الفصل السابع

# المقاومة المستحثة كيميائيًّا ضد الأمراض

تستحِثُ مركبات بسيطة لا تتشابه فى تركيبها تطوير مقاومة جهازية فى نباتات متباعدة عن بعضها تقسيميًّا ضد عديد من المسببات المرضية الفطرية والبكتيرية والفيروسية. ويترافق مع ظهور المقاومة الجهازية المستحثة تراكم سريع لمركبات دفاعية لا تتشابه فى تركيبها وذات وظائف متباينة، ملثما يحدث طبيعيًّا فى حالات المقاومة الوراثية (Kuć ٢٠٠٠١)

إن المعاملة الموضعية ببعض الأملاح، مثل الفوسفات والفوسفيت، والسيليكات، والأوكسالات تستحث مقاومة جهازية ضد مدى واسع من المسببات المرضية. كذلك وجد أن العناصر الدقيقة — وبخاصة الزنك والنحاس والمنجنيز — يمكن أن تقوى الجهاز المناعى النباتى. ومما يذكر أن التنشيط يبلغ أقصاه عندما تظهر العوامل البيولوجية للبقع المتحللة الموضعية.

كذلك فإن البقع المحلية ربما كانت هى التى تبدأ منها الخطوات الأولى فى المقاومة الجهازية المستحثة التى تسببها المعاملة بالأحماض الدهنية غير المشبعة فى البطاطس، وتلك التى يسببها بروتينات الـ harpin التى تنتجها بعض البكتيريا النباتية المرضة، وبيبتيدات الـ elicitin التى تنتجها بعض أنواع الجنس *Phytophthora*.

وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه من مركبات مُحدِثة للمقاومة الجهازية المستحثة بعد تسببها فى تكوين بقع محلية متحللة فإن التركيزات غير القاتلة من بعض مبيدات الحشائش (PPO type) لها نفس التأثير (Oostendorp وآخرون ٢٠٠١).

إن المركبات التى تتكون أثناء عملية حث المقاومة الجهازية المستحثة، وتلك التى تتكون بعد اكتمالها لا ترتبط ببعضها تركيبيًّا، وتُعد بعضها مضادات ميكروبية مباشرة، بينما يحد بعضها الآخر تطور المسببات المرضية بتكوينها لعوائق أمامها. ومن الطبيعى

أن أى مركب يستحث بدء عملية المقاومة الجهازية المستحثة لا يمكن للنبات تمثيله أو إطلاقه إلا بعد تلقيه إشارة بهذا الشأن.

ومن بين العوامل agents التى يمكنها إعطاء إشارة البدء فى حث عملية المقاومة الجهازية المستحثة، ما يلى (عن Kuć ٢٠٠١).

- Fungi, bacteria, viruses, nematodes, insects
- fungal; bacterial and plant cell wall fractions, intercellular plant fluids and extracts of plants, fungi, yeasts, bacteria and insects
- potassium and sodium phosphates, ferric chloride and silica.
- glycine, glutamic acid, α-aminobutyric acid, β-aminobutyric acid, α-aminoisobutyric acid, D-phenylalanine, D-alanine and DL tryptophan
- salicylic acid, *m*-hydroxybenzoic acid, *p*-phydroxbenzoic acid, phloroglucinol, gallic acid, isovanillic acid, vanillic acid, protocatecheic acid, syringic acid and 1,3,5 benzene tricarboxylic acid.
- D-galacturonic acid, D-glucuroinic acid, glycollate, oxalic acid and polyacrylic acid.
- oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidonic acid and eicosapentaenoic acid.
- paraquat, acifluorfen, sodium chlorate, nitric oxide, reactive oxygen species.
- 2,6-dichloroisonictonic acid, benzo(1,2,3) thiadiazolel-7-carbothioic acid s-methyl ester.
- jasmonate and ethylene
- riboflavin
- probenazole and 2,2- dichloro-3,3-di-methyl cyclopropane carboxylic acid.
- dodecyl DL-alanine and dodecyl L-valine
- penanthroline and phthalocyanine metal complexes (cobalt, iron and copper)

**وتتميز المركبات الكيميائية القادرة على حث تكوين مقاومة جهازية مستحثة فى النباتات بما يلى:**

١- ليس لتلك المركبات قدرات مضادة للكائنات الدقيقة فى البيئات الصناعية.

٢- تحور المعاملة بتلك المركبات تفاعل النباتات مع المسببات المرضية لتحوله إلى تفاعل يشبه – مورفولوجيًا – تفاعل عدم التوافق، بما يتضمنه من آليات الدفاع التى تُستحث إما قبل الإصابة بالمسبب المرضى، وإما بعد ذلك.

٣- توفر تلك المركبات حماية للنباتات ضد المسببات المرضية، وقد تكون تلك الحماية ضد مسبب مرضى واحد، أو ضد مدى واسع منها (عن Sticher وآخرين ١٩٩٧).

## أملاح الفوسفات

من بين الأسمدة الفوسفاتية الشائعة الاستعمال السوبر فوسفات الأحادى، والسوبر فوسفات الثلاثى، وفوسفات ثنائى الأمونيوم، وفوسفات أحادى الأمونيوم، وفوسفات أحادى البوتاسيوم، وجميعها توفر أيون الفوسفات للنبات من حامض الفوسفوريك المستخدم فى إنتاج تلك الأسمدة. ويستخدم النبات الفوسفات فى كلتا الصورتين $HPO_4$، و $H_2PO$، وهما اللتان تتوفران سريعًا فى التربة من الأسمدة المضافة إليها.

**وقد تبين أن رش النباتات بأملاح الفوسفات يكسبها مقاومة جهازية ضد بعض الأمراض كما يتبين من الأمثلة التالية:**

● وُجِدَ أن رش نباتات الطماطم بمخلوط من كل من فوسفات أحادى البوتاسيوم $KH_2PO_4$، وفوسفات ثنائى الصوديوم $Na_2HPO_4$ أحدث مقاومة جهازية فى النبات ضد الإصابة بالفطر *Sphaerotheca fuliginea* مسبب مرض البياض الدقيقى (Reuveni وآخرون ١٩٩٣).

● تستحث مركبات الفوسفات المقاومة الجهازية فى عديد من النباتات، منها الخيار، والفاصوليا، والذرة. ويعتقد بأن خلب الكالسيوم بواسطة أيون الفوسفات عند موقع المعاملة هو الذى يعطى إشارة البدء فى المقاومة الجهازية (عن Sticher وآخرين ١٩٩٧).

● أدى رش نباتات الخيار بأملاح الفوسفات phosphate salts إلى حث تكوين مقاومة جهازية فيها ضد كل من الفطرين *Colletotrichum orbiculare* مسبب مرض الأنثراكنوز، و *Sphaerotheca fuliginea* مسبب مرض البياض الدقيقى. وقد أظهرت النباتات المعاملة بالفوسفات تراكمًا فى حامض السلسيك، مع زيادة فى نشاط الإنزيمين ذوى العلاقة بالدفاع البنائى: الـ peroxidase، والـ polyphenoloxidase فى جميع أجزاء النبات (Orober وآخرون ١٩٩٩).

● أدى رش نباتات الخيار بـ dipotassium hydrogenophosphate (وهو: $K_2HPO_4$) إلى تنشيط تكوين مستوى عال من المقاومة الجهازية ضد الفطر *Colletotrichum lagenarium* مسبب مرض الأنثراكنوز، وصاحبت تلك المقاومة ظهور موت موضعى لبعض خلايا الخيار بفعل ملح الفوسفات، وهو الذى تطور — فيما بعد — إلى بقع متحللة منظورة. ولقد سبق موت الخلايا تمثيل سريع لكل من الـ superoxide، والـ hydrogen peroxide، كما ظهرت — نتيجة المعاملة بالفوسفات — زيادة موضعية وجهازية فى مستوى كل من حامض السلسيلك الحر والمرتبط (Orober وآخرون ٢٠٠٢).

● أدت معاملة نباتات الطماطم والفلفل بأى من الـ acibenzolar-S-methyl بتركيز ٢ أو ٤٪ (حجم/حجم)، أو فوسفات البوتاسيوم بتركيز ٢٥ ملى مول، أو ammonium lignosulfonate بتركيز ٢٪ + ١٠ ملى مول فوسفات بوتاسيوم، ثم عدواها بالبكتيريا *Xanthomona campestris* pv. *vesicatoria* .. أدت إلى خفض إصابتهما جوهريًا بالبقع البكتيرية (Abbasi وآخرون ٢٠٠٢).

## حامض الفوسفورس وأيونات الفوسفونيت والفوسفونات

من المصطلحات الحديثة الاستخدام — نسبيًا فى المجال الزراعى: حامض الفوسفورس phosphorus acid (وليس حامض الفوسفوريك phosphoric acid)، وأيون الفوسفيت phosphite (وليس الفوسفات phosphate)، والفوسفونيت phosphonite، والفوسفونات phosphonate. وعلى خلاف حامض الفوسفوريك الذى يحتوى على أربع ذرات أكسجين ($H_3PO_4$)، فإن حامض الفوسفوس ($H_3PO_3$) والمركبات ذات الصلة به تحتوى على ثلاث ذرات أكسجين فقط.

وبينما يعد حامض الفوسفوريك والمركبات ذات الصلة به من المغذيات النباتية؛ فجميعها أسمدة فوسفاتية، فإن حامض الفوسفورس والمركبات ذات الصلة به تقوى الجهاز المناعى النباتى ضد الإصابات الفطرية. وبذا .. فإن أى من مجموعتى المركبات لا يمكن أن تحل محل الأخرى.

وعلى الرغم من أن جذور وأوراق النباتات يمكنها امتصاص حامض الفوسفورس، فإنها لا تستفيد منه كمصدر للفوسفور؛ نظرًا لبقائه ثابتًا فى النبات على تلك الصورة. كذلك فإن مركبات حامض الفوسفورس تتحلل فى التربة إلى صور فوسفورية ميسرة للامتصاص، إلا أن تلك العملية تتم ببطء شديد لا يمكن معها الاعتماد على تلك المركبات كمصدر سمادى.

وتجدر الإشارة إلى أن الفوسفيت phosphite — الذى كثيرًا ما يسوق على أنه مغذٍ نباتى ومصدر متميز للفوسفور — لا يفيد إطلاقًا فى هذا الشأن، لا عن طريق إضافته إلى التربة ولا عن طريق رش الأوراق؛ بل إنه .. وعلى العكس من ذلك — يضعف النمو النباتى عند نقص الفوسفات، وذلك كما وجد من دراسة أجريت على السبانخ (Thao وآخرون ٢٠٠٨).

يُنَشِّط أيون الفوسفيت الجهاز الدفاعى النباتى ضد الإصابات الفطرية، وكانت بداية اكتشاف هذا الأمر مع فطر الفيتوفثورا *Phytophthora* مسبب مرض الندوة المتأخرة. وحاليًا .. تلعب مركبات حامض الفوسفورس (الـ phosphite، والـ phosphonites) دورًا هامًا كمواد فعّالة فى مقاومة الفطريات وبخاصة من رتبة Oomycota. وقد بدأ الأمر بإدخال المبيدين الفطريين أليت Aliette، وفوستيل ألومنيوم Fosetyl-Al وتلاهم ظهور عدة مبيدات فطرية بتفاعلات بسيطة يتحد فيها أيون الفوسفونيت مع أى من البوتاسيوم أو الصوديوم أو الألومنيوم، وتتضمن قائمة المبيدات التجارية أسماء مثل ProPhyt، و Phostrol، و Phosguard (جدول ٧–١):

كذلك فإن أسمدة الترافوس (وهى أسمدة فوسفاتية قد تحتوى — كذلك — على أى من البوتاسيوم والعناصر الصغرى) تتميز باحتوائها على فوسفيت البوتاسيوم؛ حيث يعمل أيون الفوسفيت على تنشيط إنتاج الفيتوألاكسينات بالنبات؛ مما يوفر لها حماية ضد الإصابات المرضية الفطرية والبكتيرية.

جدول (٧-١): بعض المركبات التجارية التى تحتوى على حامض الفوسفورس **phosphorus acid** أو أملاح الفوسفيت **phosphites** كمواد فعالة.

| المنتج التجارى | الشركة المنتجة | الدولة المنتجة | المادة الفعالة | الهوية التى يسوق بها |
|---|---|---|---|---|
| Aliette | Bayer Cropscience | ألمانيا | Fosetyl-Al | مبيد فطرى |
| Nutri-Phite | Biagro Western Sales | الولايات المتحدة | Phosphites & Organic acids | سماد |
| Ele-Max | Helena Chemical | الولايات المتحدة | Phosphorous acid | سماد ورقى |
| ProPhyt | Luxembourg-pamol | الولايات المتحدة | MonoPotassium Phosphite | مبيد فطرى جهازى |
| Nutrol | Lidochem | الولايات المتحدة | Potassium Phosphite | سماد ومبيد فطرى |
| Phostrol | NuFarm America | الولايات المتحدة | Phosphorous acid | مبيد كيميائى حيوى |
| Pty Agrifos | Liquid Fert (Agrichem) | الولايات المتحدة | MonoPotassium Phosphite | مبيد فطرى |
| Foli-fos 400 | UiM Agrochemicals | أستراليا | MonoPotassium Phosphite | مبيد فطرى |
| Fosphite | Jh Biotech | الولايات المتحدة | MonoPotassium Phosphite | مبيد فطرى |
| Lexx-a-phos | Foliar Nutrients Inc | الولايات المتحدة | MonoPotassium Phosphite | مبيد فطرى |
| Trafos line | Tradecorp | إسبانيا | Potassium Phosphite | سماد ومحفز للدفاع |
| Phytos K | Valagro | إيطاليا | Potassium Phosphite | محفز حيوى |
| Phosfik line | Biolchim | إيطاليا | Phosphorous acid | سماد |
| Fosfisan, Vigorsan, etc | Agrofill | إيطاليا | Potassium Phosphite | محفز للدفاع |
| Geros-K | L-Gobbi | إيطاليا | Potassium Phosphite | سماد |
| Kalium Plus | Lebosol | ألمانيا | Potassium Phosphite | سماد |
| Frutoguard | Spiess Urania | المانيا | Potassium Phosphite | سماد |
| Foliaphos | Plantin | فرنسا | Potassium Phosphite | سماد |

**ومن أمثلة الحالات الأخرى التى أدت فيها المعاملة بأملاح الفوسفونيت إلى حث تطوير مقاومة جهازية فى النباتات ضد بعض الأمراض، ما يلى:**

● وجد أن إضافة حامض الفوسفونيك مع مياه الرى بتركيز ٤ جم من المادة الفعالة/لتر وفرت مكافحة جيدة للفطر *Bremia lactucae* مسبب مرض البياض الزغبى فى الخس استمرت لمدة ١٤ يومًا على الأقل (Wicks وآخرون ١٩٩٤).

● أعطت معاملة أوراق القلقاس بحامض الفوسفورس phosphorous acid بتركيز ١٤ مل/لتر مكافحة ممتازة للفحة الأوراق التى يسببها الفطر *Phytophthora colacasiae* (Semisi وآخرون ١٩٩٨).

● أدى رش نباتات البطاطس بحامض الفوسفونيك إلى خفض إصابة الدرنات بالفطر *Phytophthora infestans* — مسبب مرض الندوة المتأخرة — بشدة، وقد كان كافيًا — لهذا الغرض — الرش بالحامض بمعدل ٤ كجم للهكتار (١,٧ كجم للفدان) مرة واحدة فى منتصف موسم النمو أو قرب نهايته لحماية الدرنات من الإصابة بالفطر فى المخازن (Cooke & Little ٢٠٠٢).

● أفاد رش النموات الخضرية للبطاطس قبل الحصاد بحامض الفوسفورس phosphorous acid فى خفض شدة الإصابة فى الدرنات بعد الحصاد بكل من الفطرين *Phytophthora infestans* (مسبب مرض الندوة المتأخرة)، و *P. erythroseptica* (مسبب مرض العفن الوردى pink rot)، إلاّ أن المعاملة لم تكن مؤثرة فى الفطر *Pythium ultimum*، علمًا بأنه تمت عدوى الدرنات بعد الحصاد بكل من الفطريات الثلاثة (Johnson وآخرون ٢٠٠٤).

● أدى سقى الكرنب بعد يوم واحد من الشتل بمبيد الفوسفونيت الفطرى phosphonate fungicide باسم AG3 إل الحد — بشدة — من إصابتها بمرض تثألل الجذور الذى يسببه الفطر *Plasmodiophora brassicae* (Abbasi & Lazarovits ٢٠٠٦).

● أدى نقع بذور الخيار فى محلول فوسفونيت لمدة ١٠ دقائق إلى حمايتها وحماية البادرات بعد الإنبات من الإصابة بعدة أنواع من الفطر *Pythium*، منها:

*P. aphanidermatum*، و *P. ultimum*، و *P. irregulare*، وذلك بنسبة ٨٠٪، واستمر تأثير المعاملة حتى مع تخزين البذور لمدة وصلت إلى ١٨ شهرًا قبل زراعتها. وبعد ستة أسابيع من الزراعة كانت نسبة النباتات المتبقية ٦٣٪ فى معاملة الفوسفونيت مقارنة بنسبة ١٨٪ فى الكنترول (Abbasi & Lazarovits ٢٠٠٦).

● أدى استخدام المبيد FNX-100 المحتوى على الفوسفونيت phosphonate إلى مكافحة مرض عفن التاج الفيتوفثورى فى الكوسة والقرع العسلى بصورة جوهرية، وكان أفضل استخدام للمبيد عن طريق "سقى" النباتات فى الحقل، وليس بطريق الرش على النموات الخضرية (Yandoc-Ables وآخرون ٢٠٠٧).

أدى رش نباتات البطاطس أسبوعيًا بأىٍّ من خمسة أنواع من الفوسفونيت phosphonates، هى:

Dipotassium phosphonate-dipotassium phosphate

Potassium phosphite

Mono and dipotossium phosphorus acid

Mono- and dibasic sodium, potassium and ammonium phosphites

Aluminum tris O-ethyl phosphonate

أدى إلى خفض نسبة إصابة الدرنات بالفطر *Phytopthora infestans* — نسبيًا — عند الحصاد مقارنة بالإصابة عند معاملة الرش بالمبيد chlorathalonil، وكان هذا التأثير واضحًا — خاصة — بعد شهرين من تخزين الدرنات (Mayton وآخرون ٢٠٠٨).

هذا .. وعلى الرغم من ثبوت تصحيح أعراض واضحة لنقص الفوسفور فى الموالح فى كاليفورنيا بالمعاملة بفوسفيت البوتاسيوم، مع تحسن واضح فى النمو وصفات الجودة .. وعلى الرغم من إنتاج سماد تجارى باسم Nutri-Phite يحتوى على فوسفيت البوتاسيوم (سائل)، فإن مركبات الفوسفيت يجب عدم استعمالها كمصدر سمادى للفوسفور إلا بحرص شديد لأنها يجب أن تستخدم فى التوقيت المناسب وبالمعدلات المناسبة،وهى أمور قد لا يتم ضبطها؛ مما يؤدى إلى حدوث تسمم مع عدم سد حاجة النباتات من عنصر الفوسفور.

## المبيدات كمركبات حاثة للمقاومة

تتوفر بعض الأمثلة على حث تطوير مقاومة جهازية فى النباتات ضد بعض مسببات الأمراض لدى معاملتها ببعض المبيدات.

### مبيدات الحشائش

أدى نمو بادرات الكنتالوب (القاوون) فى وجود مستويات منخفضة من مبيدى الحشائش trifluralin، و acetochlor إلى حث النباتات لتطوير مقاومة ضد الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* مسبب مرض الذبول الفيوزارى. أما الطماطم فإنها طورت مقاومة ضد الفطر *F. oxysporium* f. sp. *lycopersici* لدى معاملتها بالـ trifluralin وغيره من الـ dinitroanilins، إلاّ أن الـ acetochlor لم يستحث فيها المقاومة للفطر (Starratt & Lazarovits ١٩٩٩).

### المبيدات الفطرية

أظهر المبيد Pyraclostrobin (ومنه التحضيرات التجارية Carbio، و Headline) وغيره من الـ strobilurin fungicides قدرة على حماية نباتات التبغ من الإصابة بفيرس موزايك التبغ إذا ما عوملت النباتات بالمبيد قبل تعرضها للفيرس، وكذلك حماية التبغ — بنفس الطريقة — ضد الإصابة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*، كما أظهر المبيد قدرة على حماية النباتات من بعض الظروف البيئية القاسية كالجفاف وإلى استمرار احتفاظ الأوراق بلونها الأخضر لفترة أطول؛ مما يؤخر شيخوختها ( Beckers & Conrath ٢٠٠٧).

## الشيتين والشيتوسان

تستخلص البروتينات الشيتينية من الأغلفة الخارجية الصلبة لبعض الأحياء المائية؛ مثل الجمبرى، وسرطان البحر، وغيرهما.

كما تمكن العلماء اليابانيون من عزل إنيزم شيتينيز chitinase جديد (chitinase A) من قشور درنات اليام *Discorea opposita* (Arakane & Koga ١٩٩٩).

وقد استخدمت البروتينات الشيتينية فى تحضير مركبات تجارية مثل الشيتوسان

chitosan، وهى تكسب النباتات مقاومة ضد الإصابة بالفطريات والنيماتودا كما يستدل من الأمثلة التالية:

● وجد Evans (١٩٩٣) أن إضافة الشيتين chitin إلى التربة أفاد فى مكافحة الفطر *Plasmodiophora brassicae* مسبب مرض الجذر الصولجانى فى الكرنب الصينى.

● أكسبت معاملة البذور بالشيتوسان نباتات الطماطم مقاومة للفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* مسبب مرض عفن التاج والجذور، ولكن إضافة المركب إلى التربة — مع معاملة البذور — حققت نتائج أفضل فى مكافحة المرض وحماية البادرات (Benhamou وآخرون ١٩٩٤).

● استخدم الشيتوسان بتركيز ١٠٠–٤٠٠ ميكروجرام/مل فى المحاليل المغذية بالمزارع المائية بغرض حماية نباتات الخيار من الإصابة بفطر *Pythium aphani-dermatum* المسبب لعفن الجذور. وأكسب المركب النباتات مقاومة ضد الفطر بتحفيزه تكوين موانع فيزيائية أمام النمو الفطرى فى أنسجة الجذر، وتحفيز تكوين النبات للإنزيمات المضادة للفطريات: Chitinase، و Chitosanase، و β-1,3-glucanase فى كل من الجذور والأوراق (El-Ghaouth وآخرون ١٩٩٤).

● أدت معاملة جذور الجزر بالشيتوسان بتركيز ٢٪ أو ٤٪ إلى الحد — بشدة — من إصابتها بالفطر *Sclerotinia sclerotiorum* (Cheah وآخرون ١٩٩٧).

● أدت معاملة التربة بالشيتين chitin قبل زراعة الكرفس إلى تقليل إصابته بالذبول الفيوزارى، هذا بينما لم يؤثر غمس الجذور فى الشيتوسان chitosan على شدة الإصابة إلاّ عندما أجريت على صنف متحمل للمرض. ولقد أدت معاملة التربة بالشيتين إلى زيادة أعداد البكتيريا، والأكتينوميسيتات actinomycets بها. وتجدر الإشارة إلى أنه لا إضافة الشيتين إلى التربة ولا غمس جذور الشتلات فى الشيتوسان قلل من تواجد الفطر *Fusarium oxysporum* بالتربة، إلا إنه لم يعرف — على وجه التحديد — تأثير كلتا المعاملتين على تواجد الفطر *F. oxysporum* f. sp. *apii* (Bell وآخرون ١٩٩٨).

● أدت معاملة الطماطم بالشيتوسان chitosan — رشًّا — إلى الحد من إصابتها بالفطر

*Phytopthora infestans*، كما أدت معاملتها مع ماء الرى إلى حمايتها من الإصابة بالذبول الفيوزارى. ولقد أظهرت الدراسات أن معاملة الشيتوسان حفَّت بشدة زيادة فى نشاط الـ chitinase والـ β-1,3-glucanse (Oh وآخرون ١٩٩٨).

● أحدث رش نباتات الطماطم أو معاملة التربة بأى من الـ chitosan، أو الـ chitosan hydrolysate، أو menadione sodium bisulfate مقاومة جهازية فى النباتات وفرت لها حماية من الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* مسبب مرض الذبول (Paz-Lago وآخرون ٢٠٠٠).

## السيليكون

يلعب السيليكون دورًا هامًّا فى حث النباتات على تطوير مقاومة جهازية فيها ضد مسببات الأمراض كما يتبين من الأمثلة التالية:

● وجد أن معاملة الخيار والتبغ بأكسيد السيليكون $SiO_2$ تستحث المقاومة الجهازية التى تظهر فى صورة زيادة فى نشاط إنزيمات الشيتينيز، والـ β-1,3-glucamase، والـ peroxidase، والـ polyphenoloxidase (عن Sticher وآخرين ١٩٩٧).

● أدت معاملة نباتات الخيار بالسيليكون إلى تحفيز نشاطها المضاد للفطريات والذى تمثَّل فى تمثيل مركبات ذات وزن جزيئى منخفض، كان إحداها فيتوألاكسين عُرِّف بأنه: flavonol aglycone rhamnetin (وهو 2,5,3′,4′-tetrahydroxy-7-O-methoxylfavone)، المعروف عنه أنه يفيد فى مكافحة بعض الأمراض، مثل البياض الدقيقى (Fawe وآخرون ١٩٩٨).

● كذلك تُحدث المعاملة بالسيليكون تغيرات تركيبية مجهرية وكيميائية تُكسب نبات الأرز مقاومة ضد الفطر *Magnaporthe grisea* مسبب مرض العصفة (Rodrigues وآخرون ٢٠٠٣).

● تلعب المعاملة بالسيليكون دورًا نشطًا فى الحماية من الإصابة بالبياض الدقيقى — تبين ذلك واضحًا لدى معاملة القمح بالسيليكون على صورة سيليكات الكالسيوم حيث وفر لها حماية من الإصابة بالفطر *Blumeria graminis* f. sp.*tritici* مسبب مرض

البياض الدقيقى، ظهر على صورة نقص فى مدى اختراق واستعمار الفطر لخلايا البشرة وكان ذلك مصاحبًا بتكوين الـ papilla وإنتاج الكالوز وبعض الفينولات الجليكوسيدية (Bélanger وآخرون ٢٠٠٣).

● أدت معاملة الكنتالوب بالسيليكون بتركيز ١٠٠ ملى مول فى صورة سيليكات الصوديوم إلى حماية الثمار من الإصابة بالفطر *Trichothecium roseum* المسبب لعفن الثمار، وكان ذلك مصاحبًا بإنتاج عائلتين من الإنزيمات ذات الصلة بالدفاع النباتى، وهما: البيروكسيديز peroxidase، والشيتينيز chitinase (Bi وآخرون ٢٠٠٦).

● أدى إمداد نباتات الأسبرجس بالسيليكون إلى تثبيط إصابتها بالفطر *Phomopsis asparagi* — مسبب مرض لفحة الساق — بصورة جوهرية، وصاحب ذلك تراكم للسيليكون فى جذور الأسبرجس ونمواته الهوائية، مع زيادة فى نشاط إنزيمات الـ catalase، والـ peroxidase، والـ polyphenoloxidase، والـ β-1,3-glucanase فى النباتات التى تمت عدواها بالفطر (Lu وآخرون ٢٠٠٨).

● تفيد المعاملة بالسيليكون بتركيز ٢ ملى مول كثيرًا فى حماية الأرز من الإصابة بالفطر *Magnaporthe grisea* مسبب مرض العصفة، وتزداد الحماية التى توفرها المعاملة فى التركيب الوراثى المقاوم عما فى التركيب الوراثى القابل للإصابة لدى مقارنة السلالات ذات الأصول الوراثية المتماثلة التى تختلف فى المقاومة. وبينما لم تؤثر المعاملة بالسيليكون — وحدها — فى محتوى اللجنين بالأرز أو فى نشاط الإنزيمات ذات العلاقة بالدفاع مثل البيروكسيديز peroxidase، والبولى فينول أوكسيديز polyphenol oxidase، وفيغيل آلانين أمونيا لاييز phenylalamine ammonia-lyase، فإن تلك المعاملة أدت — بعد العدوى بالفطر *M. grisea* — إلى إحداث زيادة جوهرية فى نشاط تلك الإنزيمات بالأوراق فى كلا التركيبين الوراثيين للأرز، وإلى ازدياد محتوى اللجنين بالأوراق، حيث ترسب بالـ papilla على الخلايا الحارسة للثغور وبالـ dumbbell bodies بالأوراق (Cai وآخرون ٢٠٠٨).

## المركبات النشطة فى الأكسدة

أدت معاملة نباتات الطماطم بالمركب o-hydroxyethylorutin إلى إحداث زيادة

بمقدار الضعف — تقريبًا — فى محتوى النبات من مركب فوق أكسيد الأيدروجين، وكان ذلك مصاحبًا بتقييد لإصابة الأوراق بالفطر *Botrytis cinerea* (Malolepsza & Urbanek ٢٠٠٠).

كما أدت معاملة النباتات بالمركب التجارى Oxycom — الذى يحتوى على أكسجين نشط (إنتاج Redox Chemicals — أيداهو — الولايات المتحدة الأمريكية) — إلى حمايتها من الإصابة بعديد من المسببات المرضية كالبثيم *Pythium* ومسببات أمراض البياض الزغبى والبياض الدقيقى؛ هذا .. على الرغم من أن هذا المركب لم يكن له تأثير يذكر على تلك المسببات فى المعمل عندما عُومِلت به بتركيزات مماثلة لتلك الموصى بها تحت ظروف الحقل. ولقد نشَّطت المعاملة بهذا المنتج نباتات الفاصوليا لإنتاج الإنزيمات المسئولة عن أيض الفينولات (مثل: الـ phenylalamine ammonia lyase، والـ chalcone synthase، والـ peroxidases)، والبروتينات المسئولة عن تقوية الجدر الخلوية، مثل الـ: hydroxyproline-rich glycoproteins (Kim وآخرون ٢٠٠١).

ويُعد المنتج التجارى Oxycom TM — وهو خليط من سماد مع مُوَلِّد نشط للأكسجين — حاثًا للمقاومة. ويكون فعل هذا المركب بالأساس على الفطريات؛ حيث يستحث فى النباتات الجينات ذات العلاقة بالمقاومة للفطريات، والتى تشفر لتمثيل البروتينات ذات العلاقة بأيض المركبات الفينولية وتقوية جدر الخلايا النباتية (Hammerschmidt وآخرون ٢٠٠١).

## الفيتامينات

إن المعاملة بالفيتامينات، مثل: الـ menadione sodium bisulphite (اختصارًا: MSB)، والـ roseflavin، والـ riboflavin تؤدى إلى تحفيز نشاط المقاومة النباتية ضد عديد من مسببات الأمراض. وعلى سبيل المثال .. أكسبت المعاملة بالـ MSB نباتات الموز مقاومة ضد مرض بنما، ونباتات لفت الزيت مقاومة ضد تقرح فوما الذى يسببه الفطر *Leptosphaeria maculans* (عن Pushpalatha وآخرين ٢٠٠٧).

وقد درس Pushapalatha وآخرون (٢٠٠٧) تأثير معاملة نباتات الدخُن اللؤلؤى

pearl millet (وهو *Pennisetum glaucum*) بعدد من الفيتامينات، ووجد أن نقع البذور لمدة ٦ ساعات فى محلول بتركيز ٢٠ مللى مول من أى من الفيتامينات: pyridoxine، و folic acid، و riboflavin، و niacin، و D-biotin، و menadione sodium bisulphite (اختصارًا: MSB) أدى إلى إسراع الإنبات، وزيادة قوة نمو البادرات، وزيادة المقاومة – جوهريًا – للبياض الزغبى الذى يسببه الفطر *Sclerospora graminicola*. وقد أعطى المركب MSB ٧٣٪ حماية، وتلاه كلاً من النياسين والريبوفلافين اللذان أعطيا ٦٣٪، و ٦٢٪ حماية، على التوالى. ولم يكن لخلط تلك الفيتامينات معًا تأثير إضافى على مكافحة البياض الزغبى. ولم يختلف تأثير رش النموات الخضرية بنفس التركيز من تلك الفيتامينات عن تأثير معاملة نقع البذور. وكان تأثير معاملة نقع البذور فى مقاومة المرض أعلاه قبل اليوم الرابع من العدوى بالفطر *S. graminicola* واستمر التأثير إلى نهاية فترة نمو المحصول.

## الأحماض الدهنية غير المشبعة

تبين أن معاملة البطاطس ببعض الأحماض الدهنية غير المشبعة المؤكسدة، مثل الأحماض: arachidonic، و linolenic، و linoleic، و oleic تستحث تكوين مقاومة جهازية ضد الفطر *Pythophthora infestans* (عن Sticher وآخرين ١٩٩٧).

## مستخلصات الطحالب البحرية

أدت معاملة نباتات الجزر بمستخلص الطحلب البحرى *Ascophyllum nodosum* إلى حمايتها من الإصابة بكل من الفطرين *Alternaria radicina*، و *Botrytis cinerea*، وكانت هذه الحماية أقوى من تلك التى وفرتها المعاملة بحامض السلسيلك. وقد صاحبت الحماية ما يلى:

١– زيادة فى نشاط الإنزيمات ذات العلاقة بالدفاع النباتى:

Peroxidase

Polyphenoloxidase

Phenylalanine ammania lyase

Chitinase

β-1,3-glucanase

٢- زيادة فى تمثيل البروتينات: PR-1، و Ltp، و Pal، و NPR-1، و PR-5 (Jayarj وآخرون ٢٠٠٨).

## الأوكسينات

تظهر أعراض الإصابة بالجرب العادى على درنات البطاطس بعد تمثيل المركب السام thaxtomin A بواسطة المسبب المرضى *Streptomyces* spp. لدى إصابته للدرنات. وقد وجد أن معاملة نباتات البطاطس بأعلى تركيز غير سام من الـ 2,4-D يؤدى إلى زيادة تحمل الدرنات للـ thaxtomin A؛ ومن ثم إلى منع ظهور أعراض الجرب العادى عليها، وذلك على الرغم من أن المعاملة بالأوكسين لم تغير من نمو المسبب المرضى فى البيئة الصناعية. وقد بدا أن هذا التأثير للأوكسين يمثل طريقة جديدة غير مباشرة لمنع تطور أعراض الإصابة المرضية (Tegg وآخرون ٢٠٠٨).

## حامض السلسيلك

أسلفنا الإشارة فى الفصل السادس إلى بعض معاملات حامض السلسيلك وعن دوره فى تطوير المقاومة الجهازية المستحثة بيولوجيًّا، ونذكر فيما يلى مزيدًا من الأمثلة فى هذا الشأن:

- أدت معاملة البطاطس بـ acetylsalicylic acid بتركيزات تراوحت بين ٠,٠١٢٥٪، و ٠,٠٥٪ إلى حماية الدرنات من الإصابة بالعفن الطرى الذى تسببه البكتيريا *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (López-López وآخرون ١٩٩٥).

- أحدث رش الطماطم بأى من الأسبرين أو حامض السلسيلك بتركيز ٢,٥ ملى مول مقاومة جهازية، وخففت المعاملة جوهريًّا من شدة إصابة النباتات ببكتيريا الذبول البكتيرى *Ralstonia solanacearum* (Abdel-Said وآخرون ١٩٩٦).

- أحدثت معاملة البسلة بحامض السلسليك salicylic acid – رشًّا على الأوراق

بتركيز ١,٥ ملى مول — مقاومة جهازية ضد فطر البياض الدقيقى دامت ١٣ يومًا بعد المعاملة، وظهرت على كل من الأوراق الأعلى والأوراق الأسفل من الأوراق المعاملة، علمًا بأن هذا التركيز من الحامض لم يُحدث أى ضرر بنباتات البسلة. وأدى قطع الأوراق المعاملة بعد يوم واحد من المعاملة إلى منع ظهور المقاومة الجهازية بصورة تامة ( Frey & Carver ١٩٩٨).

● أدى غمس درنات تقاوى البطاطس فى محلول من الـ acetylsalicylic acid (الأسبرين) بتركيز ٠,٠١٢٥٪ (وزن/جم) فى pH = ٧ قبل زراعتها — ومع ريها بماء ملوث بالبكتيريا *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* إلى خفض إصابتها — جوهريًا — بالعفن الطرى (López وآخرون ٢٠٠١).

## آى إن أى INA

كان المركب 2,6-dichloroisonictonic acid مع الـ methyl ester الخاص به (يعرفان معًا باسم INA) هما أول المركبات الكيميائية المصنعة التى أظهرت قدرة على إحداث استجابات دفاعية فى النباتات ضد المسببات المرضية الفطرية والبكتيرية الرئيسية.

وأعقب ذلك ظهور مركب آخر محضر صناعيًا هو acibenzolar-S-methyl (اختصارًا: BTH، وهو موضوع العنوان التالى) كان أوسع تأثيرًا من INA فى حث تكوين مقاومة جهازية ضد مدى واسع من المسببات المرضية فى النباتات. وعلى خلاف الـ INA — الذى لم تكن النباتات ذات قدرة عالية على تحمله — فإن النباتات أظهرت قدرة عالية على تحمل الـ BTH. ولذا .. تم إدخال هذا المركب فى الزراعة كمنشط نباتى تحت الأسماء التجارية Bion، و Actigard، و Boost (Beckers & Corath ٢٠٠٧).

وكان قد وجد أن المعاملة بالـ INA تستحث نباتات الخيار لمقاومة الفطر *Sphaerotheca fuliginea*، وتكفى المعاملة كل أسبوعين بتركيز ٠,٥ جزءًا فى المليون لتحقيق مكافحة تامة للمرض فى الأصناف المقاومة جزئيًا، بينما تلزم زيادة التركيز إلى ٦ أجزاء فى المليون ليمكن مكافحة المرض فى الأصناف القابلة للإصابة به ( Hijwegen & Verhaar ١٩٩٥).

كذلك وجد أن معاملة نباتات البطاطس بأى من المركبات acetylsalicylic acid (اختصارًا: ASA) بتركيز ٤٠٠ جزء فى المليون، أو 2,6-dichloroisonicotinic acid (اختصارًا: INA)، أو benzothiadiadiazole (اختصارًا: BTH) بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون .. أدت إلى حمايتها من الإصابة بكل من البياض الدقيقى والندوة المبكرة. وكان ذلك مصاحبًا بزيادة كبيرة فى نشاط إنزيمات الجلوكانيز. وفى المقابل لم تكن لتلك المعاملات تأثيرًا على خفض إصابة الدرنات بمرض عفن الفيوزاريم الجاف بعد الحصاد (Sydney Postharvest Laboratory Information Sheet — الإنترنت — ٢٠٠٧).

وتجدر الإشارة إلى أن المبيد الحشرى imidecloprid له تركيب بنائى شبيه بالـ INA، وهو يُهيئ النباتات للحماية من عوامل الشدّ البيئى والإصابات الحشرية (Beckers & Conrath ٢٠٠٧).

## مشتقات البى تى إتش BTH، والـ أى إس إم ASM

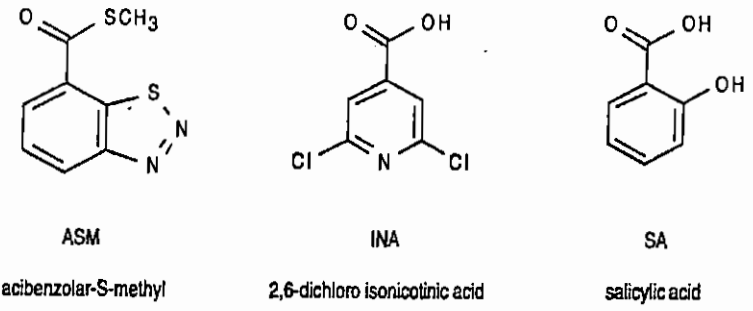
اكتشفت مجموعتين من المركبات الكيميائية التى يمكنها محاكاة النشاط البيولوجى الذى يحدث خلال تكوين المقاومة الجهازية المستحثة فى النباتات بواسطة المسببات المرضية المحدثة للتحللات necrogenic pathogens، وهما:

١- الـ 2,6,dichloro isonicotinic acid (اختصارًا: INA) ومشتقاته وقد أسلفنا الإشارة إليه، وهو يتشابه فى تركيبه البنائى مع تركيب حامض السلسيلك (شكل ٧-١).

٢- مشتقات الـ benzo[1,2,3] thiadiazole (اختصارًا: BTH) وأهمها S-methylbenzo[1,2,3] thiadiazole-7-carbothiate الذى يعرف اختصارًا بالإسم acibenzolar-S-methyl (اختصارًا: ASM، وتجاوزًا: BTH) (شكل ٧-٢)، والذى حُضِّرت منه أول المركبات التجارية Bion، و Actigard، و Boost.

هذه المركبات ليس لها أى تأثير مضاد للميكروبات فى البيئات الصناعية، ولكنها تُنشِّط مقاومة ضد مدى واسع من المسببات المرضية، مماثلة لما تحدثه المستحثات البيولوجية عندما تتسبب فى المقاومة الجهازية المستحثة. وعلى المستوى الجزيئى، فإن هذه المركبات الكيميائية تستحث نفس الجينات التى تُستحث فى حالة المقاومة

الجهازية المستحثة بواسطة المستحثات البيولوجية. هذا علمًا بأن كلا المركبين يعملان كمشابهات فعّالة لحامض السلسيلك فى مسارات المقاومة الجهازية المستحثة.




شكل (٧–١): المنشطات الكيميائية للمقاومة الجهازية المستحثة فى النباتات، علمًا بأن الـ ASM يشتق من benzothiadiazole (وهو الذى يعرف اختصارًا باسم BTH)، وأن حامض السلسيلك هو مركب يتواجد طبيعيًا فى النباتات.

يُنَشِّط المركب التجارى Bion المقاومة النباتية فى عديد من المحاصيل ضد عديد من الأمراض وبعض الآفات، ويستمر تأثيره لفترة، كما يكون أشد وضوحًا فى ذوات الفلقة الواحدة حيث يدوم تأثيره فيها لفترة طويلة عما فى ذوات الفلقتين. ولقد نجح استعماله – على سبيل المثال – فى مكافحة الذبابة البيضاء. ينتقل الـ Bion جهازيًا فى النبات ويمكن أن يأخذ مكان حامض السلسيلك فى المسار العادى لحث المقاومة الجهازية، ويستحث نفس المدى من المقاومات.

إن من أبرز سمات المقاومة المستحثة بواسطة ASM (أو BTH) أنها تبقى فعالة لمدة طويلة، بينما لا تدوم فاعلية معظم المبيدات لأكثر من أسبوع أو أسبوعين، كما أنها تكسب النباتات مقاومة ضد مدى واسع من المسببات المرضية الفطرية والبكتيرية والفيروسية (شكل ٧–٢، وجدول ٧–٢). وتجدر الإشارة إلى الحماية التى توفرها تلك الكيماويات من الإصابة بالـ peronospora blue mold فى التبغ وهى المكافحة التى لا تتحقق بأى من المبيدات، فضلاً عن تطوير الفطر المسبب للمرض لمقاومة مضادة لعديد من المبيدات المؤثرة (Oostendorp وآخرون ٢٠٠١، و Louws وآخرون ٢٠٠١).

شكل (٧-٢): تنشيط المقاومة الجهازية المستحثة فى التبغ ضد مدى واسع من المسببات المرضية بالمعاملة بالـ Bion أو الـ Actigard بمعدل ١٢-٣٧ جم من المادة الفعالة acibenzolalar-S-methyl للهكتار (٥-١٥ جم للفدان) (عن Oostendorp وآخرين ٢٠٠١).

جدول (٧-٢): أمثلة للمقاومات التى حدثت ضد مجاميع مختلفة من المسببات المرضية والآفات لدى معاملة بعض المحاصيل بالمركب acibenzolar-S-methyl (عن Oostendorp وآخرين ٢٠٠١).

| المحصول | بكتيريا | فيروسات | فطريات | حشرات | نيماتودا |
|---|---|---|---|---|---|
| النجيليات | | | ✓ | | |
| الأرز | ✓ | | ✓ | | |
| التبغ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| البطاطس | | ✓ | | ✓ | |
| الطماطم | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| الخضروات | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| التفاحيات | ✓ | | ✓ | | |
| الفاكهة ذات النواة الحجرية | ✓ | | | | |
| المانجو | ✓ | | ✓ | | |
| الحمضيات | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| العنب | | | ✓ | | ✓ |
| الموز | | | ✓ | | ✓ |

✓ = تنشيط المقاومة فى تجارب حقلية.

ونجد فى نباتات القمح المنشطة بالمعاملة بالـ acibenzolar-S-methyl أن المقاومة ضد الإصابة بالبياض الدقيقى تحدث بتفاعلات فرط الحساسية وبالتكوين الأسرع للـ papillae عند المواقع التى يحاول فيها الفطر اختراق النسيج النباتى. وتستمر المقاومة حتى فى حالة نجاح الاختراق إلى حين محاولة تكوين الفطر للممصات الثانوية؛ بما يعنى تنشيط المركب لعدة آليات للمقاومة.

وفى الأرز تعطى المعاملة بالـ ASM بمعدلات منخفضة فى طور البادرة مقاومة ضد العصفة تستمر مع النباتات إلى حين تكوين النورة الزهرية.

وعمومًا يبدو أن المقاومة التى توفرها المعاملة بالـ ASM فى ذوات الفلقة الواحدة تدوم لفترة أطول مما يحدث فى ذوات الفلقتين.

وتجدر الإشارة إلى أن المقاومة التى توفرها المعاملة بالـ ASM ضد مسبب مرضى معين فى عائل ما لا تعنى أن يمكن توفيرها تلقائيًا فى عوائل أخرى؛ فالأمر يتوقف — كذلك — على العائل (عن Oostendorp وآخرين ٢٠٠١).

يتوفر المركب الحاث للمقاومة الجهازية فى النباتات acibenzolar-S-methyl تحت الاسمين التجاريين Actigard (فى الولايات المتحدة)، و Bion (فى أوروبا) وكلاهما من إنتاج سنجنتا، وقد استخداما فى دراسات عديدة نذكر منها ما يلى:

- أدى رش نباتات الطماطم بالمركب المخلق Benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid methyl ester (اختصارًا: BTH) إلى إكسابها مقاومة ضد الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Benhamou & Bélanger ١٩٩٨).

- أدت معاملة نباتات الخيار بأى من الـ acibenzolar-S-methyl أو حامض السلسيلك إلى حمايتها من الإصابة بالفطر *Cladosporium cucumerinum* مسبب مرض الجُرب، مع تراكم الشيتينيز جهازيًا فى حالة المعاملة بالـ acibenzolar-S-methyl، وتراكمه فى الأوراق المعاملة — فقط — فى حالة المعاملة بحامض السلسيلك. كذلك تراكم الشيتينيز استجابة للعدوى بالفطر، وحدث التراكم بصورة أسرع فى النباتات التى كانت قد سبقت معاملتها بالـ acibenzolar-S-methyl عن تلك التى كانت قد سبقت معاملتها

بحامض السلسيلك أو بالماء. ويعنى ذلك أن المعاملة بالـ acibenzolar-S-methyl تعطى إشارة لحث تطوير مقاومة جهازية فى النبات، بينما تستحث المعاملة بحامض السلسيلك تطوير المقاومة الموضعية فقط (Narusaka وآخرون ١٩٩٩).

● أظهرت الدراسات أن معاملة الطماطم بالمركب acibebzolar-S-methyl يستحث فيها مقاومة جهازية ضد كل من البكتيريا *Xanthomonas axonopodis* pv.*vesicotoria* مسبب مرض التبقع البكتيرى، والبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* مسبب مرض النقط البكتيرية bacterial speck، وكانت المكافحة المتحصل عليها مماثلة للمكافحة التى يوفرها برنامج قياسى للرش بالمبيدات النحاسية أو أفضل منها (Louws وآخرون ٢٠٠١).

● أدت معاملة الفلفل بالتحضير التجارى المنشط للنمو Actigard الذى يحتوى على المركب acibenzolar-S-methyl إلى حمايتها من الإصابة بالبكتيريا *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* المسببة لمرض البقع البكتيرية. وتحت ظروف الحقل .. أدت المعاملة بالـ ABM كل أسبوعين إلى مكافحة المرض بدرجة مماثلة للمكافحة التى تتحقق باستعمال النحاس مع المانيب (Romero وآخرون ٢٠٠١).

توفر المعاملة بالـ Bion بمعدل ٣٠ جم مادة فعالة للهكتار (١٢,٥ جم مادة فعالة/فدان) حماية للقمح ضد الإصابة بالبياض الدقيقى لمدة ١٠ أسابيع، ولكن مع ضرورة إجراء المعاملة قبل حدوث أية إصابة، لأنها لا تؤثر فى الإصابة الموجودة بالفعل. وعلى الرغم من أن المعاملة بخليط من المبيدين propiconazole، و fenpropidin تعطى مكافحة أفضل فى البداية عن المعاملة بالـ Bion، فإن معاملة الـ Bion تبقى فعالة لفترة أطول، كما أن المعاملة المشتركة بالـ Bion مع تركيز منخفض من أحد المبيدات الفطرية يعطى أفضل النتائج (Oostendorp وآخرون ٢٠٠١).

● أحدث رش نباتات القنبيط بالمركب acibenzolar بتركيز ٢٠ جزء فى المليون قبل الإصابة بالفطر *Peronospora parasitica* إلى حث تكوين مقاومة جهازية ضد الفطر انتقلت إلى العقد التى توجد أعلى وأسفل الورقة المعاملة، واستمرت فاعلية المقاومة الجهازية لمدة ٢٨ يومًا (Sharma ٢٠٠٢).

● أدت معاملة الطماطم بمنشط النمو النباتى Actigard إلى خفض إصابتها بالأنثراكنوز والتبقع البكتيرى، مع زيادة المحصول الصالح للتسويق (Abbasi وآخرون ٢٠٠٢).

● تؤدى معاملة الفلفل بالمنشط النباتى Actigard الذى يحتوى على المركب Acibenzolar-S-methyl إلى حماية النباتات من الإصابة بالفطر *Phytophthora capsici* مسبب مرض لفحة فيتوفثورا (Matheron & Porchas ٢٠٠٢).

● أدت معاملة الطماطم بمنشط النمو Actigard إلى تقليل شدة إصابتها بالأمراض بما فى ذلك خفض أعراض إصابات الثمار بالبقع البكتيرية والأنثراكنوز، مع زيادة محصول الثمار الصالحة للتسويق (Abbasi وآخرون ٢٠٠٢).

● أدى رش نباتات الفلفل أربع مرات بالـ Actigard بتركيز ٧٥ ميكروجرام/مل إلى الحد من إصابتها بالفطر *Phytophthora capsici* مسبب مرض عفن الجذر والتاج الفيتوفثورى بدرجة وصلت إلى ٩٧٪ (Matheron & Porchas ٢٠٠٢).

● أحدثت المعاملة المتكررة بالـ acibenzolar-S-methyl (٦–٧ مرات كل ٨–١٢ يومًا) بتركيز ٣٠٠ ميكرومول مقاومة جهازية فى الفلفل ضد الإصابة بالبكتيريا *Xanthomonas vesicatoria* مسبب مرض البقع البكتيرية (Buonaurio وآخرون ٢٠٠٢).

● أدت معاملة التربة أو بذور الفاصوليا بالمركب acibenzolar-S-methyl (وهو: benzo(1,2,3) thiadiazole-7-carbothioic acid-S-methyl ester) بمعدل ١ مجم/كجم إلى حماية الفاصوليا من الإصابة بالفطر *Colletotrichum lindemuthianum* مسبب مرض الأنثراكنوز، وذلك فى كل من الأصناف القابلة للإصابة بالفطر والمتوسطة المقاومة (Bigirimana & Hofte ٢٠٠٢).

● تفيد المعاملة بأى من الـ acibenzolar-S-methyl، أو الشيتوسان chitosan، أو الـ fosetyl-Al فى مكافحة الفطر *Phytophthora cactorum* مسبب مرض عفن التاج فى الفراولة (Eikemo وآخرون ٢٠٠٣).

● تؤدى معاملة نباتات الفلفل الحاملة لجين المقاومة الرأسية (R) للبكتيريا

*Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* — مسبب مرض البقع البكتيرية — بمنشط الجهاز الدفاعى acibenzolar-S-methyl قبل حقنها بالبكتيريا المرضة إلى تأخير حدوث أى تغيرات طفرية فى السلالة البكتيرية بسبب صِغَر حجم عشيرة المسبب المرضى؛ بما يعنى زيادة فترة بقاء جينات المقاومة الرأسية الرئيسية فعالة ( Romero & Ritchie ٢٠٠٤).

● أدت معاملة نباتات الطماطم بالمركب Acibenzolar-S-methyl (المنتج التجارى Actigard 50 WG) — وهو مركب ينشط ويستحث النظام الدفاعى المكتسب فى النباتات — إلى حمايتها من الإصابة ببكتيريا الذبول *Ralstonia solanacearum* تحت ظروف العدوى بها بتركيز منخفض (Hacisalihoglu وآخرون ٢٠٠٧).

● أدت معاملة نباتات الكنتالوب بأى من: acibenzolar-S-methyl، أو potassium silicate، أو salicylic acid إلى حثها إلى تطوير مقاومة جهازية ظهرت على صورة زيادة فى نشاط إنزيمات الشيتينيز chitinase، والبيروكسديز peroxidase، كما كانت أمراض ما بعد الحصاد أقل جوهريًا مما فى ثمار نباتات الكنترول (McConchie وآخرون ٢٠٠٧).

● أدى رش أوراق الطماطم بأى من منشط النمو acibenzolar-S-methyl (المركب التجارى Bion بتركيز ٠,٢ جم/لتر)، أو بمعلق الشيتوسان المتحصل عليه من ميسيليوم الفطر *Crinipellis pemiciosa* إلى حمايتها — بدرجة عالية — من الإصابة بالبكتيريا *Xanthomonas vesicatoria* مسبب مرض البقع الورقية. وقد صاحبت المقاومة المستحثة للبكتيريا المرضة زيادة معنوية فى نشاط كل من البيروكسيديز والبولى فينول أوكسيديز والشيتينيز والفينيل آلانين أمونيا لايز. وعند عدوى النباتات بالبكتيريا المرضة ازداد — كذلك — ترسيب اللجنين (Cavalcanti وآخرون ٢٠٠٧).

● أعطت المعاملة بمنشط النمو النباتى acibenzolar-S-methyl — وحدها — خفضًا قدره ٥٠٪ فى شدة الإصابة بالبكتيريا *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* مسبب مرض لفحة أوراق زانثومونس فى البصل، كما أعطت المعاملة الأسبوعية أو كل أسبوعين بالبكتيروفاجات bacteriophages خفضًا فى شدة الإصابة بالمرض بلغ ٢٦٪-٥٠٪، وكان ذلك مماثلاً للمكافحة بالرش الأسبوعى بأيدروكسيد النحاس مع المانكوزب. وبذا ..

يُعتقد بأن المكافحة المشتركة بكل من الـ acibenzolar-S-methyl والبكتيروفاجات يمكن أن تقدم بديلاً جيدًا لمكافحة المرض فى البصل عوضًا عن المعاملة بالمركبات النحاسية مع مركبات الـ ethylenebisdithiocarbamates (Lang وآخرون ٢٠٠٧).

● لم تكن لمعاملة نقع ثمار الكنتالوب – بعد الحصاد – فى محلول الـ BTH فائدة فى حمايتها من الإصابة بالفطر *Fusarium pallidoroseum* الذى يسبب عفنًا بالثمار، أو فى تحفيز أى نشاط إنزيمى مضاد للإصابة بالفطر، إلا أن إجراء المعاملة فى وقت مبكر من النمو النباتى قبل الإزهار أدى إلى حث تكوين استجابات دفاعية فى النبات تمثلت فى زيادة لجننة الأنسجة النباتية وفى نشاط الإنزيمات ذات العلاقة بالنظام الدفاعى، وذلك مقارنة بما حدث فى معاملة الشاهد (Gondim وآخرون ٢٠٠٨).

● أدت المعاملة المزدوجة بكل من *Pseudomonas fluorescens* والمنشط النباتى acibenzolar-S-methyl إلى تحقيق مقاومة جيدة للبكتيريا *Xanthomonas vesicatoria* pv. *vesicatoria* مسبب مرض التبقع البكتيرى فى الطماطم (Abo-Elyousr & El-Hendawy ٢٠٠٨).

● أحدثت المعاملة بالـ benzothiadiazole (اختصارًا: BTH) – منفردة أو مع مُنتج يحتوى على بكتيريا محيط جذرى منشطة للنمو – خفضًا واضحًا فى إصابة الطماطم بمرض النقط البكتيرية الذى تسببه البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. كذلك أدت المعاملة بالـ BTH إلى ارتفاع فى مستويات الاستجابات التى تنظمها كلا من حامض السلسيلك والإثيلين. وبالمقارنة .. فإن المعاملة بالمنتج البكتيرى منفردًا لم تُعط مكافحة جيدة مماثلة لتلك التى أعطتها المعاملة بالـ BTH منفردًا. هذا .. ولم يلاحظ وجود أى تضاد بين المنشطين حيث كانت مقاومة المرض عند المعاملة بهما معًا مماثلة للمعاملة بالـ BTH فقط أو أفضل منها (Herman وآخرون ٢٠٠٨).

● أدت المعاملة بمعدلات منخفضة من الـ acibenzolar-S-methyl (٢,٢ أو ١,١ جم مادة فعالة للهكتار) إلى زيادة كفاءة المبيدات المستخدمة فى مكافحة مرض البياض الزغبى الذى يسببه الفطر *Peronospora tabacina* فى التبغ، وتماثلت تلك المعاملة فى

تأثيرها مع تأثير المعاملة بالـ acibenzolar-S-methyl — فقط — بمعدل ١٧,٥ جم مادة فعالة/هكتار (LaMondia ٢٠٠٨).

● كذلك أدى الجمع بين المعاملة بكل من الـ acibenzolar-S-methyl والمبيد الحشرى imidacloprid إلى خفض معدلات إصابة التبغ بفيرس ذبول الطماطم المتبقع الذى ينقله التربس (Nischwitz وآخرون ٢٠٠٨).

## الـ بى أى بى أى BABA

### مدى التأثير

أظهر الحامض الأمينى غير البروتينى β-aminobutyric acid (اختصارًا: BABA) قدرة على إكساب النباتات مقاومة ضد عديد من مسببات الأمراض الفطرية والبكتيرية، بالإضافة إلى عديد من الأنواع النيماتودية والحشرية، والظروف البيئية القاسية، مثل الجفاف والملوحة.

ولقد كانت بداية اكتشاف تأثيره فى عام ١٩٦٣ عندما عرف دوره فى حماية البسلة من الإصابة بالفطر *Aphanomyces euteiches* لدى معاملتها به بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون قبل تعرضها للإصابة بالفطر (Jakab وآخرون ٢٠٠١).

وبتتابع دراسة تأثير رش النموات الخضرية بالـ BABA وجد أنه يؤدى إلى حماية نباتات العنب — بكفاءة — من الإصابة بالفطر *Plasmopara viticola* مسبب مرض البياض الزغبى. كما ثبتت المعاملة بالـ BABA أعراض الإصابة بالفطر *Phytophthora infestans* مسبب مرض الندوة المتأخرة فى البطاطس والطماطم، وأدت المعاملة إلى حماية نباتات الكنتالوب من الإصابة بالفطر *Monosprascus cannonballus* مسبب مرض الذبول الفجائى (Beckers & Conrath ٢٠٠٧).

هذا .. ولم يعرف أبدًا أن للـ BABA تأثير ضار مباشر على أى من المسببات المرضية، إلاّ أنه من المؤكد أن ينشط المقاومة الجهازية فى النباتات لدى معاملتها به (Jakab وآخرون ٢٠٠١).

وعلى الرغم من ندرة تواجد الحامض الأميني غير البروتيني BABA في النباتات، فإنه يستحث مقاومة جهازية قوية في عدد كبير من النباتات ضد عديد من المسببات المرضية (جدول ٧-٣).

جدول (٧-٣): أمثلة لحالات مقاومة جهازية أحدثتها المعاملة بالـــ **DL-β-aminobutyric acid** (عن **Jakab** وآخرين ٢٠٠١، و **Cohen** ٢٠٠٢).

| النبات | المسبب المرضي |
|---|---|
| البطاطس | *Phytophthora infestans* |
| | *Alternaria solani* |
| | *Fusarium sambucinum* |
| الطماطم | *Phytophthora infestans* |
| | *Botrytis cinerea* |
| | *Xanthomonas vesicatoria* |
| | *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* |
| | *Clavibacter michiganesis* |
| | *Meloidogyne javanicum* |
| التبغ | *Peronospora tabacina* |
| | *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* |
| | Tobacco mosaic virus |
| الفلفل | *Colletorichum coccodes* |
| | *Phytophthora capsici* |
| الخيار | *Pseudoperonospora cubensis* |
| | *Sphaerotheca fuliginea* |
| | *Colletorichum lagenarium* |
| | *Pseudomonas lachrymans* |
| | *Meloidogyne javanica* |
| | *Botrytis cinerea* |
| الكنتالوب | *Pseudoperonospora cubensis* |
| | *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* |
| | *Monosporascus cannonballus* |

تابع جدول (٧-٣).

| النبات | المسبب المرضى |
|---|---|
| البطيخ | *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* |
| الـ Arabidopsis | *Peronospora parasitica* |
| | *Botrytis cinerea* |
| | *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* |
| القنبيط | *Peronospora parasitica* |
| | *Pseudomonas marginalis* |
| | *Pseudomonas flurescens* |
| | *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* |
| البروكولى وكرنب أبو ركبة | *Alternaria brassicicola* |
| دوار الشمس | *Plasmopara halstedii* |
| | *Puccinia helianthi* |
| الخس | *Bremia lactucae* |
| القرنفل | *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* |
| الحبوب الصغيرة (قمح وشعير وشوفان) | *Heterodera lalipons* |
| | *Heterodera avenae* |
| الذرة | *Fusarium moniliforme* |
| الدخُن اللؤلؤى | *Sclerospora graminicola* |
| البسلة | *Aphanomyces euteiches* |
| الفول السودانى | *Cercosporidium personatum* |
| العنب | *Plasmopara viticola* |
| ثمار التفاح | *Alternaria alternata* |
| القطن | *Verticillium dahliae* |
| | *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* |

## طريقة المعاملة

يمكن المعاملة بالـ β-aminobutyric acid (الـ BABA) عن طريق رش النموات الخضرية، و "سقيًا" للجذور، وبنقع البذور فى محلول منه، كما يمكن إضافته كمسحوق للتربة، وحقنًا فى السيقان، وسكبًا لمحلولة على الجذور المكشوفة، والسيقان المقطوعة.

يتوقف التركيز الفعال للـ BABA — الذى يعطى حوالى ٩٠٪ مقاومة — على كل من العائل والمسبب المرضى وطريقة المعاملة. وعمومًا تلزم تركيزات عالية (٢٥٠-١٠٠٠ ميكروجرام/مل) عند رش الأوراق عما فى حالة سقى التربة (حيث يكفى تركيز ٢٠-١٠٠ ميكروجرام/مل)؛ ربما بسبب الكفاءة العالية للجذور فى امتصاص المركب. هذا بينما يلزم استعمال تركيزات تتراوح بين ٠,٥٪، و ١٪ عند نقع البذور.

ويتوقف طول مدة فاعلية المركب فى حث المقاومة الجهازية على كل من العائل والمسبب المرضى، وهى تتراوح — عادة — بين نحو ١٠ أيام إلى ٣٠ يومًا.

وعلى خلاف منشطات النبات الأخرى (مثل حامض السلسيلك، والـ INA، والـ BTH) التى لا تكسب النباتات المقاومة إلاّ إذا كانت المعاملة بها قبل التعرض للإصابة، فإن الـ BABA يكون فعالاً إذا أجريت المعاملة قبل أو بعد التعرض للإصابة.

ينتقل الـ BABA فى النبات عن طريق الجهاز الوعائى؛ فهو ينتقل مع تيار ماء النتح إذا ما عوملت به الجذور، وعبر اللحاء مع الغذاء المجهز إذا ما عُوملت به الأوراق (Cohen ٢٠٠٢).

## آلية فعل المركب

يُنَشِّط المركب D,L-β-aminobutyric المقاومة الدفاعية فى النباتات — وخاصة ضد البياض الزغبى — فى محاصيل متنوعة عند استعماله بمعدلات عالية نسبيًّا. كما تبين — كذلك — أن له تأثير علاجى. وقد ذكر أن تأثيره يحدث فى الطماطم من خلال تراكم حامض السلسيلك وتكوين البقع المتحللة، إلاّ إنه لم يُعرَف على وجه التحديد كيفية فعله (Oostendorp وآخرون ٢٠٠١).

وفى الـ *Arabidopsis* وجد أن المعاملة بالـ BABA تحمى النبات من الإصابة بالفطر *P. parasitica* (وهو من الفطريات البيضية oomycetes) بآلية ليست لها علاقة بأى من حامض السلسيلك، أو حامض الجاسمونك، أو الإيثلين. وهو يستحث إنتاج رواسب بالجدر الخلوية؛ مما يؤدى إلى وقف نمو الفطر. هذا .. إلاّ أن الـ BABA يؤثر بآلية تعتمد على حامض السلسيلك فى حالات أخرى كما فى حالة

المقاومة للبكتيريا *P. syringae* وللفطريات الـ necrotrophic، ولفيرس موزايك التبغ فى التبغ (Hammerschmidt وآخرون ٢٠٠١، و Cohen ٢٠٠٢).

ويبين جدولا (٧-٤، و٧-٥) قائمتين بالمركبات ذات الصلة بالمقاومة للأمراض والتى تتكون لدى المعاملة بالـ BABA.

جدول (٧-٤): المركبات ذات الصلة بالمقاومة للأمراض والتى تتكون لدى المعاملة بالـ DL-β-aminobutyric acid (عن Cohen ٢٠٠٢).

| النبات | المركبات المتكونة | النسيج الذى يحدث فيه التراكم |
|---|---|---|
| الطماطم | Phenolics | الجنور |
| | Autofluorescing compounds | الأوراق |
| | Callose, lignin | الأوراق |
| | PR-proteins | الجنور والأوراق |
| | Amino acids | الأوراق |
| | Salicylic acid | الجنور والأوراق |
| | Hydrogen peroxide | الأوراق |
| التبغ | Hydrogen peroxide | الأوراق |
| | Superoxide | الأوراق |
| | Lipid peroxides | الأوراق |
| | PR-proteins | الأوراق |
| | Salicylic acid | الأوراق |
| | Callose | الأوراق |
| الفلفل | PR-proteins | السيقان |
| | Phytoalexins | السيقان |
| | Salicylic acid | السيقان |
| | Callose | الأوراق |
| | PR-proteins | الأوراق |
| القنبيط | Callose | الأوراق |
| | PR-proteins | الأوراق |
| العنب | Lignin | الأوراق |
| البقدونس | Furanscoumarins | الخلايا |

جدول (٧-٥): الـ Pathogensis related Proteins (اختصارًا: PRPs) المتراكمة في النباتات المعاملة بالـ DL-β-aminobutyric acid قبل وبعد التعرض للمسبب المرضي (عن Cohen ٢٠٠٢).

| النبات والمسبب المرضي | طريقة المعاملة | تراكم الـ PRPs قبل التعرض للإصابة | تراكم الـ PRPs بعد التعرض للإصابة |
|---|---|---|---|
| الطماطم *Phytophthora infestans* | رش النموات الخضرية | PR-1, PR-2, PR-5 | لم تختبر |
| الطماطم *Phytophthora infestans* | سقي الجذور | PR-1, PR-5 (PR-2 nt) | لم تختبر |
| الطماطم *Phytophthora infestans* | رش النموات الخضرية | P14, AP24 Local and systemic | P14, also in fungus and papillae, AP24 |
| التبغ *Peronospora tabacina* | رش النموات الخضرية | PR-1, PR-2, PR-5 | لم تختبر |
| | سقي الجذور | None | لم تختبر |
| | حقن السيقان | PR-5 | لم تختبر |
| التبغ Tabacco mosaic virus | رش النموات الخضرية | PR-1 (mRNA) PR-1 Gus promoter, Local and systemic | لم تختبر |
| *Arabidopsis* | رش النموات الخضرية | Pr-1, PR-2, PR-5 (mRNA) | لم تختبر |
| *Peronospora parasitica* | سقي الجذور | None | لم تختبر |
| Arabidopsis *Botrytis cinerea* | سقي الجذور | None | PR-1 (mRNA) |
| Arabidopsis *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* | سقي الجذور | None | PR-1 (mRNA) |
| القنبيط *Peronospora parasitica* | رش النموات الخضرية | None | PR-5 |

تابع جدول (٧-٥).

| النبات والمسبب المرضى | طريقة المعاملة | تراكم الـ PRPs قبل التعرض للإصابة | تراكم الـ PRPs بعد التعرض للإصابة |
|---|---|---|---|
| الفلفل *Phytophthora capsici* | رش النموات الخضرية | PR-2, PR-5 | PR-2, PR-5 |
| دوار الشمس *Peronospora halstedii* | سقى الجذور | None لم تختبر | |

## التفاعل مع المبيدات

بينما لم يكن الـ BABA فعَّالاً ضد البياض الدقيقى فإن خلطه بمبيدات الـ triazole حسَّن كثيرًا من فاعليتها. كما يتفاعل الـ BABA تداوبيًّا - كذلك - مع عديد من المبيدات الأخرى حيث يكون التأثير الناتج أقوى من المعاملة بأى من الـ BABA أو المبيد على حدة.

**ومن بين المبيدات وبدائل المبيدات التى يتفاعل الـ BABA تداوبيًّا معها ما يلى:**

| | |
|---|---|
| copper hydroxide | cymoxanil |
| fosetyl-al | dimethomorph |
| mancozeb | chlorothalonil |
| folpet | metalaxyl |
| chitosan | potassium phosphate |

(Cohen ٢٠٠٢).

## مزيد من الأمثلة

نقدم - فيما يلى - مزيدًا من الأمثلة عن الدراسات التى استخدم فيها الـ BABA فى مكافحة أمراض الخضر:

● تبين من دراسات Cohen (١٩٩٤) على الطماطم أن رش النباتات مرة واحدة بالحامض الأميني غير البروتيني DL-3-amino-n-butanoic acid يكسبها مقاومة جهازية ضد الفطر *Phytophthora infestans* — مسبب مرض الندوة المتأخرة — بدرجة مكافحة تزيد على ٩٥٪. وقد جرب الحامض مع ٧ عزلات من الفطر و ٧ أصناف من الطماطم تتباين فى درجة قابليتها للإصابة بالفطر وأعطى معها نفس النتيجة. كما جُرب استعمال أحماض أمينية أخرى غير بروتينية، ولكنها كانت إما أقل كفاءة من هذا الحامض الأمينى، وإما عديمة الكفاءة فى مكافحة الفطر.

● وقد أظهرت دراسة لاحقة (Cohen & Gisi ١٩٩٤) أن DL-3-amino-n-butanoic acid, B-aminobutyric acid (اختصارًا: BABA) ينبغى أن يكون متواجدًا فى النسيج النباتى لكى يكون هذا النسيج مقاومًا للفطر *P. infestans*، وتبين أن المركب يتحرك فى النبات من أسفل إلى أعلى نحو القمة Acropetally، فهو ينتقل من الورقة المعاملة إلى الأوراق التى تعلوها، وليس إلى الأوراق المجاورة لها، كما ينتقل — عند إضافته عن طريق الجذور — إلى أعلى الأوراق، وهى التى تكتسب — بدورها — أعلى درجات المقاومة.

● أدت معاملة نباتات الفلفل بالمركب DL-β-amino-butyric acid بتركيز ١٠٠٠ ميكروجرام/مل إلى حمايتها بصورة شبه كاملة من الإصابة بالفطر *Colletotrichum coccodes* مسبب مرض الأنثراكنوز، سواء أكانت المعاملة عن طريق التربة، أم رشًا على الأوراق. وعندما أجريت المعاملة عن طريق التربة لزم مرور خمسة أيام قبل اكتساب النباتات للمقاومة ضد الفطر، واستمرت مقاومة النباتات لمدة ١٥ يومًا. أما عندما عوملت النباتات بالمركب عن طريق رش الأوراق السفلى فإن ذلك أدى إلى حماية الأوراق الأعلى منها من الإصابة بالفطر؛ مما يدل على أن المعاملة أدت إلى إكساب النباتات مقاومة جهازية ضد الفطر (Hong وآخرون ١٩٩٩).

● أدت معاملة الخس بالرش بأى من $K_2HPO_3$ (فى صورة التحضير التجارى Phytogard) بتركيز ٤٠,٦ جزءًا فى المليون، أو بالـ BABA بتركيز ١٠ ملى مول إلى مكافحة البياض الزغبى بصورة تامة وجهازية لمدة ١٥ يومًا (Pajot وآخرون ٢٠٠١).

● أدى رش الفلفل بالـ DL-β-amino-n-butyric acid بتركيز جزء واحد فى المليون إلى حث تكوين مقاومة تامة ضد الإصابة بالفطر *Phytophthora capsici*، وذلك فى خلال ثلاثة أيام من المعاملة بالمركب، وقد استمرت فاعلية المقاومة المستحثة لمدة تزيد عن ٢٠ يومًا (Xie وآخرون ٢٠٠٢).

● أدى رش بادرات القنبيط وهى بعمر ٧ أيام مرة واحدة بالمركب DL-β-amino-n-butanoic acid (اختصارًا: BABA) إلى حمايتها من الإصابة بالفطر *Peronospora parasitica* — مسبب مرض البياض الزغبى — لمدة لا تقل عن ١٥ يومًا. وقد كانت المقاومة المستحثة مصاحبة بتكوين بقع متحللة مماثلة لما يحدث فى حالة فرط الحساسية (Silué وآخرون ٢٠٠٢).

● يعد الـ BABA شديد الفاعلية فى إكساب كل من الطماطم والبطاطس مقاومة ضد الفطر *Phytopthora infestans*؛ ففى الطماطم أعطت رشتان بينهما ١٤ يومًا مكافحة بلغت ٨٣٪، بينما أعطت نفس المعاملة فى البطاطس مكافحة بلغت ٦٠٪، وحُصل على أعلى مكافحة فى البطاطس (٦٤,٥٪–٧٧,٧٪) بعد أربع رشات بين الرشة والأخرى سبعة أيام وبمعدل ٤٨٥ جم للفدان.

● كما أعطت المعاملة بالـ BABA بتركيز ١ مجم/مل مع ماء الرى بالتنقيط كل أسبوعين مكافحة جيدة للفطر *Monosporascus cannonballus* مسبب مرض الذبول الفجائى فى الكنتالوب (Cohen ٢٠٠٢).

● يتفاعل الشدُّ الملحى مع المعاملة بتركيز منخفض — نسبيًّا — (١٢٥ ميكروجرام/لتر) من الـ DL-β-amino butyric acid فى زيادة مقاومة الطماطم للبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* مسبب مرض النقط البكتيرية، وكان ذلك التفاعل مصاحبًا بزيادة فى كل من إنتاج فوق أكسيد الأيدروجين $H_2O_2$ ونشاط الـ guaiacol peroxidase (Baysal وآخرون ٢٠٠٧).

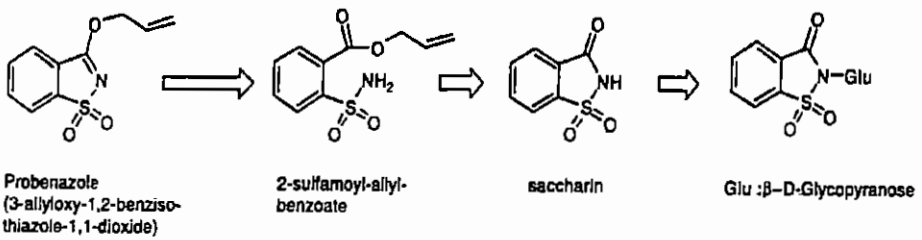
## أيزومير الـBABA: الـجى أى بى أى GABA

أدى رش البسلة باى من حامض السلسيلك أو gamma-aminobutyric acid (GABA)

إلى زيادة نشاط إنزيمات الـ peroxidase، والـ catechol oxidase (سابقًا: polyphenol oxidase)، و الـ phenylalanine ammonia-lyase؛ بما يعنى أن هذين المركبين يستحثان استجابات دفاعية فى النباتات (Guleria وآخرون ٢٠٠٠).

## البروبينازول

يستخدم البروبينازول Probenazole أساسًا مع الأرز ضد كل من *Pyricularia oryzae* مسبب مرض العصفة *blast*، و *Xanthomonas oryzae* مسبب مرض اللفحة البكتيرية حيث يعطى نتائج جيدة وسريعة. تجرى المعاملة إما فى المشتل، وإما فى الحقل، حيث يُمتص المركب بواسطة النباتات وينتقل إلى مختلف أجزائه إما على صورته المعامل بها أو على إحدى الصور التى تنتج عنها (شكل ٧-٣).




شكل (٧-٣): الـ **Probenazole** ونواتجه الأيضية فى نباتات الأرز.

هذا .. وقد سُجِّل استعمال الـ Probenazole فى عديد من المحاصيل ضد بعض الأنواع البكتيرية المرضة بصورة أساسية.

ونظرًا لضعف نشاط هذا المركب ضد مسببات الأرز المرضية فى البيئات الصناعية؛ لذا .. يعتقد بأن تأثيره القوى ضد تلك المسببات فى النبات يحدث من خلال تنشيطه لآليات الدفاع النباتية (عن Oostendorp ٢٠٠١).

## الثيمول

أدى حقن الطماطم بالثيمول thymol مع ماء الرى بالتنقيط بمعدل ٧٣ كجم/هكتار (٣٠,٦

كجم/فدان) والرش بمنشط المقاومة الجهازية acibenzolar-S-methyl بتركيز ٠,٢٥ مجم/لتر إلى الحصول على مكافحة جيدة لكل من الذبول البكتيرى الذى تسببه البكتيريا *Ralstonia solanacearum*، ونيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne arenaria* (Ji وآخرون ٢٠٠٧).

## موجز للمقاومة المستحثة بيولوجيًا وكيميائيًا

بعد هذا العرض الموسع للمقاومة المستحثة بيولوجيًا وكيميائيًا ضد الأمراض والذى قدمناه فى الفصلين السادس والسابع، قد يكون من المفيد تلخيص بعض جوانب تلك المقاومة، والتى نعرضها فى جدولين.

يبين جدول (٧-٦) قائمة بالمركبات التى وجد أنها تستحث المقاومة ضد الأمراض فى المحاصيل البستانية أيًا كان أصل تلك المركبات.

ويبين جدول (٧-٧) قائمة مختارة من النباتات وظروف الشدّ البيئى والبيولوجى التى أمكن حماية تلك النباتات منها بمعاملتها ببعض المركبات النشطة بيولوجيًا أو بالكائنات الدقيقة.

جدول (٧-٦): قائمة بالمركبات التى وجد أنها تستحث المقاومة ضد الأمراض فى المحاصيل البستانية (عن Da Rocha & Hammerschmidt ٢٠٠٥).

| المادة الحاثة (ومصدرها) | النبات | المسبب المرضى المقاوم |
|---|---|---|
| **مكونات فطرية** | | |
| Yeast-derived elicitor (*Saccharomyces cerevisiae*) | الخس (*Lactuca sativa*) | *Botrytis cinerea* and *Rhizoctonia solani* |
| Hyphal wall components (*Phytophthora infestans*) | البطاطس (*Solanum tuberosum*) | *P. infestans* |
| Eicosapentaenoic acid (*P. infestans*) | البطاطس | *P. infestans* |
| Arachidonic acid (*P. infestans*) | البطاطس | *P. infestans* |
| Chitosan | الخيار (*Cucumis sativus*) | *Pythium aphanidermatum* |
| Chitosan olygomers (poly-N-glucosamine) | الطماطم | *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycorpersici* |

تابع جدول (٧-٦).

| المادة الحاثة (ومصدرها) | النبات | المسبب المرضى المقاوم |
|---|---|---|
| **مكونات بكتيرية** | | |
| Lipopolysaccharide (*Pseudimonas fluorescens*) | القرنفل (*Dianthus caryophyllus*) | *F. oxysporium* f. sp. *dianthi* |
| **مستخلصات نباتية** | | |
| Giant knotweed (*Reynoutria sachalinensis*) extract | الفلفل (*Capsicum annuum*) | *Botrytis cinerea* |
| Giant knotweed extract | البيجونيا (*semperflorens*) | البياض الدقيقى *Begonia* |
| Giant knotweed extract | الطماطم | البياض الدقيقى |
| Giant knotweed extract | الخيار | البياض الدقيقى (*fuliginea*) *Sphaerotheca* |
| **مكونات نباتية** | | |
| Gamma resorcylic acid | الخيار | *Colletotrichum lagenarium* |
| Oxalic acid | الخيار | *C. lagenarium* |
| Salicylic acid | الخيار | *Cladosporium cucumerinum* |
| Linoleic acid | البطاطس | *P. infestans* |
| Oleic acid | البطاطس | *P. infestans* |
| Jasmonatess (jasmonic acid and methyl jasmonate) | البطاطس | *P. infestans* |
| Jasmonates (jasmonic acid and methyl jasmonate) | الطماطم | *P. infestans* |
| Methyl jasmonate | البصل (*Allium cepa*) | *Alternaria porri* |
| Oxalic acid | الكيوى (*Actinidia chinensis*) | *Sclerotinia sclerotiorum* |
| Salicylic acid | الكيوى | *S. sclerotiorum* |
| **منتجات تجارية مصنعة** | | |
| Aliette (aluminium tris-o-ethylphosphate) | العنب (*Vitis* spp.) | *Plasmopora viticola* |
| Benzothiadiazole (benzo[1,2,3] thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester) | التفاح (*Malus* x *domestica*) | *Erwinia amylovora* |
| ASM | الموز (*Musa* spp.) | *Mycosphaerella fijiensis* |
| ASM | الفلفل (*Capsicum annuum*) | *Colletotrichum* spp. |
| ASM | الخيار | *Cladosporium cucumerinum* |

تابع جدول (٧-٦).

| المسبب المرضى المقاوم | النبات | المادة الحاثة (ومصدرها) |
|---|---|---|
| ASM | الخيار | *Pythium ultimum* |
| ASM | الخس | *Bremia lactucae* |
| ASM | البسلة | *Mycosphaerella pinodes, Pseudomonas syringae* pv. *pisi, Uromyces viciae-fabae* |
| ASM | الفلفل | *Phytophthora capsici* |
| ASM | الورد (*Rosa hybrida*) | *Diplocarpon rosae, Agrobacterium tumefaciens* |
| ASM | السبانخ (*Spinacia oleracea*) | *Albugo occidentalis* |
| ASM | الطماطم | فيرس موزايك الخيار |
| Elexa | الخيار | أمراض نباتية كثيرة ومتنوعة |
| | العنب | |
| | البطاطس | |
| | الفراولة (*Fragaria* × *ananassa*) | |
| | الطماطم | |
| 2,6-dichoraisonictonic acid (DCINA) (CGA 41396) | الكرنب (*Brassica oleracea* var. *capitata*) | *Peronospora parasitica* |
| DCINA أو INA | الكمثرى (*Pyrus communis*) | *Erwinia* |
| DCINA | الفلفل | *Xanthomonas* |
| DCINA | الخيار | *Sphaerotheca fuliginea* |
| DCINA | الورد | *Sphaerotheca pannosa* |
| Phytogard® (58% $K_2HPO_3$ Potassium phosphonate) | الخس | *Bremia lactucae* |
| | | مستحثات حيوية |
| DL-3-amino-n-butanoic acid | الطماطم | *Phytophthora infestans* |
| DL-2-amino-n-butanoic acid | الطماطم | *P. infestans* |
| β-aminobutric acid (BABA) | الخيار | *Sphaerotheca fuliginea* |
| BABA | العنب | *Plasmopora viticola* |
| BABA | الخس | *Bremia lactucae* |
| BABA | البسلة | *Aphanomyces euteiches* |
| BABA | الفلفل | *P. capsici* |
| BABA | الطماطم | *Meloidogyne javanica* |
| BABA | الطماطم | *P. infestans* |
| 4-cholrosalicylic acid | الكيوى | *Sclerotinia sclerotiorum* |

تابع جدول (٧-٦).

| المسبب المرضى المقاوم | النبات | المادة الحاثة (ومصدرها) |
|---|---|---|
| *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* | الطماطم | 2-furoic acid (2FA) |
| *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* | الطماطم | 4-hydroxibenzoic hydrazide (4HBHZ) |
| *Colletorichum lagenarium* | الخيار | Micronutrients (borate, copper, manganese) |
| *C. lagenarium* | الخيار | Oxalic acid |
| *C. lagenarium* | الخيار | Phosphate |
| *Bremia lactucae* | الخس | Phosphate |
| *Leveillula taurica* | الفلفل | Phosphate |
| *C. lagenarium* | الخيار | Polyacrylic acid |
| *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* | الطماطم | Salicylic hydrazide (SHZ) |
| *C. lagenarium* | الخيار | Tunicamycin |

جدول (٧-٧): قائمة مختارة من النباتات وظروف الشدّ البيئى والبيولوجى التى أمكن حماية تلك النباتات منها بمعاملتها ببعض المركبات النشطة بيولوجيًا والكائنات الدقيقة، وذلك تحت ظروف البيوت المحمية والحقل (عن Beckers & Conrath ٢٠٠٧)

| المحصول | حالة الشدّ | العامل النشط فى الحماية[أ] |
|---|---|---|
| **ذوات الفلقة الواحدة** | | |
| الموز | *Mycosphaerella fijensis* | BTH |
| الشعير | *Blumeria graminis* | BTH |
| | *Heterodera* spp. | BABA |
| | **الجفاف** | Imidacloprid |
| الذرة | *Fusarium moniliforme* | BABA |
| | *Peronoscleropora sorghi* | BTH |
| | **الجفاف** | Pyraclostrobin |
| الأرز | *Pyricularia oryzae* | BTH |
| | *Rhizoctonia solani* | PGPR |
| قصب السكر | *Colletotrichum falcatum* | BTH |
| القمح | *B. graminis* | BTH |
| | *Septoria* spp. | BTH |

تابع جدول (٧-٧).

| المحصول | حالة الشدّ | العامل النشط فى الحماية[1] |
|---|---|---|
| ذوات الفلقتين | | |
| التفاح | *Erwinia amylovora* | BTH |
| الفاصوليا | *Uromyces appendiculatus* | INA, BTH |
| | *Xanthomonas campestris* | BTH |
| | الأوزون | BTH |
| الكاجو | *Colletotrichum gloeosporiodes* | BTH |
| *Anacardium occidentale* | | |
| القنبيط | *Hyaloperonospora parasitica* | BABA, BTH |
| القطن | *Verticillium dahliae* | BABA, BTH, INA |
| | *X. campestris* | BTH |
| | الجفاف | Imidacloprid |
| اللوبيا | *Colletotrichum destructum* | BTH |
| الخيار | *Colletotrichum* spp. | BTH, PGPR |
| | *Pseudomonas syringae* | PGPR |
| العنب | *Plasmopara viticola* | BABA |
| الخس | *Bremia lactucae* | BABA, BTHA |
| الكنتالوب | *Fusarium oxysporum* | BABA |
| البسلة | *Aphanomyces euteiches* | BABA |
| | *P. syringae* | BTH |
| الفول السودانى | *Cercosporidium personatum* | BABA, BTH, INA |
| الفلفل | *X. campestris* | BTH |
| | *Colletotrichum coccodes* | BABA |
| | *Meloidogyne incognita* | PGPR |
| | الجفاف | فطريات الميكوريزا |
| البطاطس | *Phytophthora infestans* | BABA |
| | *Alternaria solani* | BABA, BTH |
| | *Fusarium* spp. | BABA, BTH |
| القجل | *F. oxysporum* | PGPR |
| فول الصويا | *Sclerotinia sclerotiorum* | BTH, INA |
| السبانخ | *Albugo occidentalis* | BTH, Strobilurins |

تابع جدول (٧-٧).

| المحصول | حالة الشدّ | العامل النشط فى الحماية(أ) |
|---|---|---|
| الفراولة | *Phytophthora* spp. | BTH |
| التبغ | *Phytophthora parasitica* | BABA, BTH |
| | Tobacco mosaic virus | BABA, BTH |
| الطماطم | *P. infestans* | BABA, BTH |
| | *P. syringae* | BTH, PGPR |
| | فيرس موزايك التبغ | Pyraclostrobin |

(أ) المركبات والتحضيرات والكائنات النشطة بيولوجيًا:

BTH= acibenzolar-S-methyl.

BABA= β-aminobutyric acid.

Pyraclostrobin = strobilurin fungicides يعد من الـ

ومن تحضيراته التجارية Carbio، و Headline

INA = 2,6-dichloroisonictinic acid + its methyl ester.

PGPR = Plant growth promoting rhizobacteria =

بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى

Imidacloprid = مبيد حشرى، منه الكونفيدور