفي معاملة واحدة أو اثنتان في بداية عمر النبات لكي تحمي النبات طوال فترة حياته.
- لها تأثيرات إيجابية على النمو الخضري والمحصول بالنسبة للنبات.

أنواع المستحاثات:

تقسم الوسائل المستخدمة في المقاومة تبعاً لطبيعتها إلى قسمين: مستحاثات حيوية ومستحاثات لا حيوية.

أولاً: المستحاثات الحيوية:

وهي المستحاثات التي يتم فيها حث النبات على مقاومة مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة الممرضة وغير الممرضة لتلك النباتات أو لأصناف منها. والمثال على ذلك بعض الكائنات المترمة والتي لها القدرة على تستحث النباتات على المقاومة.

ثانياً: المستحاثات الغير حيوية: والتي تشتمل على:

- المستحاثات الميكانيكية مثل عمليات التقليم أو إحداث جروح.
- الحث الفيزيائي مثل استخدام الأشعة فوق بنفسجية وأشعة جاما.
- المستحاثات الكيماوية والتي منها ما هو عضوي مثل حمض التنيك والسلسليك ومنها ما هو معدني مثل أملاح الفوسفات والكولت، ومنها ما هو طبيعي مثل الهرمونات النباتية ومنها ما هو مخلق صناعياً مثل مركب البيون.

أليات المقاومة المستحثة:

تقسم المقاومة المستحثة طبقاً لألياتها إلى:

مقاومة مستحثة تركيبية:

وفيها يحدث تغيرات في جدار الخلية كنوع من الاستجابة للتداخل بين العائل والممرض. وليكن مثلاً إصابة النبات بالفطريات، وجد أن الجدار الخلوي يترسب به انواع عديدة من المواد حيث يحدث تكوين حواجز تركيبية بالنبات والتي تستحث نتيجة للإصابة ولقد أمكن التعرف على هذه المواد باستخدام الصبغات الهستوكيميائية والميكروسكوب الفلورسنتي وأشعة اكس حيث لوحظ وجود بعض التغيرات في جدار الخلايا وذلك كاستجابة للعدوى وأهم هذه التغيرات هو:

- ترسيب الكالوس.
- تراكم الكالسيوم والسليكون.
- تغيرات في كمية أو نوع في بروتينات الجدار الخلوي.
- أكسدة الفينولات مثل الميلانين.
- ترسيب السوبرين.
- أكسدة الإرتباط العرضي لبروتينات الجدار الخلوي.

وتعتبر البابيلا Papilla من أهم التركيبات التي تتكون بالنبات نتيجة الإصابة بالأمراض وتتكون البابيلا من مركب لجيني يتكون في النباتات عند إصابتها بالفطريات. كذلك هناك مواد أخرى مثل المركبات الغنية بالأحماض الأمينية والتي تعرف بـ Glicoprotein والتي تترسب على جدر الخلايا وتسمى طبقا للحامض الأميني الموجود مثل Proline- glycoprotein وهذه المواد تعمل كمضادات لتحلل البروتين antiproteases حيث توقف عمل الإنزيمات المحللة للبروتين والتي يفرزها المسبب المرضي.

مقاومة مستحثة كيميائية:

وفيها يحدث زيادة في تنشيط النبات لإفراز بعض المواد الكيميائية ذات التأثير التثبيطي للميكروبات مثل الفيتوألكنات والبروتينات المرتبطة بعملية الإصابة وكذا تفاعل الحساسية الزائدة.

• إنتاج الإنزيمات المسؤولة عن المقاومة:

مثل: الشيتينيز – الجلوكانيز – البيروكسيديز. من المعروف أن المكون الأساسي لجدر خلايا الفطريات تتكون من الشيتين أو الجلوكان كما يلي:

- صف الفطريات الاسكية والبازيدية والناقصة يتكون من الشيتين والجلوكان.
- صف الفطريات البيضية يتكون من الجلوكان والسيلولوز.
- صف الفطريات الزيجية يتكون من الشيتين والشيتوزان.
- اما البيروكسيديز فهو يدخل في تكوين لجنين جدر الخلايا النباتية.

• إنتاج الفيتوألكتينات Phytoalexins:

وهي عبارة عن مواد مثبطة لنمو الفطريات والتي تتكون بالنبات عند الإصابة بالفطر. ولقد أمكن عزل العديد من الفيتوألكتينات من أنسجة نباتية مختلفة وصنفت كيميائيا ولوحظ انها مختلفة في التركيب ولكنها تشترك في التأثير وعرفت الفيتوألكتينات على أنها مواد كيميائية تخلق وتتراكم في أنسجة النبات كرد فعل للإجهاد الذي يتعرض له النبات هذه المواد ذات وزن جزيئي صغير ولها تأثير تضادي ولا تشبه الفيتوألكتينات المثبطة الموجودة أصلا في النبات السليم حيث أنها تستحث نتيجة للإجهاد، ويعتمد التعرف على الفيتوألكتينات على الإجراءات وطرق الفصل والتنقية ثم بعد ذلك اختبار تأثيرها المضاد.

وتلعب الفيتوألكتينات أدوراً هامة في حماية النبات حيث تمتاز بما يلي:

1. تكوين مواد سامة تتكون في النبات نتيجة الإصابة.
2. توجد في النبات المصاب ولا توجد في النبات السليم.

3. تمتاز الفيتوألكنينات بأنها غير متخصصة على ميكروبات معينة.
 4. يمكن أن تتكون الفيتوألكنينات نتيجة للإجهاد البيولوجي أو نتيجة لعوامل طبيعية غير حية أو قد تتكون نتيجة للإجهاد الأيضي.
 5. تخلق وتتراكم الفيتوألكنينات في مكان الإصابة فقط حيث أنها لا تنتقل جهازيا في النبات.
 6. وجودها يكون بتركيزات منخفضة نوعا داخل النبات.
 7. يختلف النبات المقاوم عن القابل للإصابة في سرعة التكوين وكمية المادة المتكونة.
- ولقد أوضحت الدراسات أن التراكم المبكر والسريع للفيتوألكنينات نتيجة إصابة النبات بالفطر يؤدي إلى ظهور المقاومة والتي تكون عباره عن تفاعل فائق الحساسية. كذلك هناك علاقة بين معدل النمو لمسبب المرضي وكمية الفيتوألكنينات الموجودة في مكان الإصابة.

• البروتينات المرتبطة بالإصابة وبروتينات المقاومة الجهازية المكتسبة والتي تعرف بـ PR-proteins:

البروتينات المرتبطة بالإصابة PR- proteins تعرف على أنها تلك البروتينات التي تتكون كنتيجة مباشرة لإصابة النبات ويتبعها تكون أنواع أخرى من البروتينات تعرف بـ SAR- related protein وهي البروتينات الخاصة بالمقاومة الجهازية المكتسبة ويكون وجودها أو نشاطها مرتبط بشدة بالمقاومة الناتجة عن العدوى الأولية أو الحث على المقاومة لذلك فإن العديد من هذه البروتينات ينتمي إلى البروتينات المرتبطة بالإصابة.

معظم البروتينات المصاحبة للإصابة تكون ذات طبيعة حامضية أو قلووية، ويوجد الشكل الحامضي من هذه البروتينات يكون في المسافات البينية للخلايا بينما الشكل القلوي منها يتجه الى التواجد في الفجوة العصارية ويلاحظ أن تركيز وتراكم كلا النوعين لا يختلف حيث يتم الحث لهما بنفس المعدل.

• تكوين المواد الفينولية:

للمواد الفينولية دوراً هام في المقاومة حيث يتضح بما يلي:

1. تتحد الفينولات مع البروتينات وتكون التانينات وهي مواد سامة للمسببات المرضية
2. حرمان الفطر من البروتينات
3. فصل الاكسدة عن الفسفرة وبالتالي حرمان الفطر من الطاقة
4. تثبيط الإنزيمات المفرزة من الفطر.
5. عند أكسدة المواد الفينولية تتحول الى كيتون وهي مواد سامة.
6. تدخل في تكوين اللجنين.

• إنتاج اللجنين: ويمكن توضيح دور اللجنين في المقاومة فيما يلي:

1. يعطي مقاومة ميكانيكية ضد اختراق الخلايا.
2. يساعد المقاومة الميكانيكية ضد انزيمات المسبب المرضي والتوكسينات.
3. عمليات تكون اللجنين سامة للممرضات.

4. عند اختراق هيفا الفطر يحدث لها لجنة.

5. تكوين البروتينات المسؤولة عن المقاومة Protein – PR.

• إنتاج المواد السامة Phytocides:

تحتوي جميع النباتات على مركب أو مجموعة من المركبات السامة لبعض الكائنات الحية بدءاً من الكائنات الدقيقة ووصولاً إلى الكائنات الراقية هذه المواد تعرف بـ Phytocides. وتتواجد المركبات السامة والتي تؤثر على نمو الفطريات والكائنات الدقيقة في الفجوات العصارية ويختلف تأثيرها على الكائنات الممرضة تبعاً لطبيعة الإصابة فعلى سبيل المثال الطفيليات الإجبارية لا تتأثر بها إلا عند تحرر هذه المركبات من الفجوة العصارية وتواجدها على أسطح الأغشية البلازمية. أما بالنسبة للمترممات فإنها تتأثر بشده بهذه المركبات وذلك نظراً لأنها تهاجم الفجوة العصارية وبالتالي يحدث تحرر سريع لهذه المركبات مع ملاحظة أن هذه المركبات منها ما يتواجد أصلاً في النبات قبل الإصابة ومنها ما يستحث إفرازه وزيادته بعد الإصابة أو عند معاملة النبات بالمواد المستحثة. ومن أهم هذه المركبات الجليكوسيدات مثل Solanidin والإثيرات الموجودة بالبصل والثوم وهذه المواد مضادة للفيزورايوم. كذلك القلويدات والفينولات وهذه المواد شديدة السمية على الكائنات الدقيقة.

من المركبات الفينولية الهامة والموجودة في النبات ولها دوراً في المقاومة المستحثة مركبات اللجنين والتين والسليسيك وكذا مركبات عديده الأمين Polyamine والتي من أشهرها مركب الاسبرمدين وهي تتكون عند إستحثاث النبات بالمواد المحفزة للمقاومة أو عند تعرض النبات للإجهاد وهي تنظم إنتاج البروتينات المرتبطة بالإصابة كم أنها تلعب دوراً في تأخير الشيخوخة.

• الانفجار التأكسدي Oxidative Burst:

توجد مواقع عديده للمرافق الأنزيمي NADPH والخاص بنقل الهيدروجين وعند تأكسده يتحول إلى NADP وهو يتأكسد سريعاً لذا سميت بالانفجار التأكسدي وهذه العملية ينتج عنها تكون O_2 أو ما يسمى بـ Free radical حيث يكتسب جزيء الأكسجين إلكترون معطياً O_2 وهو مختزل قوي حيث يأخذ إلكترونات من مركبات حيوية سواء كانت بروتينات أو إنزيمات أو أحماض أمينية.... إلخ والتي يؤكسدها مكوناً مركبات أخرى يطلق عليها بمضادات الأكسدة Antioxidants والتي بتراكمها يتم تنشيط تكوين بعض المركبات مثل الإثيلين والذي يعمل على تحفيز إنتاج العديد من الإنزيمات والتي تصل إلى 35 إنزيم.

• الإستجابة فائقة الحساسية (تفاعل الحساسية الزائدة (Hypersensitivity Reaction (HR):

ينتج عن تفاعل الحساسية الزائدة الموت السريع لخلية العائل وظهور النيكروزيز بغرض حصر وتحديد انتشار أو تكرار المسبب المرضي. كم يساهم تفاعل الحساسية الزائدة HR في آليات المقاومة النشطة في النبات مع ملاحظه أن ميكانيكية الحساسية الزائدة تختلف تماماً عن ميكانيكيات المقاومة المستحثة الأخرى، وذلك لأن الميكانيكيات الأخرى للمقاومة المستحثة تتمثل في ترسيب الكالوس واللجنين، أو تكوين مركبات دفاعية أخرى مثل الفيتوأكسينات بينما في حالة تفاعل الحساسية الزائدة فإن الأمر يتطلب موت سريع لخلية العائل بمجرد حدوث التلامس الحقيقي بين العائل والممرض ولا بد من توافر ظروف معينة بدونها لا يحدث تفاعل لخلية العائل منها:

1. التعرف الجيد والتلاقي الجيد بين الطفيل والعائل وذلك عن طريق المركبات الجليكوبروتينية Lictins في كلا الطرفين.

2. توافر المقدرة لدى العائل لتكوين البروتينات.

3. توفر مستوى عالي من الطاقة في صورة وحدات من الـ ATP.

4. وجود نشاط إنزيمي عالي خصوصاً التي تحتوي على SH- group.
5. تكون مناطق بها بقع ميتة.
- أظهرت الدراسات حدوث العديد من التغيرات في مناطق البقع الميتة سواء تغيرات تركيبية أو كيميائية والتي من أهمها ما يلي:
1. حدوث خلل في نفاذية الأغشية السيتوبلازميه يتبعه تمزق لهذه الأغشية وخروج لمحتويات الخلية.
 2. زيادة في عدد الميتوكوندريا مع فقد الشكل المميز لها.
 3. زيادة في المسافات البينية وإنكماش الخلايا.
 4. إفراز عالي من الفينولات والفيثوأكسينات
 5. زياده في نشاط البروتينات المرتبطة بالإصابة PR- protein خاصة إنزيمات الأكسدة.
- بعض الأمثلة على استخدام المقاومة المستحثة بنجاح في مقاومة العديد من الأمراض النباتية في مختلف أنحاء العالم مثل:**

- مقاومة مرض العفن الرمادي في الدخان.
- مقاومة مرض الذبول في الطماطم.
- مقاومة مرض البياض الدقيقي في الخيار.
- مقاومة مرض اللفحة المتأخرة في البطاطس.

المراجع:

بوابة التنمية المجتمعية: المقاومة المستحثة كأحد الاتجاهات الحديثة في مقاومة الأمراض النباتية تحت ظروف الزراعة النظيفة:

El-Wakeil, Christa Volkmar, Ahmed A Sallam; Article first published online: 1 FEB 2010. DOI: 10.1002/ps.1906.

Cohen Y. The BABA story of induced resistance. *Phytoparasitica*. 29: 375-378, 2001.

Hammerschmidt R, Métraux JP, van Loon LC. Inducing resistance: A summary of papers presented at the First International Symposium on Induced Resistance to Plant Diseases, Corfu, May 2000. *Eur J Plant Pathol*. 107: 1-6, 2001.

Heil M, Baldwin IT. Fitness costs of induced resistance: emerging experimental support for a slippery concept. *Trends Plant Sci*. 7: 61-67, 2002.

Heil M. The ecological concept of costs of induced systemic resistance (ISR). *Eur J Plant Pathol*. 107: 137-146, 2001.

Rusterucci C, Stallaert V, Milat M-L, Pugin A, Ricci P, Blein J-P. Relationship between active oxygen species, lipid peroxidation, necrosis, and phytoalexin production induced by elicitors in *Nicotiana*. *Plant Physiol*. 111: 885-891, 1996.

Tally A, Oostendorp M, Lawton K, Staub T, Bassy B. Commercial development of elicitors of induced resistance to pathogens. In: *Inducible Plant Defenses Against Pathogens and Herbivores: Biochemistry, Ecology, and Agriculture*. Agrawal AA, Tuzun S and Bent E (Ed). Amer. Phytopathol. Soc. Press, St. Paul, MN (USA). 357-369, 1999.

Van Loon LC. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. *Eur J Plant Pathol*. 103: 753-765, 1997.

Viard MP, Martin F, Pugin A, Ricci P, Blein J-P. Protein phosphorylation is induced in tobacco cells by the elicitor cryptogein. *Plant Physiol*. 104: 145-149, 1994.

