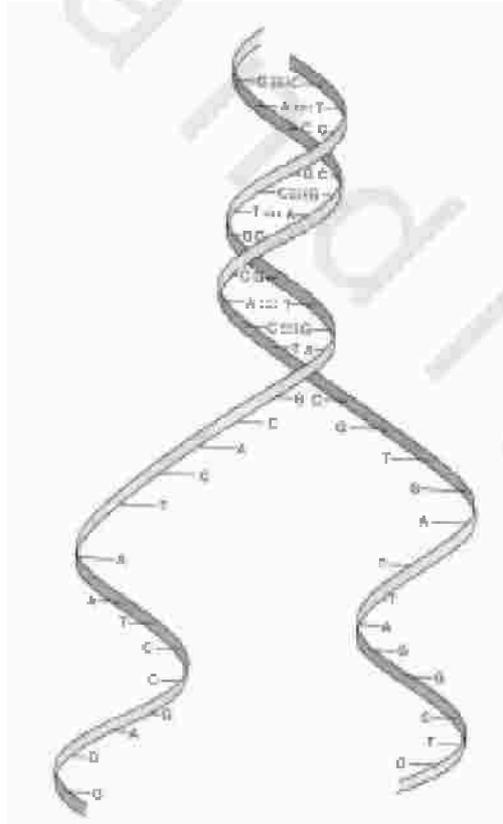


التداخلات الحيوية مع مبيدات الآفات

- طرق تأثير مبيدات الحشرات
- طرق تأثير مبيدات الحشائش
- طرق تأثير مبيدات الفطريات
- مقاومة الآفات للمبيدات



طرق تأثير مبيدات الحشرات

Modes of Action for Insecticides

كل مبيدات الآفات تعوق بعض العمليات الأيضية، ولكن ما هي طريقة تأثيرها؟ من الصعب أحياناً تحديد ذلك، وفي كثير من الأحيان لا يزال ذلك مجهولاً. في أحيان قليلة، قد يُظهر المبيد أكثر من طريقة للتأثير على الكائنات، مما يجعل تصنيفه معقداً. لدينا معلومات غير كاملة عن تفاعلات الجزئيات الكبيرة لمبيدات الآفات الشائعة الاستخدام.

في هذا الباب، وفي البابين التاليين له، سيتضح أن طريقة تأثير المبيدات عبارة عن مجموع الاستجابات التشريحية، الفسيولوجية، والكيموحيوية التي ينتج عنها التأثير الكلي السام للمادة الكيميائية، وكذلك المصير الطبيعي - والجزئي لها (مكان و تحطم المادة الكيميائية) في جسم الكائن الحي. يدل اصطلاح "آلية التأثير" على الاستجابات الكيموحيوية والطبيعية الحيوية للكائن الحي التي تصاحب التأثير الإيادي للمبيد. وربما لا تشمل هذه الاستجابات بالضرورة موقع التأثير الكيموحيوي الرئيسي، أي الإنزيم أو التفاعل الأيضي الذي يتأثر بجرعات أقل من أي إنزيم آخر، أو أي تفاعل أيضي آخر، أو هو التفاعل الأول الذي يتأثر عند أي جرعة منخفضة. قد يكون مكان التأثير الرئيسي جزءاً من الإجابة عن التساؤل عن كيفية كون أي سم معين مبيداً فعالاً.

ومن أجل الإيجاز والتبسيط في موضوع معقد ودائم التغير، سوف يتم تغطية طرق تأثير مبيدات الحشرات والحشائش والفطريات فقط في الفصول السابع عشر، الثامن عشر والتاسع عشر؛ وهي تشكل تقريباً ٩٠ إلى ٩٥٪ من عدد وكمية مبيدات الآفات المستخدمة في الوقت الحاضر. (طرق تأثير المجموع الأخرى من مبيدات الآفات يتم ذكرها في الأبواب الخاصة التي تناقش تلك المواد على أفراد)، وهناك رسوم تخطيطية مبسطة لتوضيح أساس طرق تأثير المبيدات.

الدراسات المفصلة لطرق تأثير المبيدات ضرورية لتسجيل تلك المواد في وكالة حماية البيئة، ويجب أن تحتوي تلك الدراسات على بيانات مدعومة وذلك لإثبات، بما لا يدع أي مجال للشك، كيف تؤثر أي مادة كيميائية على الكائن المستهدف. هذه الدراسات ليست مهمة فقط لفهم السلوك الحيوي للمبيد، ولكنها ضرورية أيضاً لمعرفة كيفية معالجة حالات التسمم في الإنسان، وتجهيز المواد المضادة (الترياقات) للتسمم، ولوضع مواصفات السلامة للإنسان والحيوانات. وقد توجَّ "المرسوم الخاص بحماية نوعية الغذاء" في عام ١٩٩٦م المواضيع الخاصة بكل من "طريقة التأثير وميكانيكية التأثير" بأهمية جديدة وذلك لأن إحدى ركائزه يتطلب من وكالة حماية البيئة الا تنظر إلى

تأثير مبيدات الآفات بصورة انفرادية وإنما أيضاً فيما يتعلق بالتأثير التجمعي والتضاعلي لها وبالذات عندما تشترك بطرق متماثلة في أحداث تأثيراتها السمية. من خلال هذه الأبحاث المتكررة، الواسعة الحيال، على المواد الكيميائية التي لها طرق تأثير متخصصة، تأتي المعرفة اللازمة لتصميم مبيدات آفات جديدة أفضل، ويمكن استخدام مثل هذه المعلومات في استكشافات العلوم الإحيائية، والعلوم البيئية وحتى في مجالات صحة الإنسان.

فيما يتعلق بطرق التأثير، فإن المبيدات الحشرية تقع في ثمانية أقسام (مجاميع): السموم الطبيعية، السموم البروتوبلازمية، السموم العصبية، مبطات الأيض، السموم الخلوية، السموم العضلية، عوامل الأكللة ومعوقات الإنسلاخ، التحول وتكوين كيوتيكال الحشرة.

السموم الفيزيائية (الطبيعية)

PHYSICAL TOXICANTS

السموم الطبيعية هي المواد التي تعمل على إعاقة أي عملية فسيولوجية بطريقة ميكانيكية، وليس من خلال العمليات الكيموحيوية أو التفاعلات العصبية، مثل الزيوت المستخدمة لمكافحة يرقات البعوض بسدّها للفتحات التنسية فتعوت اليرقات بالإختناق. تطبق الزيوت الثقيلة على الأشجار المثمرة خلال مواسم سكونها وتكافح الحشرات القشرية بقلها لثغورها التنفسية. النوع الآخر من السموم الفيزيائية هي المساحيق الحاملة الكاشطة مثل حمض البوريك، الرمل الداياتومي، وجل السيليكا وجل الأيروسيليكا. تقتل هذه المواد الحشرات بامتصاصها للطبقات الشمعية الموجودة في كيوتيكال الحشرة، فتسبب فقد الماء المستمر من جسم الحشرة وينتج عن ذلك جفاف الحشرة وموتها.

السموم البروتوبلازمية

PROTOPLASMIC POISONS

تهاجم السموم البروتوبلازمية العديد من الإنزيمات الموجودة في أجهزة الحشرة، ويبدو أنها تؤدي في النهاية إلى ترسيبها. تشمل هذه السموم الزئبق وأملاحه، الأحماض القوية، وعدد من المعادن الثقيلة، بما في ذلك الكاديوم والرصاص. يلزم استخدام كميات كبيرة من هذه المواد للقتل بهذه الطريقة، مقارنة بالمبيدات الحشرية المستخدمة في الوقت الحاضر.

السموم العصبية

NERVE POISONS

السموم ذات الأثر التخديري (Narcotics) = السموم التخديرية

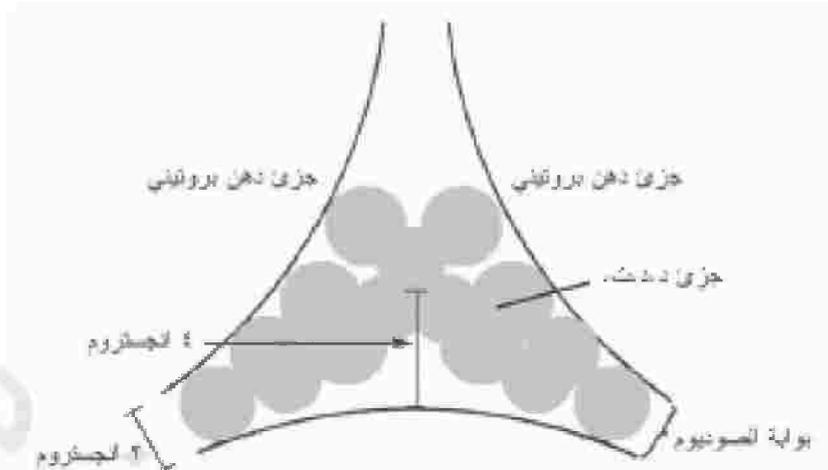
بعض المدخّنات، خصوصاً تلك التي تحتوي على الهالوجينات (الكلور، البروم، الفلور) سموم تخديرية؛ بمعنى أن طريقة تأثير تلك المدخّنات طبيعي أكثر من كونه كيميائي. المدخّنات قابلة للموبان في الدهون؛ لها أعراض تسعم

البيروثرويدات المصنعة (Pyrethroids)

يزداد التأثير السام للبيروثروين وبعض البيروثرويدات المصنعة (البيروثرويدات) على الحشرات بانخفاض درجة الحرارة، بمعنى أن لها معامل حراري سالب، كما في حالة الـ DDT. باختصار، تعمل البيروثرويدات كمعدلات أو كمثبطات لقناة الصوديوم، وهي تعمل كسموم على المحاور العصبية وذلك بإعاقة (سد) قنوات الصوديوم في كل من الجهاز العصبي السطحي والجهاز العصبي المركزي، مسببة تدفقات عصبية متكررة تنتهي بالشلل والموت. وهي تؤثر على كلاً من الجهاز العصبي المركزي وكذلك الجهاز العصبي السطحي. تبدأ البيروثرويدات بتثبيته الخلايا العصبية فيحدث فيها اشارات متكررة تؤدي في النهاية إلى حدوث الشلل. تنتج تلك التأثيرات عن فعل البيروثرويدات على قناة الصوديوم، وهي عبارة عن ثقب صغير جداً يسمح من خلاله لأيونات الصوديوم بالدخول إلى محور الخلية العصبية لتسبب الاثارة. تنتج هذه التأثيرات في الحبل العصبي للحشرة، الذي يحتوي على العقد العصبية والتشابك العصبي، وكذلك في محاور الألياف العصبية العملاقة. التأثير التثبيتي للبيروثرويدات واضح جداً مقارنة بالـ DDT، ولا يعرف مكان تأثير البيروثرويدات في مناطق التشابك العصبي بالضبط. من المحتمل أن التأثير السام للبيروثرويدات ناتج عن عملية إقفالها للمحور العصبي، لأن هذا التأثير له معامل حراري سالب، ولكن بسبب أن العقد العصبية للمصرصور تؤثر عليها البيروثرويدات بتركيزات أقل كثيراً مما هو مطلوب لإيقاف التوصيل العصبي في الألياف العصبية العملاقة، فإنه من المحتمل جداً أن البيروثرويدات تؤثر على بعض النواحي الوظيفية للتشابك العصبي. يحدث الصعق السريع للحشرات الطائرة نتيجة الشلل السريع للعضلات، مما يبين أن العقد العصبية للجهاز العصبي المركزي في الحشرة تتأثر بذلك.

D.D.T (DDT)

لم تُعرف بالضبط طريقة تأثير هذا المركب أو نوعية النشاط الحيوي له بعد، ولا لأفراد مجموعته. يؤثر الـ DDT على محاور الخلايا العصبية بطريقة تجعله يمنع مرور الإشارات العصبية بطريقة طبيعية، في كل من الحشرات والثدييات، وفي النهاية، فإن الخلايا العصبية ترسل إشارات عصبية تلقائية مسببة ارتعاش العضلات وهو ما يسمى بالهيجان العصبي المتسبب عن الـ DDT، ويتبع ذلك التشنج ثم الموت. الـ DDT مبيد حشري بطيء التأثير نسبياً، ومن صفاته غير العادية أن سميته للحشرات تزداد كلما انخفضت درجة الحرارة في البيئة المحيطة، أي أن له معامل حراري سالب مثل بعض المبيدات البيروثرويدية المصنعة.



الشكل رقم (١٧،٢). التماثل الجزئي للـ د.د.ت.: كل قوس كبير يمثل جزء دهن بروتيني.

المصدر: (L. J. Mullins, Science 122 : 118-119, July 1955)

أوضح علماء الفسيولوجيا الكهربائية أن الـ د.د.ت يعمل على قناة الصوديوم ويجعلها تُسَرِّب أيونات الصوديوم، وتكون النتيجة زيادة نشاط الأعصاب، مسببة ارتعاش العضلات، كما وُضح ذلك سابقاً. ومن الواضح بجلاء أن الهندسة الفراغية لجزيئ الـ د.د.ت وكونه ينطبق تماماً داخل الفراغ البيني للمحور العصبي هو الذي يسهم في سميته العصبية (الشكل رقم ١٧،٢) الشيء نفسه ينطبق أيضاً على مبيد اللندين (الشكل رقم ١٧،٣) والذي سوف يناقش لاحقاً.

الأوكساديازينات Oxadiazines

أندوكساكارب مبيد حشري جديد وهو العضو الوحيد في هذه المجموعة وهو يعمل على سد قنوات الصوديوم ولكن بطريقة فريدة من نوعها تعتمد على الفولتية الكهربائية للأعصاب. وهو مبيد حشري يعمل كسم معدي وبالملاسة.

سموم التشابك العصبي - مثبطات قناة الكلوريد Synaptic Poisons-Chloride Channel Blockers

توجد طريقتان مختلفتان لانتقال الإشارات العصبية في الجهاز العصبي: الأولى هي الانتقال خلال المحاور العصبية، والذي تمت مناقشته سابقاً، وفيه تعمل الإشارات العصبية من نقطة وصولها خلال المحور إلى خلية عصبية أو عضلة، غدة أو خلية حسية مستقبلة. الطريقة الثانية هي خلال التشابك العصبي بين الخلايا العصبية وبعضها. ومنطقة التشابك العصبي هي منطقة الاتصال بين الخلية العصبية والخلايا العصبية الأخرى، ويشمل ذلك أيضاً الاتصال بين الخلية العصبية والعضلة، أو نقطة التشابك العصبي - العضلي (الشكل رقم ١٧،٤)، وفي الواقع فإن انتقال الإشارات العصبية في مناطق التشابك العصبي كلها كيميائية.

عندما تنتقل الإشارة العصبية خلال المحور وتصل إلى نقطة التشابك العصبي ، فإن هذه الإشارة (النبضة) تنتهي ، مسببة إفراز كمية قليلة من مادة كيميائية تسمى الناقل الكيميائي العصبي ، وذلك عند نهاية المحور العصبي. تتحرك هذه المادة خلال فراغ أو فجوة التشابك العصبي ، ثم تولد إشارة أخرى إذا كانت نقطة التشابك بين خلايا عصبية ، أو أي استجابة أخرى مناسبة إذا كان التشابك بين خلية عصبية وأخرى عضلية أو بين خلية عصبية وعضلة. يوجد نوعان شهيران من الناقلات العصبية الكيميائية هما الأسييتايل كولين والنورإينفرين ؛ كما يوجد ناقلات عصبية كيميائية أخرى. الشبك العصبية التي تستخدم الأسييتايل كولين يطلق عليها كولورجية (cholinergic) ، أما تلك التي تستخدم النورإينفرين فتسمى أدرنجية (adrenergic) (الشكلين رقمي ١٧.٥ ، ١٧.٦).

السيكلوداينات (cyclodienes)

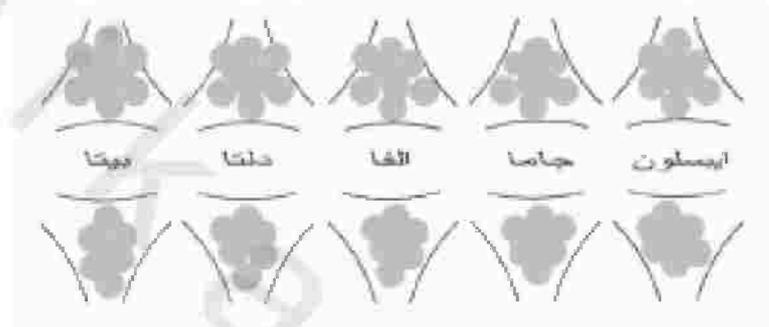
للسيكلوداينات معامل حراري موجب ، بعكس الـ د.د.ت أو البيروثرويدات المُصنَّعة ، بمعنى أن سميتها للحشرات تزداد مع ارتفاع درجة حرارة البيئة المحيطة ، وبخلاف هذا الفارق الكبير ، فإن التشابه بين أعراض التسمم بمبيد الـ د.د.ت وبين الـ سيكلوداينات يمكن مشاهدة سلسلة من الاشارات المتكررة في الحبال العصبية للمصابين للمعاملة بالسيكلوداينات. يوجد دائماً فواصل زمنية ، أو فترات كمون ، بين المعاملة بالمبيد وظهور أعراض التسمم ، وتتراوح فترات الكمون بين ساعتين و ٨ ساعات ، وذلك طبقاً لنوع المبيد الحشري. من المحتمل أن ميكانيكية التسمم بالسيكلوداينات تتضمن إحداثها تغيرات في نفاذية الأيونات خلال أغشية المحاور العصبية. تحتوي السيكلوداينات على موقعين غنيين بالإلكترونات واقعين باتجاهين متعاكسين من بعضهما على طول خط التماثل ، ولذلك ، يفترض أنها ترتبط بمركز حيوي معين في الجهاز العصبي ، بطريقة تثبط الوظيفة الفسيولوجية الطبيعية لهذا المركز. ترتبط هذه المركبات بالغطاء الخارجي أو أغصدة الأعصاب ، ولكن هذا الارتباط لا يفسر تماماً تأثيرها.

وهذه المجموعة من الكيمواريات تؤثر على الميكانيكية الشبكية والتي تكون نشطة طبيعياً في الجهاز العصبي ، أي على مُستقبل جابا = (جاما - حمض أمينوبيوتريك = GABA) الذي يعمل على زيادة نفاذية أيون الكلوريد إلى الخلايا العصبية. إذا ، فالسيكلوداينات تمنع أيونات الكلوريد من دخول الخلايا العصبية ، ولذلك ، فهي تضاد تأثيرات جابا المُسكنة (المهدئة) ولذلك فإنها تعرف بمعوقات (antagonists) قنوات الكلوريد في بوابة الجابا.

اللندين (Lindane; HCH): المشابه الفعّال للهكسان الحلقي سداسي الكلور (HCH) هو مشابه جاما ، ويُسمى باللندين. يؤثر اللندين أسرع من الـ د.د.ت والسيكلوداينات ، وبسبب ارتفاع في معدل التنفس أكبر من الـ د.د.ت. لسمية اللندين علاقة عكسية مع درجة الحرارة ولكن هذه العلاقة أوضح في حالة الـ د.د.ت. الإشارات الحادة المتكررة في الحبل العصبي المُعامل (باللندين) والتي تحدث في تعاقب مرتين إلى أربع مرات ، ظاهرة غير مفهومة حتى الآن ، لكنها بالتأكيد مختلفة عن تلك التندفقات المتكررة التي تلاحظ عند التسمم بالـ د.د.ت. يصنف اللندين ضمن

مجموعة من السموم العصبية مثل الـ d.d.t، ومع هذا بطريقة تأثيره تختلف عن الـ d.d.t. علاوة على ذلك، فإن التشابه في عمليات التسمم بين اللندين والـ d.d.t أكثر من الاختلافات.

من الصفات الكيميائية المدهشة للندين هي الاختلافات الهائلة في النشاط البيولوجي بين مشابهاه القريبة من بعضها (related isomers). توحي هذه الاختلافات بأن الترتيب الفراغي الثابت للجزيء أمراً ضرورياً لتأكيد نشاطه كمييد حشري. (انظر الباب الرابع والشكل رقم ١٧.٣). تتطابق ميكانيكية التأثير الرئيس للندين مع ميكانيكية تأثير السيكلوداينات، أي أنه يعمل كمعوق لقنوات الكلوريد في بوابة الجايا.



الشكل رقم (١٧.٣). نماذج متوازنة للمشابهات (الايسومرات) المختلفة لـ HCH وانطافها في الفراغ بين غشائي للمستوى (الصف العلوي) ومن اتجاه إحدى النهايات (الصف السفلي). الفراغ البيني هو الذي يُستغل بواسطة الـ d.d.t (انظر الشكل رقم ١٧.٢) وحيث أن كل اتجاهات النهاية ممكنة، إلا أن مشابه جاما (ايسومر جاما) - (لندين) هو الوحيد الذي ينطبق في الفراغ البيني لتوجيه المستوى (نفس مصدر معلومات الشكل رقم ١٧.٢).

الترينيات المتعددة الكلور Polychloroterpenes

مبيدات التوكسافين والستروين هما المبيدان الوحيدان في هذه المجموعة، وقد أوقف استخدامها، وهي تشبه كل من السيكلوداينات والـ HCH من كونها يعملان كمعوقات لقنوات الكلوريد في بوابة الجايا العصبية.

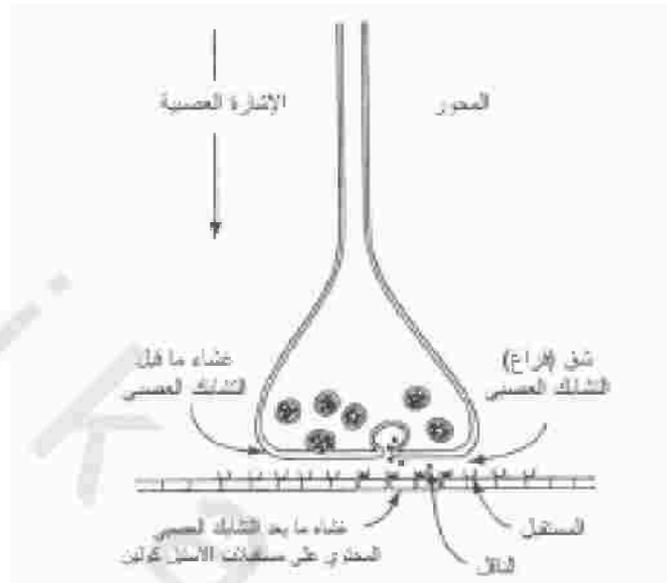
الفيرولات Fiproles

الفبرونيل هو العضو الوحيد في هذه المجموعة الجديدة، وهو فعال ضد الحشرات التي كونت مقاومة ضد كل من المبيدات البيروثرويدية، الفوسفور العضوية والكارباماتية، وذلك لأنه يعمل بطريقة تأثير جديدة، حيث أنه يسد قناة الكلوريد التي ينظمها الجايا.

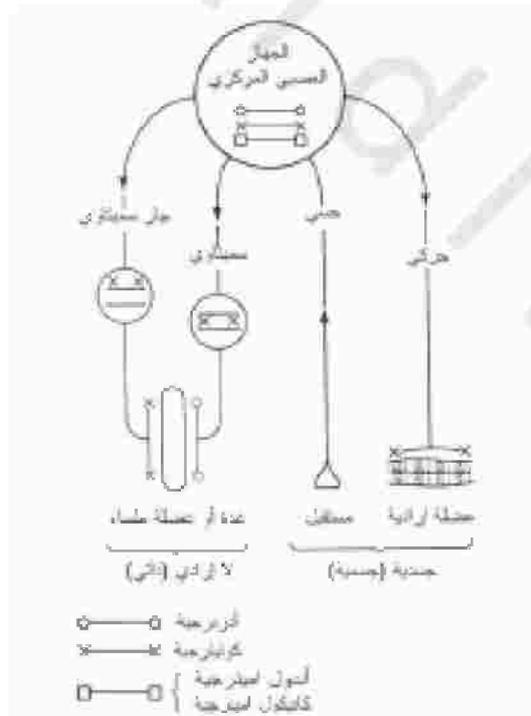
مركبات الأفرمكتينات Avermectins

تضم هذه المجموعة كل من أيامكتين، ايفرمكتين، وكذلك إيمامكتين. هذه المركبات فعالة كمييدات أكاروس (حلم) ومبيدات حشرية لبعض الأنواع، وأيضاً كمواد طاردة للديدان. تتداخل الأفرمكتينات مع الوظيفة الخاصة بنقاط

التشابك العصبي التي يعمل فيها الجابا كناقل عصبي. وهي ترتبط بمستقبلات الجابا فتعتمده من الارتباط وتسبب الشلل. ويبدو أن الأفرمكتيتات منشطة لقناة الكلوريد أكثر من كونها مثبطة لها كما هو الحال مع مركبات السيكلوداين.



الشكل رقم (١٧،٤). رسم تخطيطي لنقطة تشابك عصبي.

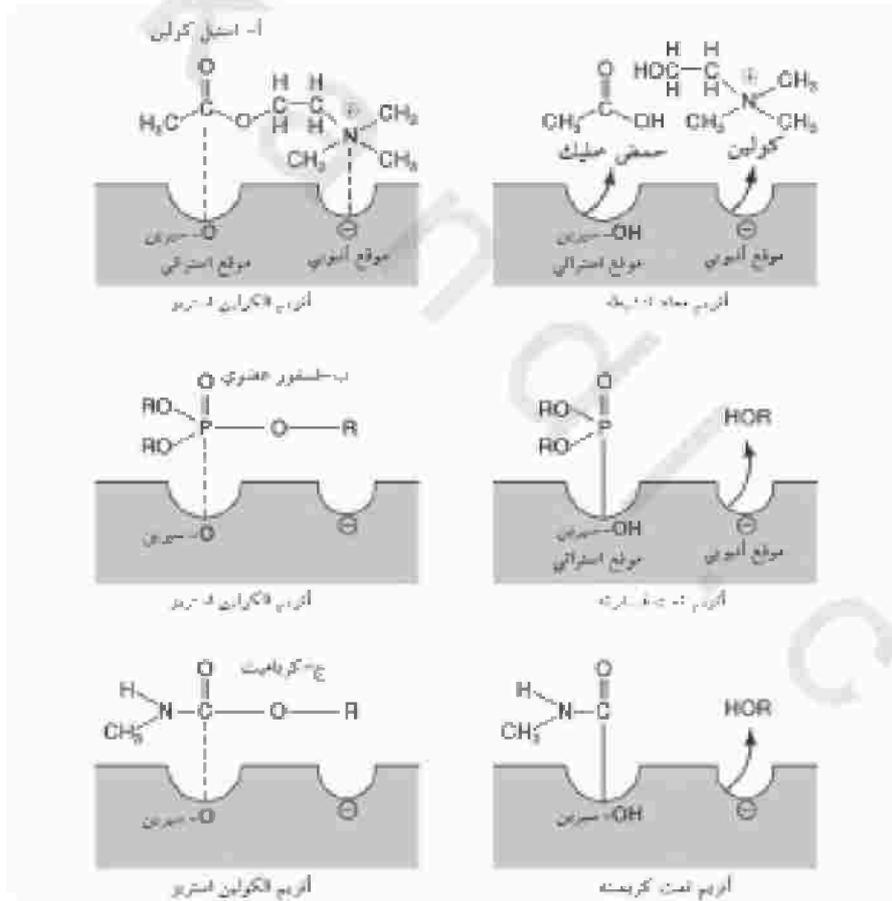


الشكل رقم (١٧،٥). رسم تخطيطي للجهاز العصبي للتقاربات موضحاً مواقع الاتصال الأدرجية والكولينية.

المصدر: (O' Brian, 1967).

العضوية التي يكون نشاط ذرة الفسفور فيها هو العامل الأكثر أهمية. يوجد في إنزيم الكولين استريز مركزين نشطين، وهما المركز الاستراتيجي والمركز الأنيوني (الشكل رقم ١٧،٧).

يشبه تثبيط إنزيم الكولين استريز بالميد الحشري المرحلة الأولى من التحلل المائي لمادة الأستيل كولين. يرتبط جزء الأستيل ($\text{CH}_3\text{-CO-O-}$) لمادة الأستيل كولين، أو الجزء الفسفوري ($\text{RO}_2\text{-P-OR}$) للمركب الفسفوري العضوي، أو جزء الكريمايل ($\text{R}_2\text{-N-CO-O-}$) للمركب الكرباماتي بالموقع الاستراتيجي للحامض الأميني سيرين، بينما يرتبط بقية الجزيء (للمركبات السابقة) بالموقع الأنيوني، وخلال سلسلة من الخطوات السريعة جداً، يتحلل الأستيل كولين إلى جزيء واحد من حمض الخليك وجزيء من الكولين (الشكل رقم ١٧،٧). يتفاعل الميد الفسفوري العضوي مع الموقع الاستراتيجي، فيخرج الشق الكحولي (HOR) من التفاعل، بينما يظل الفسفور مرتبطاً بالحامض الأميني سيرين، مُفسِّراً الإنزيم ومثبطاً إياه لعدة أيام.



الشكل رقم (١٧،٧). تفاعلات بسيطة للأستيل كولين، ميد فسفوري عضوي، ميد كرباميت مع إنزيم الكولين استريز.

- (أ) الأستيل كولين متحلل إلى حمض الخليك وكولين، وينتج عن ذلك الإنزيم الحر (المعاد تنشيطه).
- (ب) الفسفور العضوي تحلل والإنزيم تحت فسفوره، وذلك واحال مجموعة الفوسفات في السيرين في الموقع الاستراتيجي.
- (ج) الكرباميت تحلل وقت كربمت الإنزيم، وذلك أيضاً برابط جزء الكرباميل مع السيرين في الموقع الاستراتيجي.

تمتع عملية الفسفرة تأثير الإنزيم في تحليل الأستيل كولين ، وتم فسفرة الإنزيم برابطة قوية من الصعب كسرها. يطلق على إنزيم الكولين استريز المُفسر بأنه مثبتٌ تشبيهاً غير عكسي ، وذلك بسبب الرابطة القوية المشار إليها ، وهو في الحقيقة ليس "غير عكسي" ، ولكنه بالأحرى بطيء الانعكاس (أي يتحرر الإنزيم من الفسفرة ويعود حراً ببطء).

عندما يتفاعل المبيد الكاربماتي مع إنزيم الكولين استريز ، فإن الشق الكحولي (HOR) يترك التفاعل ، أما الـ (CH₃-N-CO-) فيبقى مرتبطاً بالسيرين (الحمض الأميني) ، مُكتملاً الإنزيم لفترة قصيرة نسبياً من الزمن ، غالباً لعدة ساعات. يكون تثبيط إنزيم الكولين استريز الذي تمت كرملة عكسياً لفترة الارتباط في هذه الحالة قصيرة نسبياً تبلغ عدة ساعات.

تثبط المبيدات الكاربماتية إنزيم الكولين استريز مثل المبيدات الفسفورية العضوية ولكلاهما نفس السلوك تقريباً في النظم الحيوية ، ولكن مع وجود اختلافين رئيسيين : (الأول) ، بعض المبيدات الكاربماتية مثبطات قوية للألي استريز (وهي استريزات أليفاتية متنوعة ، وظائفها غير معروفة بالضبط) ، واختياريتها في بعض الأحيان أكثر وضوحاً ضد إنزيم الكولين استريز في الأنواع الحشرية المختلفة ، والاختلاف (الثاني) ، هو أن تثبيط إنزيم الكولين استريز بواسطة المبيدات الكاربماتية يبدو عكسياً. عندما يُثبط إنزيم الكولين استريز بواسطة المبيدات الكاربماتية يقال أنه تمت كرملة (carbamylated enzyme) ، كما يقال مع المبيدات الفسفورية أنه مُفسر (phosphorylated enzyme).

يكون تأثير المبيدات الفسفورية والكاربماتية في الحشرات بالدرجة الأولى عن طريق تسمم الجهاز العصبي المركزي لأن مناطق الاتصال العصبي - العضلي في الحشرات ليست كولونرجية ، كما في الثدييات (انظر الشكلين رقمي ١٧،٥ و ١٧،٦). توجد مناطق التشابك العصبي الكولونرجية الوحيدة المعروفة في الحشرات في الجهاز العصبي المركزي فقط ، والناقل الكيميائي في مناطق الاتصال العصبية - العضلية في الحشرات هو حمض الجلوتاميك.

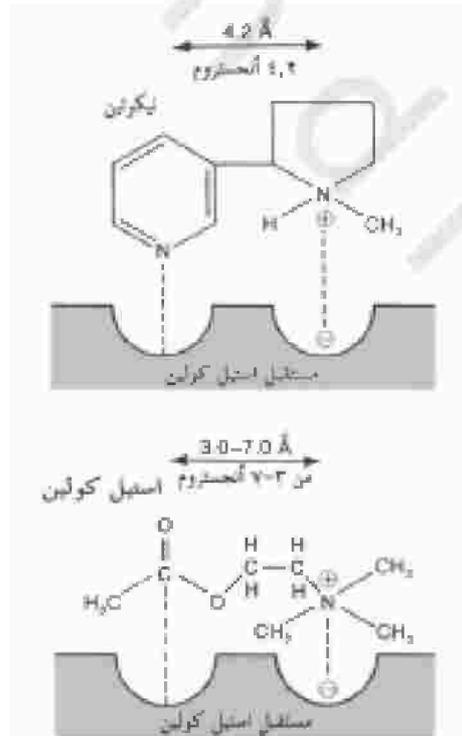
مشابهات ومضمنات الأستيل كولين فيما بعد نقاط التشابك العصبي

POSTSYNAPTIC ACETYLCHOLINE MIMICS AND MODULATORS

تشمل هذه المركبات النيكوتين nicotine ، النيكوتينويدات nicotinoids أو النيكوتينويدات الجديدة neonicotinoids (اميداكلوبريد imidacloprid ، اسيتامبيرد acetamiprid ، ثياميثوكسام thiamethoxam ، نايتنبايرام nitenpyram) ومثابهات سموم النيرس (كارتاب cartap ، بنسولتاب bensultap ، ثيوسيكلام thiocyclam) أو السبانوسينات (spinosyns).

تتطور أعراض تسمم الحشرات بالنيكوتين كما في التسلسل التالي: تهيج ، تشنجات ، شلل ، ثم الموت. في التركيزات القليلة ، ينه النيكوتين ضربات القلب ، ولكنه عند التركيزات العالية يقلل تلك الضربات. الصفة البارزة للنيكوتين في تأثيراته على الحشرات هو تأثيره الشيطاني الاختياري على العقدة والتشابكات العصبية في الجهاز العصبي

الإرادي. عندما يطبق النيكوتين على عقدة عصبية تتحكم بإحدى الأرجل المنعزلة ، فإن عضلات تلك الرجل ترعجف بشدة ، ولكن عندما تبت تلك الرجل فإن الارتجاجات تتوقف. علاوة على ذلك ، النيكوتين ليس له تأثير على الرجل الميتورة. في الحيوانات ذات الدم الحار ، يعمل النيكوتين عند التركيزات المنخفضة منه بطريقة مشابهة للناقل العصبي أستيل كولين ويرتبط بمكان استقباله في أماكن الارتباط العصبية - العضلية وكذلك في العقد العصبية (الشكل رقم ١٧.٨). لذلك ، فهو يسبب تيبه العضلات الإرادية وكذلك العقد العصبية ، الغدد وكذلك العضلات للمساء. يهاجم النيكوتين بعض أماكن الارتباط الكولينرجية وكل أماكن الارتباط العصبية - العضلية للثدييات بطريقة شبيهة بفعل الأستيل كولين. النيكوتين لا يشبط ولا يرتبط بالكولين استريز ، ولكنه يعمل على محاكاة الأستيل كولين ، كما أنه اختياري جداً في اختياره لمواقع الارتباط في كل من الحشرات والثدييات ، وهي مراكز الاتصال العصبي - العضلي في الثدييات وتشابكات العقد العصبية في الحشرات. يبدو أن المستقبلات لا تفرق بين الأستيل كولين والنيكوتين. نوضح المقارنة بين تركيب كلا الجزئين (جزئ النيكوتين وجزئ الأستيل كولين) التشابهات بينهما في كل من البعد وفي التوزيع النسبي للشحنة والقطبية (الشكل رقم ١٧.٨).
الساينوسينات هي المضمنات الوحيدة للأستيل كولين استريز. وتؤثر على مستقبلات الإنزيم السابق من خلال بقعة مختلف نوعاً ما عن تلك المذكورة لمشابهات - الأستيل كولين السابقة.



الشكل رقم (١٧.٨). التشابه بين النيكوتين والاستيل كولين من حيث الارتباط بمستقبل الاستيل كولين.

(المصدر: Matsumura, 1985).

مشابهات الأوكوبامين Octopimine Mimics

للأمينات الحيوية أدواراً مهمة في تنظيم الوظائف الفسيولوجية. فمثلاً، الإنزيم الذي يُحلل الناقل العصبي نورإبينفرين هو المونوأمين أوكسيديز، ومكانه غير معروف في الحشرات. ومع ذلك، فقد تم التعرف عليه في الجهاز العصبي للحشرات، كما هو الحال في مركب أوكوبامين في ذبابة النار، ومن المعروف أن هناك أمينات حيوية أخرى. نسب مبيدات الفورماميديئات، كلوردايمنفورم وامتياز سلوك غير طبيعي في الآفات: فهي تقلل عملية التغذية، مغادرة الآفات للنباتات، سلوك تزاوجي شاذ، وانفصال القراء عن عائلته. يوجد عدة مبيدات حشرية فورماميدينية، مبيدات للييض ومبيدات أكروسية (حلم) وطريقة تأثيرها تشبه طريقة تأثير الكلوردايمنفورم، أول هذه المركبات. وفي الفئران، يبدو أن الكلوردايمنفورم يسبب تراكم لمركبي السيروتونين والنورإبينفرين في المخ وهما من الأمينات الحيوية المهمة (Matsumora, 1985). تدل الدراسات التي أُجريت على شرايح من كبده الفأر على أن الكلوردايمنفورم يثبط نشاط إنزيم المونو أوكسيديز الذي يزيل مركبي السيروتونين والنورإبينفرين من مواقع تأثيرهما. عند استخدام كلوردايمنفورم بجرعات عالية فإنه يعيق الفسفرة التأكسدية ولكنه يشبه نشاط إنزيم الميتوكوندريا، الأدينوسين ترائي فوسفاتيز (ATPase)، وهو الإنزيم المسؤول عن تحلل الأدينوزين ترائي فوسفات (ATP) في الحشرات. ويؤثر الكلوردايمنفورم على البيض والطور اليرقي الأول فقط، وينطبق نفس التأثير على الأكاروسات (الحلم) التي تتغذى على النباتات. تحاكي الفورماميديئات الأوكوبامين، وهو الناقل العصبي في عضو الإضاءة في ذبابة النار. وقد أُقترح أن الأوكوبامين له تأثيرات متعددة كهرمون عصبي وناقل عصبي، وتشبه تأثيراته تأثير الإبينفرين في الفقاريات. يوجد الأوكوبامين أيضاً بكميات كبيرة في الجهاز العصبي المركزي لعدة أنواع حشرية (Hollingworth and Murdock, 1980). ولذلك فإن الفورماميديئات تصنف على أنها من مثبطات مستقبلات الأوكوبامين.

مثبطات الأيض

METABOLIC INHIBITORS

مثبطات انتقال الإلكترونات في الميتوكوندريا Inhibitors of Mitochondrial Electron Transport

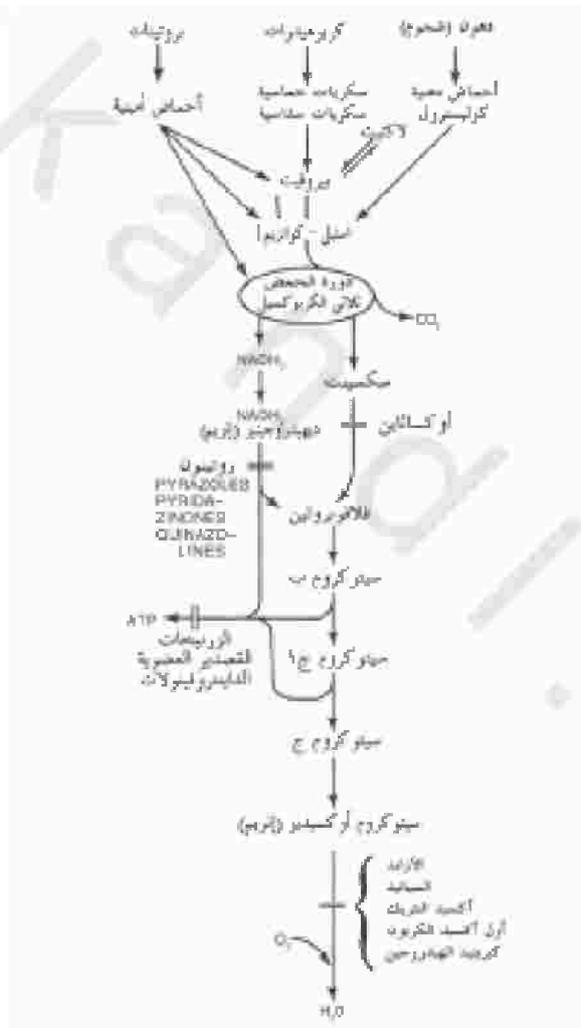
تحتوي سلسلة انتقال الإلكترونات في الميتوكوندريا على سلسلة السيتوكرومات المرتبطة بإنتاج الطاقة الناتجة من أكسدة جزيئات الكربوهيدرات، الدهون والبروتين. مبيدات الآفات التي يوجد شواهد واضحة على أن طريقة تأثيرها تكون على سلسلة انتقال الإلكترونات هي الروتينون، المدخات التي تعمل من خلال أيون السيانيد (CN⁻)، الداينيتروفينولات، المبيدات الأكاروسية والفطرية المنتمية إلى مجموعة القصدير العضوية، المبيدات الفطرية من مجموعة الأوكسائين، وعدة مبيدات حشرية تمثل تراكيب كيميائية جديدة.

الروتينون (Rotenone)

ينتج عن تسمم الحشرات بالروتينون ببطء في ضربات القلب، انخفاض في الحركات التنفسية، انخفاض في استهلاك الأكسجين، وفي النهاية شلل ضعيف (Brown, 1963). يعمل الروتينون على تثبيط إنزيم التنفس، وهو

يعمل بين NAD^+ (وهو مرافق إنزيمي مرتبط بعمليات الأكسدة والاختزال في المسارات الأيضية) ومرافق الإنزيم Q (إنزيم تنفسي مسؤول عن حمل الإلكترونات في بعض سلاسل نقل الإلكترونات)، متسبباً في فشل الوظائف التنفسية. والمواد التي تستهدف هذا الموقع في تأثيرها تُدعى بمشبطات انتقال الإلكترون في الموقع الأول (Site 1). الموقع المحتمل تثبيطه في سلسلة نقل الإلكترونات موضح في الشكل رقم (١٧.٩).

الروتينون سام جداً لكثير من الحشرات، وطريقة تأثيره هي تثبيط إنتاج الطاقة، ويمكن تفسير سميته الشديدة للأسماك والحشرات مقارنةً بسميته المنخفضة للتدييات بالطريقة المثبتة في كل منهما في عملية تمثيل الروتينون. تُحوّل الحشرات والأسماك الروتينون إلى نواتج تمثيل شديدة السمية وبكميات كبيرة، أما التدييات فتحول المركب إلى نواتج غير سامة.



الشكل رقم (١٧.٩). انتقال الإلكترونات في السلسلة التنفسية، موضحاً التنظيم المحتمل للآلات الإلكترونية، ثلاثة مواقع للفسفرة (ATP)، وأربع نقاط (خطوط مزدوجة) تثبت فيها سيدات الأينات هذه العملية. يدل الأسهم على اتجاه انتقال الإلكترونات.

(المصدر: معدل عن Corbett, 1984).

سيانيد الهيدروجين (HCN) أو حمض الهيدروسيانيك

وهو من مشبطات نظام انتقال الإلكترونات. يتفاعل سيانيد الهيدروجين مع إنزيم السيتوكروم أكسيداز في النهاية الطرفية للسلسلة التنفسية وذلك بالارتباط بحديد الهيم (الموجود أيضاً في الهيموجلوبين)، في نفس موقع ارتباط الأكسجين. السموم الأخرى التي ترتبط كيميائياً بنفس هذا الموقع وتعمل بنفس هذه الطريقة هي أول أكسيد الكربون (CO)، أكسيد النتريك (NO)، أيون الأزايد (N_3^-)، كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، و السيانيد (CN^-). يوضح الشكل رقم (١٧.٩) موقع تأثير أيون السيانيد.

الدائيتروفينولات (Dinitrophenols)

الدائيتروفينولات مواع ازدواج أو مشبطات للفسفرة التأكسدية. في التفاعلات الكيموحيوية للخلايا المعاملة بالدائيتروفينول أو ينكسر الازدواج بين السلسلة التنفسية وعملية الفسفرة، يُفقد التحكم بالتنفس، ويحدث انتقال الإلكترونات خلال السلسلة بالسرعة الكاملة بدون إنتاج الجزئ العالي الطاقة أدنوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). هذا النوع من التثبيط موضح في الشكل رقم (١٧.٩).

مركبات القصدير العضوية (Organotins)

تستخدم هذه المركبات مثل (أكسيد الفينوتاتين أو الدايفتايوران) كمبيدات أكاروسية (حلم)، وهي تثبط الفسفرة التأكسدية وذلك بإيقافها وتثبيطها لتكوين الأدين ثلاثي الفوسفات ATP، بدلاً من منعها ازدواج الفسفرة التأكسدية كما تعمل الدائيتروفينولات.

البيرازولات Pyrroles

كلور فينايبر chlorfenapyr، مييد حشري - أكاروسي بالملامسة وسم معدني؛ له نشاط سمي ضد البيض. يعمل على منع ازدواج الفسفرة التأكسدية حيث تحبط التدرج في إنتاج البروتون، فيمنع تكوين جزيء الطاقة الهام أدنوسين ثلاثي الفوسفات أو جزيء الـ (ATP).

البيرازولات Pyrazoles

تشمل تيوفنبيراد tebufenpyrad وفينبيروكسيميت fenpyroximate، وكلاهما يستخدم بشكل رئيسي كمبيدات أكاروسية (حلم). تثبط هذه المركبات انتقال الإلكترونات في الميتوكوندريا وذلك في المعقد الإنزيمي NADH-CoQ reductase، عند الموقع - ١ مُعطلة تكوين جزيء الطاقة ATP.

البيريدازينونات Pyridazinones

يستخدم بايردابين pyridaben أيضاً كمبيد حلم، له خاصية الصعق السريع والسمية للبيض، وكالروتينون، بايرداهان والبيرازولات تثبط انتقال الإلكترونات في الميتوكوندريا عند الموقع - ١.

الكوينازولينات Quinazolines

فينازاكوين، مييد حلم آخر، وله نشاط سام ضد البيض، وهو يشبط انتقال الإلكترونات في الميتوكوندريا عند الموقع - ١. الهيدراسيثايلون والدايكفول يبدو أنها تشبط انتقال الألكترون في الموقع - ٢ على النقيض من الفنازكوين، الروتينون والبايردين والتي تعمل في الموقع - ١.

مثبطات أنزيمات المونو أكسجيناز التي تعمل على مواد متعددة

POLYSUBSTRATE MONOOXYGENASES INHIBITORS

تستخدم البيروثرينات وبعض البيريثرينات المصنعة تجارياً مع إضافة إحدى المواد المنشطة، وهي غالباً البيرونيل يتوكسيد. يضاعف المنشط تأثير المبيد الحشري (يزيد سميته). يحيط الغموض بطريقة تأثير المنشطات لأن هذه المركبات ليس لها أي تأثير مع بعض مجاميع المبيدات الحشرية وقد تضاد فعل الأنواع الأخرى. واتضح جلياً أن طريقة تأثير المنشط هو تشبيط إنزيمات المونو أكسجيناز عديدة المسترات PSMOs المعتمدة على السيتوكروم، والتي تنتجها الميكروسومات (الميكروسومات وحدات تحت خلوية توجد في كبد الثدييات وبعض الأنسجة الحشرية مثل الأجسام الدهنية). التسمية السالفة لهذه الإنزيمات هي إنزيمات الأكسدة ذات الوظائف المختلطة (MFO). كان يُعتقد في السابق أن الميكروسومات ليس لها وظيفة خاصة أكثر من أنها تؤكسد المركبات الغريبة المتنوعة الذاتية في الدهون والداخلية إلى النظام، مثل المبيدات الحشرية. تؤدي الأكسدة بواسطة إنزيمات PSMOs إما إلى إزالة سمية المبيد أو إلى تنشيطه. إذا كان الإنزيم الذي تثبطه المادة المنشطة يحلل المبيد في الأحوال العادية (في غياب المادة المنشطة)، فإن إضافة المادة المنشطة تثبط هذا الإنزيم وبذلك يبقى المبيد الحشري حراً ويؤدي تأثيره، ويبدو أنه قد تم تنشيطه. ولكن، إذا كان الإنزيم المُثبَّط يُنشِّطُ المبيد الحشري في الأحوال العادية، كما في بعض مركبات الفسفوروثيوات، فإن المبيد الحشري لا يتم تنشيطه ويبدو كأنه تم تنشيطه أو أنه حدث تضاد لفعاليته.

من المعروف الآن أن معظم عمليات التحطم الحيوي للمبيدات الحشرية الحديثة يعتمد على تحويلها الحيوي بنجاح بواسطة إنزيمات الأكسدة الميكروسومية المتعددة الأنواع، مثل ال PSMOs. هذه الإنزيمات أيضاً هي المسؤولة عن عمليات التآزر (synergism).

مثبطات تحلل السكر

GLYCOLYSIS INHIBITORS

الفلورينات Fluorines

سوف تُناقش مركبات الفلور باختصار لأن طريقة تأثيرها نموذجية. تسبب مركبات الفلور العضوية (خلالات الفلور) في الثدييات في بدء ظهور أعراض التسمم بعد ٢٠-٦٠ دقيقة فقط، ثم تبدأ التشنجات. تزداد ضربات

القلب وتنخفض درجة حرارة الجسم. لا تثبط خلايا الفلور الإنزيم مباشرة، ولكنها مثبتة كامن، ويلزم تحويلها إلى مشتق حامض الفلوروستريك وهو مثبت إنزيمي قوي (الشكل رقم ١٧،١٠). بسبب التشابه التركيبي بين حمض الفلوروستريك وحمض الستريك فإنه ينافس حمض الستريك على الارتباط بالإنزيم المستهدف، أكونيتيز aconitase، متسبباً في توقف عمل هذا الإنزيم. بالإضافة إلى ذلك، تكون نتيجة التسمم بخلايا الفلور في كل من الحشرات والثدييات هي تراكم حمض الستريك، وقد يؤدي ذلك إلى تكوين معقد بين الكالسيوم والسترات، مؤدياً إلى خفض مستويات الكالسيوم الحر في بعض المواقع الحرجة مثل العضلات المرتبطة بعملية التنفس.



الشكل رقم (١٧،١٠). تثبيط الإنزيم الخاص بدورة الحمض ثلاثي الكربوكسيل (أكونيتيز، aconitase) بواسطة التحليل الميت للمركب فلوروسترات من خلايا الفلور (المصدر: Corbett, 1984).

لمركبات الفلور غير العضوية، مثل فلوريد الصوديوم (NaF) سمية منخفضة نوعاً على الحشرات والثدييات على حد سواء. للفلوريد تأثير مباشر وغير العادي على قلب الثدييات، مسبباً زيادة طويلة الأمد في قوة الانقباض. لا يؤثر الفلوريد على انتقال الإشارات العصبية خلال محاور الأعصاب. طريقة التأثير المتوقعة لمركبات الفلور غير العضوية هي تثبيط عدد كبير من الإنزيمات المحتوية على المعادن، وهي تكون معقدات مع الإنزيمات المحتوية على الحديد، الكالسيوم، والمغنسيوم، ويشمل الأخير الفوسفاتيزز والفسفوريلازز. بما أن الفلوريد قد يؤدي تأثيره المميت على أي إنزيم من الأعداد الكبيرة للإنزيمات الرئيسية، فلا يمكن حتى الآن تحديد الضرر الكيموحيوي المؤدي للموت.

مركبات الزرنيخ Arsenical Compounds

يقتصر الاهتمام هنا على زرنيخات الرصاص والكالسيوم. زرنيخات الكالسيوم هي الأكثر سمية إلى حد كبير لكل من الحشرات والثدييات. تقتل الزرنيخات الآفات أساساً بشيئها لإنزيمات التنفس. هناك ثلاثة أنواع من التأثيرات تشكل طريقة تأثير الزرنيخ :

- ١- منع ازدواج الفسفرة التأكسدية بالزرنيخ.
- ٢- الاتحاد مع الإنزيمات المختلفة المحتوية على مجموعة الثيول (-SH) ، خصوصاً إنزيم بيروفك أوكسيديز.
- ٣- الترسيب الكلي للبروتين.

يشبه الزرنيخ الفسفور كيميائياً ويمكن أن يحل محله جزئياً في بعض التفاعلات. أحسن الأمثلة على ذلك هي عملية الزرنيخ والتي تحدث بدلاً من الفسفرة (الشكل رقم ١٧.٩). عملية الفسفرة ضرورية في تكوين الرابطة عالية الطاقة في (أدينين ثلاثي الفوسفات) ATP ، والفسفرة التأكسدية هي الخطوة الرئيسية في إنتاج الطاقة في الخلية ، ولكن الزرنيخ تمنع ازدواج الفسفرة. ويمنع ازدواج الفسفرة يكون للزرنيخ على صورة أيون زرنيخيت *arsinite* ضعف الفعالية مقارنة بصورته على شكل أيون زرنيخات *arsenate*.

يوجد العديد من الإنزيمات التي تحتوي على مجموعة السلفهيدريل ، وهي حساسة للزرنيخات. أكثر الإنزيمات حساسية للزرنيخ إنزيم البيروفك أوكسيديز ؛ وتضم الإنزيمات الأخرى التي لها نفس الأهمية ولكنها ليست بنفس الحساسية ، إنزيم السيتوكروم أوكسيديز ، إنزيم ديهيدروجينيز حامض اللاكتيك ، وإنزيم ألفا-جليسرول فوسفيت ديهيدروجينيز.

يمكن أن تسبب الزرنيخات غير العضوية تحتر عام للبروتينات في التراكيز المرتفعة. ومع ذلك ، فإن هذا التأثير ربما يكون مشابه للتأثير على مجموعات السلفهيدريل -SH ، ولكن بدلاً من مهاجمة مجموعة معينة من -SH في المكان النشط من الإنزيم ، فإنه يهاجم روابط الكبريت التي تحافظ على التوزيع الفراغي الطبيعي أو على تركيب معظم البروتينات.

التوكسينات (السموم الطبيعية) المحللة للخلايا

CYTOLYTIC TOXINS

سموم العناكب والثعابين سموم محللة للخلايا ، أي أنها تسبب تمزق الخلايا وتحللها. ينتج التأثير السام من هذا النوع أيضاً عن سموم البكتريا *Bacillus thuringiensis* في معدة الحشرات التي تتلغ هذه البكتريا. السلالة *israelensis* والسلالة *sphaericus* التابعة للبكتريا السابقة فعالة ضد يرقات البعوض والذباب الأسود ، بينما تستخلم السلالة *kurstaki* لمكافحة أنواع مختلفة من اليرقات التابعة لرتبة حرشفية الأجنحة (يرقات الفراشات وأبي دقيق). تعود سمية هذه السلالات البكتيرية لوجود بروتينات في الجسم البللوري المجاور للمجروثة الموجودة في الخلية

البكتيرية. عندما يتم ابتلاع البكتريا بواسطة الحشرة ، فإن هذه البلمورات تذوب في الوسط القلوي للقناة الهضمية الوسطى بواسطة الإنزيمات المحللة للبروتينات (البروتيازات) وتحرر البروتينات دلتا- اندوتوكسين وبيتا- إكسوتوكسين (ثيورنجينسن) (thuringiensin). تخرب هذه السموم بعد ذلك أغشية القناة الهضمية الوسطى (والغشاء حول الغذاء) مسببة في حدوث شلل للمعدة وتوقف اليرقات عن التغذية. ولحد أبعاد من ذلك ، تؤثر هذه السموم على الجهازين العضلي والعصبي. وعلى مستوى الخلية ، فإن هذه السموم تُظهر تأثيراتها بآليات مختلفة. فمثلاً ، سم السلالة *israelensis* يرتبط مع الدهون المُفسفرة غير المشبعة على أغشية الخلية مما ينتج عنه تمزق الخلية. السم الخاص بحرشية الأجنحة والذي تنتجه السلالة *kurstaki* ربما يرتبط بالمستقبلات الجليكوبروتينية للخلية ويؤثر على انتقال أيون البوتاسيوم (K^+) إلى المعدة (القناة الهضمية الوسطى) للحشرة. ومن الملاحظ أن هذه البلمورات البروتينية السامة للحشرات ليست فعالة فقط عندما تتغذى الأنواع الحشرية الحساسة لها على العائل النباتي التي عُوملت به (طبقت عليه) ولكنها الآن توجد ضمن النباتات المعدلة وراثياً مثل القطن والذرة المحتوية على البكتريا المرصنة (B.t.) وهي فعالة أيضاً ضد تلك الحشرات.

السموم العضلية

MUSCLE POISONS

تصنّف الريانيا والساباديل على أنها سموم عضلية لأن لها تأثير مباشر على أنسجة العضلات.

الريانيا تحتوي على مادة قلوية ، ريانودين ، وهي المادة الفعالة في نبات *Ryania speciosa* ، الذي ينمو في أمريكا الجنوبية. الريانودين أكثر سمية بعشرين مرة على الأقل للشديدات عنه لمعظم الحشرات. لذلك ، فإن هذا المبيد الحشري الطبيعي خطير جداً في استخدامه وتفوق خطورته العديد من المبيدات المصنعة.

طريقة تأثير الريانودين هي تمزيق الأغشية ويقتصر تأثيره على أغشية العضلات سريعة الإثارة. تستهلك الحشرات المتسعمة بهذا المركب كميات كبيرة من الأكسجين ، ربما عشرة أضعاف الاستهلاك العادي ، يتبع ذلك شلل ارتخائي ثم الموت ، أما في الضفدعة ، فيحدث شلل يتبعه تصلب كامل. وفي الثدييات ، يحدث صلابة متنامية في العضلات وفي النهاية فشل في عملية التنفس ثم الموت. إحدى النظريات التي تفسر تأثير الريانودين هي أنه ربما يتداخل مع نظام استرخاء العضلات ، الذي ينزع أيونات الكالسيوم من العضلات المنقبضة ويؤدي إلى حالة الاسترخاء. بالإضافة إلى ذلك ، يعتقد أن الريانودين يتداخل مع الأيض ، وقد لا يكون لهذا التأثير علاقة بتأثير الريانودين على العضلات.

الساباديل : تستخلص الساباديل من مسحوق بذور نبات السوسن (*Schoenocaulon officinale*) وتحتوي على مادتين قلويتين سامتين للحشرات ، سيفادين وفيراترايدين. من الحشرات الحساسة بشكل خاص لهذه السموم : الذباب

المتزلي ، الحشرات المتزلية ، ومتجانسة الأجنحة ونصفية الأجنحة والتي تشمل أنواع البق الحقيقي. السيفادين النقي على سبيل المثال ، سميته تقريباً أكثر عشر مرات من الدودات للذباب المتزلي. ينتج عن تسمم الثدييات بالفيروترايدين صلابة مزمنة في العضلات الهيكلية بعد عملية الرعشة المبدئية ، مصحوباً بإثارة متتابة في الألياف العضلية. يزداد استهلاك الأكسجين ولكن ليس للحد الملاحظ عند التسمم بالريانودين. يبدو أن للمسابديلا نفس طريقة التأثير العامة في الحشرات مثل الريانودين حيث تؤدي إلى الشلل الارتخائي ثم الموت.

عوامل الألكلة

ALKYLATING AGENTS

عوامل الألكلة هي تلك المواد النشطة حيوياً ، موجودة في مدى واسع من المجالات الكيميائية ، والتي تقوم باستبدال الهيدروجين النشط في إحدى المركبات ذات الأهمية الحيوية بمجموعة الكيل (سلسلة كربونية التركيب). من هذه المركبات تلك الغازات التي استخدمت في أوائل الحرب العالمية الأولى ، الخردل ، وخردل الشتروجين ، والأحدث مجموعة المواد المسببة للعقم ، خصوصاً الأزيدينات. العديد من المركبات المحتوية على الهالوجينات ، ومعظمها مدخنات ، تصنف أيضاً على أنها عوامل ألكلة ، ومن أشهرها بروميد الميثايل (وهو يتفاعل داخل الأنسجة الحية مع الإنزيمات التي تحتوي على SH) وكذلك ثنائي بروميد الايثايل.

تعمل عوامل الألكلة بطريقتين رئيسيتين. فهي تتفاعل مباشرة مع كروموسومات الخلية بمهاجمة واحد أو أكثر من المواقع النشطة لجزيئ الحمض النووي ، والتأثير الآخر أنها توقف نشاط الإنزيمات المهمة لأنها تمنعها لاحقاً من أداء وظائفها في تخليق الأحماض النووية. ويمكن مقارنة التأثير الأخير بتثبيط الإنزيمات المحتوية على مجموعة السلفهيدريل (-SH) بواسطة مركبات الزرنيخ.

معوقات الانسلاخ، التطور وتكوين جليد الحشرة

DISRUPTORS OF MOLTING, METAMORPHOSIS AND CUTICLE FORMATION

عملية تدرج النمو في الرتب الحشرية المختلفة خلال أطوارها المختلفة حتى الوصول إلى طور (مرحلة) البلوغ ليست مهمة لنموها وتطورها فقط ولكنها أيضاً تكشف المراحل الحساسة من تلك الأطوار لاستغلالها كهدف لعدد من مجموعات المبيدات الحشرية والتي يمكن إنجازها فيما يلي :

مشابهات هرمون الشباب: عندما تطبق مشابهات هرمون الشباب على الأطوار الغير بالغة فإنها تعوق وتمنع عملية التطور ومن أمثلة هذه المشابهات ، فيتوكساكارب ، هيدروبيرين ، ميثوبيرين وبيروكسفين.

الأكديسون: هرمون طبيعي في الحشرات وهو الذي يستعمل (ببداً) عملية الانسلاخ ويشكل هذا الهرمون هدفاً للمبيدات الحشرية التي تعمل على تثبيطه ومن أمثلة تلك المبيدات تيوفينوزايد، ميثوكسيفينوزايد وكرومافينوزايد. أما مشطبات تكوين كيتيكل الحشرات فهي المبيدات الحشرية من مجموعة البنزويليوربا (دايفلوتنزورون)، الشايدازينات التي تؤثر على الحشرات التابعة لرتبة متشابهة الأجنحة (بيروفنزون)، والترايازينات (سايرومازن) الذي يؤثر على الحشرات التابعة لرتبة ثنائية الأجنحة.

طرق تأثير مبيدات الحشائش

Modes of Action for Herbicides

في هذا الفصل، ترتبط طريقة تأثير مبيد الحشائش بميكانيكية التأثير، أي بالاستجابات الكيموحيوية للنبات، والتي يبدو ارتباطها بتأثير ذلك المبيد. بسبب التعقيد في العلاقات المتداخلة بين التمثيل الخلوي والنمو والتكيف، فإن الاستجابة لتأثير المبيدات قد تحدث في مواقع بعيدة عن أماكن تطبيقها، أو مكان تأثيرها الأصلي، ولم تعرف طريقة تأثير مبيدات الحشائش في كثير من الحالات بعد. وقد يعني ذلك أن هناك الكثير من مبيدات الحشائش غير متخصصة في طريقة عملها، بمعنى، أن ليس لها مكان تأثير واحد، بل أماكن تأثير متعددة، وكذلك ميكانيكيات مختلفة مرتبطة بعملية التثبيط.

اعتمد المؤلفين كثيراً على الكتب الآتية لتوضيح طرق تأثير مبيدات الحشائش، بطريقة مبسطة ومباشرة:

- * Target Sites of Herbicide Action, by Peter Böger and Gerhard Sandman, CRC Press (1989).
- * Herbicide Handbook, 7th Ed., by Weed Science Society of America (2002).
- * Molecular Mechanisms of Resistance to Agrochemicals, Volkert Sjut, Editor, Springer Verlag (1997).

كما تم الاعتماد على الموقع الخاص بلجنة تفعيل "مقاومة الحشائش لمبيداتها على الشبكة العنكبوتية والذي يتم تحديثه بصفة دورية وهو: (<http://www.plant/protection.org/hrac>) ولزيد من التوضيح بخصوص هذا الموضوع يمكن الرجوع إلى هذه المصادر.

السموم الفيزيائية

PHYSICAL TOXICANTS

الزيوت البترولية Petroleum Oils

يعود تأثير الزيوت على النباتات إلى تمزيق الأغشية الخلوية. النبات الذي يعاني من تأثير الزيوت يشحب لونه، ويفقد امتلاءه، ويبدو وكأنه لسهه الصقيع. وربما يرجع هذا إلى تسرب محتويات الخلية إلى الفراغات بين الخلوية. ينتج عن تأثير الزيوت أعراض تشبه لتأثير مبيدات الأعشاب دايكوات وباراكوات، والتي يعتقد

أيضاً أنها تمزق أغشية الخلايا. الميكانيكية الحقيقية التي تمزق بها الزيوت أغشية الخلايا غير معروفه، ويُفترح أنها تذيب دهون الأغشية الخلوية.

الأوكسينات المُصنَّعة SYNTHETIC AUXINS

الفينوكسات Phenoxys

أكثر مبيدات الحشائش شيوعاً من بين الأحماض الفينوكسية هي 2,4-D، 2,4,5-T و MCPA. يشبه تأثير هذه المبيدات على النباتات عريضة الأوراق تأثير الأوكسينات. الأوكسين هو هرمون نمو، يحاكي عمل اندول حمض الخليك الموجود طبيعياً في النبات: استطالة القمم النامية، تشوّه، وخلال 7-10 أيام ينهار النبات، يذبل، ثم يموت. يستخدم الـ 2,4-D في الحقيقة كأوكسين أو منظم نمو عند تركيزات منخفضة جداً، وتزيد الفينوكسينات من الانقسام الخلوي، وتنشط غمبل الفوسفات، كما أنها تزيد عادة من تخليق حمض الرايبوز النووي (RNA)، والذي بدوره يزيد من تخليق البروتين. تتركب طريقة تأثير مبيدات الأعشاب من مجموعة الفينوكسي من عدد كبير من التفاعلات التركيبية والكيموحيوية متضمنة فترة نمو طويلة وشاذة وكذلك فشل تلك التحولات المميزة للضج والشيخوخة.

أحماض البنزويك Benzoic Acids

تضم هذه المجموعة داكامبا Dicamba، كلورفيناك chlorfenac، وكلورامبن chlormben، وتعمل كلها بنفس طريقة الأحماض الفينوكسية (الـ 2,4-D ومشباهاته)؛ أي أنها تشبه الأوكسينات وتأثيراتها ذات أثر باقي. فمثلاً، يسبب الداكامبا استطالة الخلايا وتكاثر الأنسجة، يشجع نمو الجذور العرضية، يحدث تحوّر في ترتيب الأوراق والأعضاء الأخرى، كما يسبب نمو الثمار في غياب التخصيب. لا ينتمي اليكلورام picloram إلى هذا الصف من مبيدات الحشائش، وهو حمض كربوكسيلي (أسفل)، ومع ذلك يمتاز بالخصائص النموذجية للأوكسينات، وفعاليته مشابهة لمبيد الحشائش 2,4-D. ميكانيكية تأثير أحماض البنزويك أنها تعمل كأوكسينات صناعية مشابهة لتأثير اندول حمض الخليك.

الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acids (سابقاً أحماض البيريدونكسي والبيكولينيك Pyridinoxy and Picolinic Acids)

تشمل البكلورام، ترايكلوبير triclopyr، فلوروكسيبير fluroxypyr، وكلوبيراليد clopyralid. تحتوي هذه المركبات على الشق الحمضي (-COOH)، كما في الأحماض الفينوكسية. مبيدات الحشائش السابقة هي هرمونات تنتقل في النبات خلال اللحاء والخشب، وهي فعالة جداً ضد الحشائش المعمرة عريضة الأوراق وكذلك ضد

الأغصان. تعمل هذه الأحماض أيضاً كأوكسينات صناعية وتحاكي في تأثيرها اندول حامض الخليك. مبيد حشائش آخر، كونكلوراك quinclorac وهو من الناحية التركيبية عبارة عن كوينولين حامض الكربوكسيليك وينتمي إلى هذا الصف إلا أنه يعمل أيضاً كأوكسين مُصنَّع.

مبيدات الأيض

METABOLIC INHIBITORS

مبيدات انتقال الإلكترونات في الميتوكوندريا Mitochondrial Electron Transport Inhibitors

ثاني نيتروفينولات Dinitrophenols

تحتوي هذه المجموعة على DNOC، داينوسب، و DNAP. طريقة تأثير هذه المبيدات مزدوج. في التركيزات العالية، تتركب هذه المبيدات أغشية الأجزاء الخضرية المعاملة، وينتج عن ذلك فقدان السوائل، انهيار الخلايا والجفاف، وفي التركيزات المنخفضة تعيق تكوين الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)؛ وذلك يمنع ازدواج الفسفرة التأكسدية. طريقة تأثير هذه المركبات على النباتات هي نفس طريقة تأثيرها على الأنسجة الحيوانية وقد وُصفت في الفصل السابع عشر.

ثاني نيترو أنيلينات Dinitroanilines

تسمى أيضاً بالنيترو أنيلينات، وتشمل ترايفلورالين trifluralin، بنيفين benefin، نترالين nitalin، أوريزالين oryzalin، و بنديميثالين pendimethalin. تثبط هذه المركبات نمو جميع أجزاء النبات خصوصاً أطراف الجذور الجانبية أو الثانوية وكذلك القمم الطرفية. يتم امتصاصها بسهولة وبسرعة بواسطة الجذور والنموات الخضرية، ولكن انتقالها إلى أجزاء النبات الأخرى يتم ببطء. بوجه عام، يبدو أنها تنبه زيادة إنتاج الأحماض النووية في كل من الجذور والنموات الأخرى، وهو أهم تأثير له علاقة بظهور أعراض تسمم النبات. وقد ثبت أن ترايفلورالين يثبث يمنع ازدواج الفسفرة التأكسدية، وكذلك يثبث إنتاج العديد من الانزيمات (التي تنشطها الهرمونات). وهي أساساً تُعطل تسلسل الانقسام، كما تثبث تجمع الأنبيبات الدقيقة في الخلايا المنقسمة في النسيج المرستيمي في الجذور. كما يبدو أيضاً أن البيردازينات (الدايثيوبير dithiopyr والثيازوبير thiazopyr) تثبث تجمع الأنبيبات الدقيقة.

ثاني فينيل إيثير Diphenyl Ethers

من أفراد هذه المجموعة، لاكتوفن lactofen، اسيفلورفن aciflorfen، وأوكسيفلورفن oxyfluorfen. تُفقد هذه المبيدات النبات لونه الأخضر (chlorosis) وتسبب الموت الموضعي (necrosis)، عندما تترك على الأوراق. يثبث بعض هذه المركبات إنبات البذور، النمو، والنشاط المرستيمي للنبات. من المعروف أيضاً أنها تثبث انتقال

الأليكترونات غير الحلقية وعملية إزدواج الفسفرة الضوئية كما تثبط انتقال الإليكترونات في الميتوكوندريا. على مستوى الخلية، تثبط هذه المركبات إنزيم بروتو - بورفيرينوجن أوكسيداز (PPO) (protoporphyrinogen oxidase). من مبيدات الحشائش الأخرى والتي تنتمي إلى مجموعات كيميائية متنوعة وتعمل على تثبيط الإنزيم السابق (PPO) والتي تشمل فلوثياست-ميثيل fluthiacet-methyl، أو أكساديازون oxadiazon وكارفنترازون-إيثايل carfentrazone-ethyl.

الأريلوكسي فينو كسي بروبيونات Aryloxyphenoxy Propionates

لأن هذا القسم يُضمّ غالباً مع ثاني فينيل إثير، فيحتمل تشابههما في طرق التأثير. تشمل هذه المجموعة فلوازيثوب - بيوتايل fluazifop-methyl، فينو كسابروب - إيثيل fenoxaprop-ethyl، دايفلوفوب - ميثايل diclofop-methyl، كوزالوفوب - إيثايل quizalofop-ethyl، ومركبات أخرى. يُعرف القليل عن هذه المجموعة، ولكن من المعروف أنها تثبط التخليق الحيوي للأحماض الدهنية أو الدهون، كما أنها تعمل كمضادات لتنظيمات النمو أو كمثبطات لتنظيمات النمو، وعلى مستوى الخلية، فإن هذه المركبات تعمل على تثبيط إنزيم الأستيل كو إنزيم أ كربوكسيلاز (Acetyl Co-enzyme A Carboxylase (ACCase).

النتريلات Nitriles (سابقاً البرونتريلات Benzonitriles)

وتضم هذه المجموعة دايكلوبنيل dichlobenil، بروموكسينيل bromoxynil، وأيوكسينيل ioxynil (وهو غير متاح في الولايات المتحدة). وهي مبيدات حشائش بالملاسة، تستخدم لمكافحة الحشائش التي يصعب مكافحتها في محاصيل الحبوب. الدايكلوبنيل مثبط قوي للنمو، ويعمل بشكل رئيسي على الأنسجة المرستيمية. يسبب البروموكسينيل والأيوكسينيل فقد اللون الأخضر، وموت الأنسجة الموضعي في الأوراق، مشابهة في تأثيرها لثاني فينيل إثير. نواتج التحلل البيدروكسيلية للدايكلوبنيل مثبطات قوية لانتقال الأليكترونات في عملية التخليق الضوئي ولعملية الفسفرة في كل من البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا. يثبط الدايكلوبنيل عمليات تخليق الإنزيمات التي تنشطها الهرمونات. يعوق البروموكسينيل والأيوكسينيل التنفس في الميتوكوندريا وكذلك عمليات التخليق الضوئي، ولذلك فهي تنتمي إلى مثبطات التخليق الضوئي، فكلاهما يحرر أيون السيانيد (CN⁻)، الذي يرتبط بإنزيم سيتوكروم ج أوكسيداز، وهو إنزيم تنفسي وسيط في سلسلة انتقال الأليكترونات، وعلى مستوى الخلية. لذا، فإن هذه المركبات تثبط عملية التمثيل الضوئي في النظام الضوئي الثاني عند الموقع A. ومن الملاحظ أن اثنين من مبيدات الحشائش، والتي تنتمي إلى صفوف مختلفة تماماً، تساهم أيضاً مع هذه المجموعة في التأثير على نفس الموقع وهما بتازون وبايرديت.

السيكلوهكساندايونات Cyclohexanediones

هذه المركبات اختيارية ضد الحشائش النجيلية الحولية والمعمرة، وتضم السيثوكسيديم sethoxydim، كليثوديم clethodim، سيكلوكسيديم cycloxydim، وترالوكسيديم tralkoxydim. تثبط هذه المركبات التخليق الحيوي للأحماض الدهنية أو الدهون، كما تعمل كمضادات لمنظمات النمو (الأوكسينات) أو كمثبطات لها، وكما في استرات حمض الأوكسي فينوكسي، فإنها لا تسبب تمزق الخلايا، مثلما يحدث مع ثاني فينيل ايثير. على مستوى الخلية، تثبط هذه المركبات إنزيم acetyl Co-enzyme A carboxylase (ACCCase)، وهي تشابه في ذلك مع مركبات الأريلوكسي فينوكسي بروبونوات.

مثبطات تثبيط الفسفور Phosphorus Metabolism Inhibitors

الزرنيخات Arsenicals

(حمض الكاكدريك، MMA، MSMA، DSMA، MAMA) تؤثر من خلال الأنظمة الإنزيمية لتثبط النمو. طريقة تأثيرها في الأنظمة النباتية وفي الأنظمة الحيوانية متشابهة (تم ذكرها في الفصل السابع عشر). تقتل الزرنيخات النباتات ببطء نسبياً، وأول الأعراض فقد اللون الأخضر، ظهور بقع بيضاء أو مصفرة على الأوراق نتيجة لفقدان الكلوروفيل. يوجد الزرنيخ في مبيدات الحشائش في عدة صور ومنها الزرنيخ غير العضوي، وكذلك الصور الثلاث الأخرى له (الزرنيخوز، الزرنيخات، والزرنيخيت). مكان تأثير الزرنيخات لا يزال غير معروف إلا أن الزرنيخ يمنع ازدواج الفسفرة التأكسدية، يتفاعل مع مجموعة السلفهيدريل (-SH) الموجودة في الإنزيمات، كما أنه يعمل كالفسفور في كل العمليات الحيوية التي يشترك فيها.

مثبطات أيض الحمض النووي Nucleic Acid Metabolism Inhibitors

مركبات الأميدات والكلورواسيتاميد (سابقاً الأستائيليدات Acetanilides)

تشارك الأميدات والكلورواسيتاميد بطريقة تأثير متشابهة وفي بعض الأحيان توضع في مجموعة واحدة. من بين الأميدات ميثيل دايبيثيميد dimethenamid، بروبانيل propanil ونايروباميد pronamide. ومثل مركبات الكلورواسيتاميد فهي تثبط النموات الطرفية ونمو الأوراق، كما أنها تعمل كمثبطات للأنسجة المرستيمية واستطالة الجذور. تشمل مركبات الكلورواسيتاميد الأكلورalachlor، ميتولاكلور metolachlor، بروباكلور propachlor، بيوتاكلور butachlor، وداي إيثاتيل diethylatyl. هذه المجموعات ليست لها طرق تأثيرات ثابتة أو منتظمة. تطبق جميع هذه المبيدات على التربة، وهي تثبط استطالة الجذور، وتثبط إنبات البذور أو المراحل الأولى لنمو البادرات. تُعزى هذه التأثيرات إلى التداخل في انقسام الخلية وفي زيادة حجمها. الأستائيليدات والأميدات مثبطات للنمو،

وكذلك مبيطات لاستطالة الجذور بوجه خاص. ولذلك، فهي تصنّف على أنها مبيطات لمستقيم الجذور، أو أنها مبيطات مرستيمية. تنتقل الستاينيليدات خلال تيار التتح في النبات، من الجذور إلى الأوراق الناتحة.

مركبات الكاربامات Carbamates

البروفام protham، والكلوروبروفام chlorpropham مبيدات حشائش كارباماتية تطبق غالباً على التربة. يثبط البروفام والكلوروبروفام الانقسام الميتوزي في الخلايا، وقد وجد أن مركبات الكاربامات تثبط الفسفرة التأكسدية، وتخليق الحمض النووي RNA، كما أنها تقلل محتوى الأنسجة من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP). أسولام مبيد كارباماتي يتبع لثحت صف مختلف عن البروفام والكلوروبروفام ويبدو أن له طريقة تأثير مختلفة، فهو يستهدف تثبيط إنزيم تخليق مركب الدايهيدروبيرويت Dihydropteroate synthase.

المركبات الأليفاتية الكلورة Chlorinated Aliphatics

من مبيدات الحشائش القديمة التابعة لهذا القسم مبيد الدالايون، والـ TCA ضد حشيشة برمودا، وتمتص هذه المركبات فور تطبيقها بواسطة الجذور والنموات الخضرية. المكان الرئيسي لتأثيرها يعتمد أنه هو تثبيط تخليق الدهون ولكن ليس بالتفاعل مع أستاييل كو- إنزيم A كربوكسيليز كما يحدث مع مركبات أربوكسيفينوكسيبيرونيونيت aryloxyphenoxypropionales وكذلك مركبات السيكلوهكسيندايون cyclohexanediones.

الإميدازولونونات Imidazolinones

أمازاثير imazapyr، أمازاكوين imazaquin، أمازاثاير imzethapyr، وأمازاميثازميثيل imazamethabenz-methyl من المركبات الشائعة الاستخدام التي تنتمي لهذا النوع من مبيدات الحشائش الجديدة الواسعة الطيف. يتم امتصاص هذه المركبات خلال الأجزاء الخضرية وكذلك الجذور، وتنتقل منها إلى المناطق المرستيمية. وهي مثل مركبات السلفوناييل يوريا (المذكورة لاحقاً). تثبط هذه المركبات إنزيم acetolactate synthase (ALS) ويعرف أيضاً باسم acetohydroxyacid synthase (AHAS).

الأحماض الأمينية الفسفولية Phosphono Amino Acids

يتبع هذه المجموعة الجليفوسيت glyphosate، جلوفوسينيت glyfosinate، وحديثاً جليفوسيت ترايمسيوم glyphosate trimesium. تطبق هذه المواد على الجزء الخضري فقط لأنها تفقد فعاليتها مباشرة عند تلامسها مع التربة، وهي أكثر فعالية ضد الحشائش النجيلية عنها ضد الحشائش عريضة الأوراق. تعمل هذه المركبات على تثبيط تخليق الأحماض الأمينية الأروماتية، حيث ينتج عن ذلك اختفاء الفيتايل آلانين. يعطل الجليفوسيت نشاط إنزيم ("EPSP synthase" 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase)، الذي يحفز التخليق الحيوي للأحماض الأمينية الأروماتية (العطرية)، ويُنتج هذا الأنزيم بواسطة النباتات الخضراء فقط. ولهذا، فإن

الجلوفوسيت سام جداً لكل النباتات الخضراء وغير سام تقريباً للكائنات الحية الأخرى. يشبط الجلوفوسيت إنزيم glutamine synthetase.

السلفونيل يوريا Sulfonyleureas

كلورسلفورون chlorsulfuron ، كلورييورون-إيثيل chlorimuron-ethyl ، ميتسلفورون-ميثيل metsulfuron-methyl ، ثياميتورون-ميثيل thiameturon-methyl ، وسلفوميورون-ميثيل sulfometuron-methyl ، أمثلة لبعض هذه المركبات المدهشة والفعالة بتركيز ٠.٢٥ أونصة/أكر. تعتبر هذه المركبات أساساً مشبطات مرستيمية، تطبق على التربة، وعلى المجموع الخضري للنبات. من أكثر التأثيرات وضوحاً لهذه المبيدات تشبيط انقسام الخلية في قمم الجذور، وذلك بسبب تشبيط إنزيم acetolactate synthase (ALS).

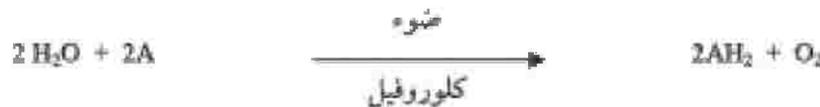
الثيوكاربامات Thiocarbamates

تضم هذه المجموعة EPTC ، بيبوليت pebulate ، مولينيت molinate ، ثايونكارب thiobcarb ، بيوتايليت butylate ، وفرنوليت vernolate ، ومركبات أخرى. تشبط هذه المركبات نمو المجموع الخضري للبادرات النامية بدرجة أكبر من الجذور. يتم امتصاص هذه المركبات بواسطة المجموع الخضري للبادرات المنبتة أسرع من امتصاصها بواسطة الجذور. تغير الثيوكاربامات تشييل النبات بتثبيطها لتخليق الدهون وليس من خلال تشبيطها لإنزيم أستيل كو إنزيم أ كربوكسيليز acetyl Co-enzyme A Carboxylase (Accase).

مبيدات التخليق الضوئي

PHOTOSYNTHESIS INHIBITORS

من طرق التأثير المتعددة لمبيدات الحشائش تشبيط تفاعل هيل (Hill reaction)، وهذا التشبيط على قدر كبير من الأهمية. يعتمد هذا التفاعل في بدايته على الضوء، ويتم فيه إنشقاق جزيء الماء (التحلل الضوئي)، ويُنتج النبات الأكسجين الحر (O₂). والكلوروفيل عامل جوهري في هذا التفاعل؛ لأنه يحفز إنتاج الأكسجين من الماء، وكذلك انتقال الهيدروجين إلى مُستقبل الهيدروجين. الصيغة الكيميائية المبسطة لهذا التفاعل كما يلي:



حيث A نوع من مُستقبلات الهيدروجين غير المعروفة. يستمر معقد الهيدروجين مع المُستقبل (AH₂) في عملية التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون (CO₂) لتكوين السكريات النباتية والسليلوز، أما الأكسجين الحر O₂ فيخرج إلى الجو.

ثاني البريديليوم Bipyridyliams

تقتل الباراكوات paraquat والدايكوات diquat أي نبات وكل النباتات التي رشت عليها خلال ساعات، ويتضح تأثيرها في بعض الأحيان خلال دقائق. هذه المركبات شديدة الذوبان في الماء وترتبط بشدة بالتربة، بحيث أنها تصبح غير متاحة لجذور النباتات عملياً، بعد وصولها مباشرة إلى سطح الأرض. تتحلل مبيدات الحشائش التابعة لهذه المجموعة كلياً تقريباً في المحلول إلى أيونات موجبة وسالبة. يعود التأثير الإبادي للحشائش إلى الأيونات الموجبة التي يتم اختزالها بواسطة عملية التمثيل الضوئي لتكوين أصول حرة ثابتة تقريباً. يتأكسد الأصل الحر لأملاح ثاني البريديليوم بسهولة في وجود الأكسجين ليُعيد تكوين الأيون الأصلي ويبروكسيد الهيدروجين، الذي يتلف أنسجة النبات. تسبب هذه المركبات جفاف سريع للمجموع الخضري، مع الذبول كعرض مبكر. وعلى مستوى الخلية، فهي تسبب تمزق أغشية الخلية والبلاستيدات الخضراء، فتكسب للأنسجة مظهر التضمر بالصقيع (لسع الصقيع). المسبب الأساسي لسمية هذه المركبات هو أصل الإيدروكسيل OH^- أو بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، أو كلاهما. العوامل المساعدة المطلوبة لهذه التفاعلات هي التمثيل الضوئي، الضوء والأكسجين الجزيئي. يسبب كلاً من المركبين السابقين انحرافات (تحولات) اليكترونية في النظام الضوئي الأول لعملية التمثيل الضوئي في النبات.

التريازينات Triazines

وتشمل الأترازين atrazine، سيمازين semazine، سيانازين cyanazine، بروميتون prometon، برومازين propazine، وأميترين ametryn، ومركبات أخرى. تثبط هذه المركبات التمثيل الضوئي ومن ثم نمو كل الأعضاء النباتية للنباتات السليمة، ويرجع هذا التأثير إلى نقص مُنتجات التمثيل الضوئي الضرورية لنمو النبات. قد يعود تحمل بعض النباتات الراقية للتريازينات إلى قدرتها على التحليل السريع لهذا النوع من المبيدات إلى نواتج تثليل غير سامة. ميكانيكية تأثير التريازينات هي إعاقة عملية التمثيل الضوئي، عند الموقع A في النظام الضوئي الثاني.

مركبات اليوريا Ureas

وقد عُرفت فيما سبق على أنها مركبات اليوريا المستبدلة، وتشمل منيورون monuron، فلوميتيرون flumetaron، دايمورون diuron، fenuron-TCA، لينيورون linuron، سديورون seduron، وتيوثايورون tebuthiuron. تثبط التمثيل الضوئي هو موقع التأثير الرئيسي، ويشتمل على تثبيط انتقال الإلكترونات بين Q (مُستقبل الأليكترونات أساس للنظام الضوئي الثاني) والبلاستوكينون (PQ). وهذا التأثير يمنع تكوين الأدنيوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) وNADPH، الضرورية لتثبيت ثاني أكسيد الكربون. هذه المركبات من مثبطات التمثيل الضوئي عند الموقع B في النظام الضوئي الثاني.

اليوراسيلات Uracils

وتشمل ثلاث مركبات هي البروماسيل bromacil ، ليناسيل lenacil ، وترباسيل terbacil. من الأعراض الرئيسية للتسمم بهذه المركبات فقدان اللون الأخضر للأوراق مع تشييط نمو الجذور والأجزاء الخضرية. تعوق هذه المركبات تفاعل هيل والنظام الضوئي الثاني (Photosystem II) في مسار عملية التمثيل الضوئي، ولذلك فهي تُشبه مركبات اليوريا في طريقة تأثيرها. ولكن، مثل الترايازينات فإن مكان تأثيرها هو في عملية التمثيل الضوئي عند الموقع A في النظام الضوئي الثاني.

البروثياديازولات Benzothiadiazoles والقينابلايردازينات Phenylpyridazines

ينتازون bentazon وهايرديت pyridate هما على التوالي الممثلين الوحيدين للمجموعتين وهما يشيطان تثبيت ثاني أكسيد الكربون في عملية التخليق الضوئي وكذلك انتقال الأليكترونات في تلك العملية. وكما في جميع المركبات الأخرى التي تشييط عملية التخليق الضوئي، فإن سمية كلا المركبين تعتمد على الضوء. تشييط هذه المركبات عملية التخليق الضوئي عند الموقع A في النظام الضوئي الثاني لهذه العملية، ولكن لها سلوكاً مختلفاً في الارتباط عن كل من مركبات اليوراسيل والترايازين.

البيريدازينونات وأخواتها Pyridazinones and Relatives

فلوريدون fluridone، نورفلورازون norflurazon، بكولنافن picolinafen و بفلوبيوتاميد beflubutamid تسمى بمبيدات الحشائش المبيضة، نتيجة لتشييطها لتكوين الكلورفيل. تظهر هذه المركبات تأثيرات مختلفة: تشييط تفاعل هيل (Hill)، وبالتالي تشييط التخليق الضوئي، تشييط تكوين الصبغات (الكلورفيل، الكاروتين)، وتمنع ازدواج الفسفرة التأكسدية الضوئية وانتقال الالكترونات في عملية التمثيل الضوئي. طريقة التأثير الوحيدة لهذه المركبات هي تشييط عملية التمثيل الضوئي عند الموقع A في النظام الضوئي الثاني. الموقع الوحيد لتأثيرها هو تشييط التخليق الحيوي للكاروتينويد في خطوة (مرحلة) تنضيب الفايوتين.

البايزازولات، أيسوكسازولات والكيثونات الثلاثية Pyrazoles, Isoxazoles and Triketones

بايزولانبت pyrazolynate (بايزولبت)، إيزوكسافلوتول isoxaflutole (ايسوكسازول) وسلوترايون sulcotrione (ترايكيثون) تمثل مجاميع متنوعة ومع ذلك فلها طريقة تأثير مشتركة. هذه المواد والتي لم تطرح للاستخدام إلا حديثاً كلها مواد مبيضة. ومع ذلك، فإن موقع تأثيرها يختلف عن النورفلورازون وشبطات تخليق الكاروتينويد الأخرى. ويبدو أن هذه المواد تسبب التبييض بسبب تشييطها لإنزيم 4-هيدروكسي-فينيل-بايروفيت-دايوكسيجيناز 4-hydroxy-phenyl-pyruvate-dioxygenase (4-HPPD).

الفينيل كاربامات Phenyl-carbamates

من أمثلتها مبيد فنميدايهام phenmedipharm ، ومبيد ديزميدايهام desmedipharm. وهي تسبب زوال اللون الأخضر ، والموت الموضعي في أوراق النبات ، نتيجة لتثبيطها تفاعل هيل في عملية التمثيل الضوئي. وعلى مستوى الخلية ، فإن هذه المركبات مشبطة لعملية التمثيل الضوئي عند الموقع A في النظام الضوئي الثاني ، مشابهة في ذلك لمركبات الترايازينات والترايازينونات ، ومركبات اليوراسيل.

أحماض الفثاليك Phthalic Acids

يُمثل هذه المجموعة الصغيرة مبيدان هما: كلوروثال chlorothal (DCPA) واندوثال endothal. الاندوثال فقط يشبط عملية التمثيل الضوئي ، أما الكلوروثال فيبدو أن فاعليته كبيرة ، تعود إلى تثبيط انقسام الخلايا في قسم الجذور. ويصنّف على أن تأثيره مرستيمي. الكلوروثال مثل مركبات الداينيتروأنيلين تشبط تجمع الأنبيبات الدقيقة في الخلايا المنقسمة.

طرق تأثير مبيدات الفطريات

Modes of Action for Fungicides

يظهر تأثير المبيد الفطري واضحاً عن طريق إحدى الطرق الطبيعية: إيقاف إنبات الجراثيم أو تثبيط نمو الفطر. وتوقف معظم مبيدات الفطريات إنبات الجراثيم أو تقتلها مباشرة بعد إنباتها. وتقلل بعض هذه المواد الكيميائية المثبطة أو السامة نمو الفطريات أو توقفه، عند تطبيقها بعد حدوث مرحلة العدوى. المبيدات الفطرية الجهازية الجديدة لها خواص إبادية، وتوقف تقدم الإصابة.

ماذا يحدث على مستوى الخلية حتى تحدث هذه التأثيرات السريعة الواضحة؟ حالياً، يبدو أن جميع المبيدات الفطرية مثبطة أيضية، أي أنها توقف أو تحد من بعض العمليات الأيضية، المصادر المقيدة التي توصف أي العمليات تأثرت بأي من المبيدات الفطرية وأحد التحديثات في هذا الفصل هو موقع لجنة تأثير المقاومة للمبيدات الفطرية FRAC (<http://www.frac.info/>). وفي الصفحة القادمة يمكن تقسيم طبيعة التأثير إلى سبعة مجموعات كبيرة وإلى بعض المجموعات المتنوعة. وتتضمن هذه المجموعات السبعة المثبطة هي:

- سلسلة نقل الإلكترونات.
- تخليق الأحماض النووية.
- تخليق الدهون والأغشية.
- التخليق الحيوي للاستيرويدات.
- انقسام الخلية والانقسام الميتوزي.
- تخليق البروتين.
- العديد من أماكن العمليات الحيوية.

مبيدات نقل الإلكترونات في الميتوكوندريا

Mitochondrial Electron Transport Inhibitors

مركبات القصدير العضوية Organotins: يستخدم العديد من مركبات القصدير العضوية بكثرة في الولايات المتحدة الأمريكية. فنتن هيدروكسيد (Fentin hydroxide) من أقدم مركبات هذه المجموعة في الولايات المتحدة. تثبط هذه المركبات عملية الفسفرة التأكسدية بواسطة إيقاف عمل إنزيم ATP synthase ومن ثم إيقاف تكوين مركب

الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP (الشكل رقم ١٧.٩). وهذه هي الطريقة الأساسية للتأثير، على الرغم أن هذه المركبات تتداخل في عمل مراكز أخرى.

الأوكساليينات Oxathiins؛ وتعني أيضاً مركبات الكاربوكسي أميد. الكربوكسين والأوكسي كربوكسين هما المركبان الوحيدان من هذه المجموعة المستخلصان حتى الآن. يثبط الكاربوكسين كلا من أكسدة الجلوكوز والحلات في الفطريات السليمة، وله تثبيط غير تنافسي على أكسدة السكسينات، ولكنه لا يثبط أكسدة الـ $NADH_2$ بواسطة الميتوكوندريا، ويحدث هذا التأثير في سلسلة نقل الألكترونات لعملية التنفس. يبدل تراكم السكسينات في الفطريات المعاملة بالكربوسين على أن تثبيط أكسدة السكسينات في وجود إنزيم succinate dehydrogenase هو المكان الأساسي للتأثير. الأوكسيكاربوكسين أقل سمية، وله نفس طريقة التأثير (الشكل رقم ١٧.٩). بوسكاليد boscalid (نيكوبيفن nicobifen) عضو جديد من هذه المجموعة في انتظار تسجيله.

الداينيتروفينولات Dinitrophenols؛ يعتبر الداينوكاب المبيد الوحيد من مجموعة مبيدات الداينيتروفينول الفطرية، وهو أحياناً يتكامل مع مركب البيناكريل binacryl في صورة مركبات الداينيتروفينيل كروتونات dinitrophenylcrotonates. هذه المركبات تثبط ازدواج الفسفرة التأكسدية عند إنتاج الطاقة مثل مركب فلوازنام fluazinam المنتمي إلى مجموعة الداينيتروانيلين (الشكل رقم ١٧.٩).

الستروبيلورينات Strobilurines؛ يوجد في هذه المجموعة أزوكسي ستروبين zoxystrobin، بيوكوكسي ستروبين picoxystrobin كربوكسيم-ميثيل kresoxim-methyl، فاموكسادون famoxadone، بيراكلوسستروبين pyraclostrobin وترايفلوكس ستروبين trifloxystrobin. وهي مشتقة من مبيدات فطرية طبيعية توجد في عشب الغراب، وعشب الغراب المحلل للخشب، ولها تأثير مباشر كمبيدات جهازية وعلاجية للأمراض البيضاء الزغبية والدقيقي، تبقع الأوراق، والأصداء. تثبط هذه المواد استقرار الفطريات على سطح النبات. وقد تؤثر عن طريق تثبيط التنفس في الميتوكوندريا بوقف انتقال الألكترونات في السيستوكروم ب وس ١ (إنزيم اوبيكينول أكسيداز ubiquinol oxidase على الموقع Qo).

مركبات السيانوأميدازل والثيوفينكاربوكسي أميد Cyanoimidazoles and Thiophenecarboxamides

ينتمي إلى هذه المجموعة الجديدة مركبي السيازوفاميد cyazofamid وسيلثيوفام silthiofam ويظهر المركب الأول تثبيطاً للإنزيم ubiquinone reductase (cytochrome bc1) ولكن في الموقع Qi عن الموقع Qo الذي يهاجم السابقة الستروبيلورينات. أما المركب الآخر الجديد فيقتصر بشيطة لإنتاج مركب الـ ATP ولكن غير محدد كما في السابق.

مبيدات تخليق الأحماض النووية

NUCLEIC ACID SYNTHESIS INHIBITORS

مركبات أميدات الفينيل Phenylamides : تتضمن هذه المجموعة ميتالاكسيل metalaxyl ، فيورلاكسيل furalaxyl وبنالاكسيل benalaxyl. وهذه المجموعة تعمل على خفض تخليق الأحماض النووية بتداخله مع تخليق الـ RNA حيث أنه العملية الأكثر حساسية وربما من خلال تداخله مع إنزيم RAN polymerase. أو أكسادكسيل Oxadixyl مركب شبيه لهذه المجموعة ويعمل بنفس الميكانيكية.

البيريميدبولات Pyrimidinols : وتتضمن هذه المجموعة دايمثيريمول dimethirimol ، إيريمول ethirimol ، بيوبريمات bupirimate و فيناريمول fenarimol وهذا المركب الأخير الوحيد المسجل بالولايات المتحدة. وتستهدف هذه المركبات إنزيم adenosineaminase.

الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acids : ويتمى لهذه المجموعة مركب وحييد وهو المبيد البكتيري حمض أوكسولينيك oxolinic acid ويستهدف هذا المركب إنزيم DNA topoisomerase.

مبيدات إنقسام الخلية والانقسام الميتوزي

MITOSIS AND CELL DIVISION INHIBITORS

البنزيميدازولات (Benzimidazoles) : تحتوي هذه المجموعة على بينوميل ، ثيابندازول ، كاريندازيم ، وثيوفانث. هذه المركبات غير سامة للفطريات في صورتها الأصلية ، ويجب أن تتحول إلى شق الاستر وهو الجزء السام. الكاريندازيم هو الجزء النشط لمركب بينوميل. ويتحول بينوميل إلى ميثيل-2-بنزيميدازول كربامات (methyl-2-benzimidazole carbamate "MBC") الذي أطلق عليه مؤخراً كاريندازيم. تسبب نواتج تمثيل هذه المركبات تدمير الشكل الخارجي للجراثيم النامية ، ويعتقد أنها تحدث اضطراب لانقسام الخلية وذلك لتثبيطها لتجمع اليتا تيوبولين tubulin- β أثناء الانقسام الميتوزي.

مركبات ن - فينيل كربامات و بناميد N-phenyl carbamates and Benzamides

داياثوفنكارب diethofencarb و زوكساميد zoxamide مركبات خاصة بهذه المجموعة ، وهي تشبه مركبات البنزيميدازول السابقة الذكر حيث تحدث تمزيق أو فوضى في انقسام الخلية بتثبيطها لتجمع بيتا-توبولين أثناء الانقسام الميتوزي.

مبيدات تخليق البروتين

PROTEIN SYNTHESIS INHIBITORS

المضادات الحيوية (Antibiotics) : يبطئ السيكلوهكساميد تخليق البروتين بتثبيط اندماج الأحماض الأمينية في البروتين. ونتيجة لتداخله في تخليق البروتين ، فقد يسبب تثبيط تخليق الـ DNA أيضاً.

السيكلوهكساميد سام لكل من الفطريات والنباتات ، وتبلغ قيمة الجرعة الفاتلة لـ ٥٠٪ (LD₅₀) من الفئران ٢.٥ مجم / كجم ، ويعتبر أكثر المبيدات الفطرية سمية.

يثبط الاسترنيتومييسين تخليق البروتين عن طريق ارتباطه بالريبوسومات ، جزئياً واحد من المضاد لكل رايوسوم. وهو يسبب أيضاً القراءة الخاطئة للشفرة الوراثية ، ولا يحتمل أن يكون ذلك هو التأثير الأساسي.

من المضادات الحيوية الأخرى المستعملة كمبيدات فطرية هي مركبي بلاستيدين-٨ (blasticidin-S) وكازوجاميسين (kasugamycin) وهي تحدث أيضاً تثبيطاً لتخليق البروتين. ويستثنى من ذلك مركب فاليداميسين (validamycin) وهو من مجموعة المضادات الحيوية التابعة لمجموعة الجلوكوكويرانوسيل (glucopyranosyl) التي تحدث تثبيطاً لتخليق الجدار الخلوي ، ولا يعرف عنها لتداخلها البروتيني ، ولكن على الأصح فهي تؤثر على تخليق السكريات العديدة. ويتخصص فاليداميسين في تثبيط التخليق الحيوي لسكر التريهالوز (trehalase) وسكر الأنوسيتول (inositol).

مثبطات تخليق الليبيدات (الدهون) والأغشية

LIPID AND MEMBRANE SYNTHESIS INHIBITORS

الثياديازولات (Thiadiazoles): إتريديازول (Etridiazole) هو المبيد الفطري الوحيد الذي يتبع مجموعة الثيازول. تنكسر الحلقة الخماسية الغير ثابتة حلقة الثيازول بسهولة تحت ظروف التربة ، إما إلى الشكل السام للفطر $N=C=S$ أو إلى دايثيوكرامات ، بناءً على تركيب المركب الأساسي. توقف مركبات الأيزوثيوسيانات نشاط مجاميع الثيول (-SH) أو (-SR) في الأحماض الأمينية ، البروتينات والإنزيمات الموجودة داخل الفطر الممرض. يثبط الإتريديازول التنفس ، وبالرغم من أنه متعدد النشاط (يثبط عملية التنفس والتخليق الحيوي للميلانين) فيعتقد أن الهدف الرئيس له أكسدة الدهون (lipid peroxidation) والتي بالتالي تؤثر على تخليق الأغشية.

الدايكاربوكسيميدات (Dicarboximides): تحتوي هذه المجموعة على مركبات الإيبروديون (iprodone) ، بروسيميدون (procymidone) وفينكلوزولين (vinclozolin). وبالرغم أن لهذه المجموعة طرق تأثير تشبه تماماً طرق تأثير مجموعة الفينيل أميد إلا أنه توجد أدلة حديثة على تعدد مواقع التأثير لها وخصوصاً التداخل مع مركب الـ NADH الخاص بسيتوكروم ج (cytochrome c reductase) الموجود بيروكسيدات الدهون.

الكربامات Carbamates: يعتقد أن هدف تأثير إيدوكارب (iodocarb) وبروثيوكارب (prothiocarb) هو غشاء الخلية كما يؤثر على الأحماض الدهنية بطريقة تغيير نفاذية الغشاء.

مركبات الفوسفات العضوية ومركبات أخرى: Organophosphates and Others: تثبط كل من اديفنفس (Edifenphos) ، إيبروبنفس (iprobentfos) ، وبيرازوفوس (pyrazophos) التخليق الحيوي للدهون الفوسفورية وخاصة

بتداخلها مع إنزيم ميثيل ترانسفيراز methyltransferase. ومع ذلك، توكلوفوس ميثيل toclofos methyl ينتمي إلى هذه المجموعة إلا أنه يحدث تأثيره من خلال عملية تكوين فوق أكسيد الدهون lipid peroxidation كما يحدثها مركب ايتريديازول. ومن المشوق أن بعض المبيدات الفطرية الأخرى المنتجة إلى مجموعات كيميائية أخرى مختلفة تظهر أيضاً تأثير مشابه (كلورونب chloroneb، دايكلوران dicloran وبي سي إن بي PCNB).

مبيدات تخليق الإستيرول

STEROL BIOSYNTHESIS INHIBITORS

الإرجوستيرول Ergosterol هو الاستيرول الرئيسي في معظم الفطريات، يلعب دوراً حيوياً في تركيب ووظيفة الغشاء، مشابه لدور الكوليسترول في أغشية الثدييات. ومع ذلك فمسار التخليق الحيوي له ليس واحداً في الكائنات المختلفة.

أوضح العالمان Ragsdale و Sisler الرواد في الكيمياء الحيوية للنبات، عام ١٩٧٢م، أن تخليق أرجوستيرول قد تُبط في جراثيم فطر *Ustilago maydis* أحد أمراض تفحيمات القمح بواسطة المبيد الفطري الجديد ترياريمول triarimol (أحد مشتقات البيريدين الذي أوقف استخدامه) بتركيزات منخفضة. ويعتبر الترياريمول أول مركب في قسم المبيدات الفطرية الزراعية التي تثبط تخليق الاستيرول، وعدد مركبات هذا القسم في زيادة سريعة. إيميدازولات (Imidazoles): تتضمن هذه المجموعة إيماليل imazalil، ترايفلوميثيل triflumizole وبروكلوراز prochloraz، التي تثبط تخليق الإستيرول بتثبيت إزالة مجموعة الميثيل من الأرجوستيرول (انظر المورفولينات أسفله، للتفصيل).

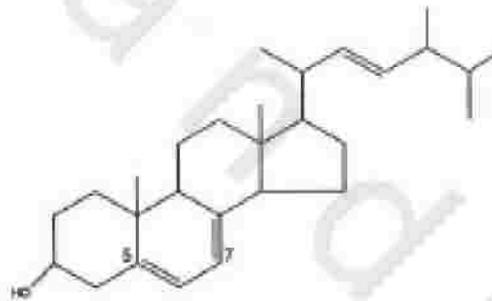
تريازولات (Triazoles): من هذه المجموعة ترياديميون triadimefon، بروبيكونازول propiconazole، ترياديمنول triadimenol، بيترتانول bitertanol، هكساكونازول hexaconazole، بنكونازول penconazole، دايكلوبوترازول diclobutrazol، ميكلوبوتاتيل myclobutanil، تيوكونازول tebuconazole، ترايفلومازول triflumazole، بروماكونازول bromaconazole، سيروكونازول cyproconazole وسيلان تريازول silane trazole وفلوسيلازول flusilazol. تثبط هذه المركبات إزالة الميثيل من الإرجوستيرول.

البيرازينات Piperazines، البيريدينات Pyridines والبيريميدينات Pyrimidines وتثبط هذه المجموعات التخليق الحيوي للأرجسترون من خلال إزالة مجموعة الميثيل. وتحتوي العضو الوحيد من مجموعة البيرازينات وهو تريفورين triforine ومن مجموعة البيريدينات مركب بيريفنوكس pyrifenoxy وعلى مركبين من مجموعة البيريميدينات وهي فناريمول fenarimol ونيوريمول nuarimol.

المورفولينات (Morpholines): تحتوي هذه المجموعة على خللات - دوديمورف (ملاثاتوكس) -dodemorph (acetate Meltatox®)، ترايديمورف (كالكسين) (Calixin®) tridemorph وفنبرويمورف (كوربل) fenpropimorph (Corbel®). تثبط هذه المركبات التخليق الحيوي للإستيرول في مراكز مختلفة عن مركز تأثير مبيدات التخليق الحيوي الأخرى للإرجوستيرول. ومن المشوق أن دايميومورف عضو في هذه المجموعة ولكن التأثير الأولي له هو التأثير على تخليق جدار الخلية عن تأثيره لباقي المجموعة.

التأثير الأساسي للمجموعات السابقة باستثناء مركبات المورفورلين، هي منع إزالة مجموعة الألفا- ميثيل رقم ١٤ في المادة التي يتكون منها الأرجستول، وبالتالي جميع المواد الوسيطة المتراكمة في وجود هذه المبيدات المثبطة تحتوي على هذه المجموعة. ولهذا فلا يتكون الأرجستول. ولذلك فإن موقع تأثير المورفينات وقليل من المركبات السابق ذكرها هو تثبيط اختزال الأستيرويدات (sterol Δ^{14} -reductase) والمشابه (Δ^8 to Δ^7 -isomerase).

الأرجوسترول
ERGOSTEROL



البيريديينات و سبيروكيتالامينات Piperidines and Spiroketalamines: مركبات من مجموعتين آخرين تهاجم نفس الموقع مثل مجموعة المورفينات. وتتضمن مركب فنبروبيدين fenpropidin وبيبرالين piperalin (من مجموعة البيريديينات) ومركب سبيروكسامين spiroxamine من المجموعة الأخرى.

مبيدات تثبيط التخليق الحيوي للإستيرول Other Sterol Biosynthesis Inhibitors: فنهكساميد Fenhexamid من مجموعة الأنبايد ومركب بيريبوتيكارب pyributicarb من مجموعة الثيوكاربامات تلك المركبين يؤثران على التخليق الحيوي للأستيرول ولكن بطريقة مختلفة عن بعضهم البعض ومختلفة عن تلك الموصوفة سابقاً. فالمركب الثاني (بيريبوتيكارب) يهاجم إنزيم squalene epoxidase ليحدث اضطراب في التخليق الحيوي للأستيرول، بينما مركب فنهكساميد يهدف إنزيم 3-keto reductase ليحدث إزالة لمجموعة الميثيل عند C4.

مبطلات المواقع العديدة

MULTI-SITE INHIBITORS

الكبريت (Sulfur): يقتل الكبريت بعض الكائنات الممرضة ومعظم الحلم بالتلامس المباشر، وأيضاً نتيجة لتأثيره المدخن على درجات الحرارة الأعلى من ٧٠ درجة فهرنهايت. يكون التأثير المدخن ثانوي على درجات الحرارة العادية ونحت ظروف الرياح. والكبريت جيد لمكافحة مرض البياض الدقيقي في النباتات الغير مفرطة الحساسية للكبريت، ويعكس الفطريات الأخرى، فإن جراثيم البياض الدقيقي تنبت في غياب طبقة الماء الرقيقة عند منطقة الدخول من خلال المنطقة الملساء (منطقة في النسيج "تصبح لينة" قبل نفاذ الجرثومة). يتم امتصاص الكبريت بالفطر في حالته البخارية، وتأثيره المدخن على مسافة كبيرة مهم في قتل جراثيم فطريات البياض الدقيقي. يتداخل الكبريت مع نقل الإلكترونات خلال السيوكرومات، ثم يختزل إلى كبريتيد الهيدروجين (H_2S) السام لمعظم البيروثينات الخلوية.

تدل طريقة استجابة الفطريات للكبريت على أن الكبريت يُحفز النشاط الإنزيمي، ويعتبر اختزال الكبريت إلى كبريتيد الهيدروجين بواسطة الفطر عملية أفضلية، تحول البروتون (H^+) دون حدوث تفاعلات الهدرجة العادية (انظر الشكل رقم ١٧،٩). يتم هذا الاختزال هوائياً (باحتاج أكسجين)، ويدخل فيه نظام السيوكروم، وربما يكون سيوكروم ب (cytochrome b)، وهو الإنزيم التنفسي الذي يدخل في أكسدة المركبات الغذائية والمركبات الغريبة. ربما يعمل الكبريت كمستقبل لذرات الهيدروجين من إنزيمات الديهيدروجينيز، ثم ينشط الخطوات الإنزيمية السابقة لاختزال الكبريت بأقصى درجة.

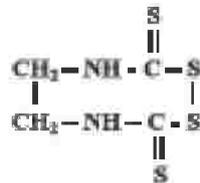
النحاس (Copper): مركبات النحاس غير العضوية مواد وقائية، تطبق قبل ظهور الكائن الممرض، لحماية النبات من العدوى، وهي تمنع انتشار العدوى، ولكنها لا تستأصل الفطر الموجود. لذلك، فإن موقع نشاط النحاس كمبيد فطري يجب أن يكون جراثيم الفطر. وتتركز أيونات النحاس بواسطة جراثيم الفطر من البيئة المحيطة، وقد تصل إلى مائة ضعف، وهذا المعدل العالي من أيونات النحاس داخل الجراثيم يؤيد أو يدعّم النظرية العامة بأن نشاط السمية الفطرية لأيونات النحاس يرجع إلى الانجذاب الغير متخصص لمجموعات مختلفة داخل الخلية، مثل مجموعات الازيميدازول، الكاربوكسيل، الفوسفات، أو الثيول، مما يسبب الدنترة غير المتخصصة للبروتين والإنزيمات.

النظرية الحالية المقبولة لطبيعة عمل مركبات النحاس الموقفة لنمو الفطر هي الدنترة الغير متخصصة للبروتين. يتفاعل أيون النحاسيك (Cu^{++}) مع الإنزيمات المحتوية على مجموعة سلفاهيدريل ($-SH$)، والتي تفسر سمية النحاس لكل صور الحياة النباتية، خاصة سميتها للجراثيم والخلايا التي يتركز فيها النحاس.

الزئبق (Mercury): مبيدات الفطريات الزئبقية تُعد ذات أهمية فقط من الناحية التاريخية والتوكسكولوجية الكلاسيكية. ولهذا الأسباب فهي غير مسجلة ماعدا الاستعمالات الخاصة. وركز الاهتمام الكبير والاستخدام الواسع لمبيدات الزئبق على طبيعة وسمية الزئبق نفسه، وفي عام ١٩٧٠م اكتشف أن ميثيل الزئبق (methyl "CH₃Hg⁺" mercury)، الذي يعتبر الأكثر سمية للحياة مقارنة بمجموعات الأريل (مشتقات أروماتية حلقية) الزئبقية أو أملاح الزئبق الغير عضوية وأنه يتكون في المحيط الحيوي. ونتيجة لذلك، تم إلغاء معظم تسجيلات المبيدات الفطرية الزئبقية.

يرجع الأساس الكيموحيوي لسمية الزئبق بشكل عام للتفاعل مع مجموعة الثيول الخاصة بالبروتين، حيث تكون أيونات الزئبق (Hg⁺⁺) مركبات ترتبط بذرة أو ذرتين كبريت. ولأن هناك عديد من مجموعات السلفاهيدريل (-SH) الوظيفية في النظام الحي، فإنه من المستحيل تحديد تفاعل واحد للزئبق على أنه الأكثر أهمية لتأثيره السام. يختلف الزئبق العضوي فقط في أن تركيبه الكيميائي وهو RHg⁺ بدلاً من Hg⁺⁺. مركبات الزئبق العضوية أكثر ذوباناً في الدهون مقارنة بالمركبات الغير عضوية (Hg⁺⁺)، مما يعطيها القدرة على النفاذ بسهولة إلى داخل الخلايا والأنسجة. عموماً، فإن مركبات الزئبق الغير عضوية أكثر فعالية في تثبيط الإنزيمات عن المركبات الزئبقية العضوية، بالرغم أن الصورة العضوية تظل كمركبات ذات سمية كبيرة.

الدايثيوكاربامات (Dithiocarbamates): تحتوي هذه المجموعة على أقدم مجموعات المبيدات الفطرية العضوية وتشمل، مانيب maneb، فربام ferbam، زينب zineb، مانزات manzate، دايثين dithane، بوليرام polyram، وزيرام ziram. تتفاعل مركبات الدايثيوكاربامات بعد تحولها عن طريق الأيض إلى الشق أيزوثيوسيانات (-N=C=S)، الذي يشط مجموعات الثيول (-SH) في الأحماض الأمينية، البروتينات، والإنزيمات في الكائنات الممرضة نفسه. من الصعوبة معرفة كيف تعمل هذه المركبات، حيث أنها غير ثابتة وطبيعة تركيب المادة السامة للفطر غير معروفة حالياً. هناك نظرية حديثة لا تعتبر مجموعة الأيزوثيوسيانات مسؤولة عن السمية بل تعتبر أن جزء الأثيلين ثيرام دايسلفيد (ethylene thiuram disulfide) هو المسئول عن السمية.



وبغض النظر عن طبيعة الجزء السام والمسئول عن السمية الفطرية لهذه المركبات، يعتقد أن نشاطها يرجع إلى وقف نشاط الأنظمة المهمة في خلايا الفطر المحتوية على مجاميع -SH أو مجاميع -SR. وتعتبر الدايثيوكاربامات تُحدث تأثيرها في مراكز متعددة.

الخلب (chelation) وظيفة مهمة في كلا من النباتات الراقية أو الدنيا (المتدنية) ، تساعد على تفسير طبيعة التأثير، ليس فقط للمبيدات الفطرية من مجموعة الدايشيوكاربامات، ولكن أيضاً للمركبات الأخرى، كالمركبات المشتقة من المعادن الثقيلة.

المركب المخليبي تركيب حلقي عضوي يتكون من ذرة معدن مرتبطة مع حلقة بواسطة نيتروجين، أكسجين أو كبريت. خاصة الإنزيمات المتشكلة عليها، لذلك تعتبر التراكيب المخليبية عناصر أساسية في العمليات الأيضية للنبات. بعض المعادن اللازمة للنباتات الراقية والفطريات بكميات ضئيلة تساعد الإنزيمات في أداء وظائفها في التمثيل. يعتبر المعدن فعالاً في هذا الدور كمادة مخليبية مع مكون حيوي.

أحد النظريات العامة المقبولة لشرح طريقة قتل الفطر بواسطة النحاس، الزئبق، الكادميوم، والمعادن الأخرى الثقيلة هي تكوين المواد المخليبية داخل الخلايا الفطرية. وبالتالي فإن دور المركب المخليبي هو حدوث خلل في تخليق البروتين والعمليات الأيضية. وحيث أن أكثر البروتينات أهمية في الخلايا هي الإنزيمات، فإن المعادن اللازمة بكميات ضئيلة عندما تظهر بكميات زائدة، تكون دالة على دخول سموم قوية إلى الخلايا.

إذا اعتبرنا النظرية المخليبية صحيحة، فسوف يرجع إليها تفسير طريقة تأثير المبيدات الفطرية المحتوية على المعادن الثقيلة العضوية وغير العضوية، تكوين الأيزوثيوسينات من جزيئات الدايشيوكاربامات، وكذلك قوة الدايشيوكاربامات المحتوية على معادن ثقيلة. بعض المبيدات الفطرية تعتبر مواد مخليبية، ترتبط بالمعادن النادرة مثل الحديد، المنجنيز، والزنك داخل الخلايا، فتحرم الخلايا من المواد الأساسية.

باختصار، تلعب عملية الخلب للمعادن الثقيلة دوراً هاماً في كلاً من حياة أو موت الخلايا.

الفثاليميدات (Phthalimides): كابتان captan، فوليت folpet، وكابتافول captafol من أوائل أعضاء هذه المجموعة من المبيدات الفطرية. ربما تكون هذه المركبات لها تأثير ونشاط غير محدد، وذلك بسبب عدم تحديد طبيعة تفاعلها مع مكونات خلايا الفطر. وعموماً يعتقد أن مجاميع SH- أو SR- هي مراكز التأثير. ومع ذلك، يشبط الفوليت الكيموتريسين (chymotrypsin) المعزول، الذي لا يحتوي على مجموعة الثيول. لذلك، قد يكون تأثير هذه المركبات من خلال تفاعلات لا تحتوي على مجاميع الثيول. تعتبر النظرية الحديثة أن التأثير الأساسي للسمية الفطرية لهذه المجموعة هو التداخل مع الانقسام الميتوزي للخلية، وذلك بمنع الانفصال الصحيح للكروموسومات إلى الاتجاهين المتعاكسين في الخلايا. وتعرف الفثاليميد بتعدد مراكز تأثيرها.

الكينونات (Quinones): يتبع هذه المجموعة الدايكلون dichlone، كلورانيل chloranil، ودايثيانون dithianon. تقتص جراثيم الفطر كميات كبيرة من الدايكلون قبل تنفسها، وهذا يوضح أن الدايكلون يظهر سميته بالتأثير التلقائي على مراكز مختلفة في عمليات التمثيل، وليس واضحاً ماهية التفاعلات الكيماوية للكينونات داخل

الفطر. تتفاعل الكينونات بسهولة مع مجاميع الثيول وربما تدخل في تفاعلات أخرى في الخلية، من ضمنها الارتباط مع مجموعات الأمينو. يرجع التأثير السام الأولي للكينونات إلى التفاعل مع مجموعات الثيول (SH) أو SR- أو الأمين (NH₂-) في الإنزيمات الأساسية.

الكلوورونيتريل Chloronitriles: كلوروثالونيل مبيد فطري غير جهازى يطبق على الأوراق، يعمل على وقف نشاط مجموعات الثيول، وربما الجلوتاثيون داخل الخلية الفطرية. وتكون النتيجة هي إضعاف إنتاج الطاقة من خلال تأثيرها على دورة الجلوكوز glycolysis.

الجوانيديينات (Guanidines): الدودين Dodine، ليس له طريقة تأثير محددة، ولكنه عموماً يؤثر بالتداخل في تركيب الغشاء، وهناك دليل غير مباشر على أن مكان نشاطه الأساسي هو غشاء الميتوكوندريا. تثبط نواة الجوانيديين الموجودة في الدودين تخليق RNA.

الترايازينات (Triazines): أنيلازين Anilazine هو المبيد الفطري الوحيد المنتمي لقسم الترايازين. طريقة ومكان تأثير هذا المركب غير معروفة. ومع ذلك، يتفاعل المبيد بسهولة مع مجموعات الأمين (NH₂-)، وبدرجة أقل مع SR- و SH-. ونتيجة لذلك، يظهر أن المركب يحدث تثبيطاً لمجموعة من العمليات داخل الخلية بالارتباط غير المتخصص مع المكونات الحيوية للخلية. للترايازينات مراكز تأثير متعددة.

السلفاميدات Sulfamides: داكلوفلوانيد dichlofluanid، توليفلوانيد tolyofluanid مركبان من مجموعة جديدة ليس لهما طريقة محددة في التأثير، ولكن لهما تداخل معروف مع مجموعات الثيول وعلى نشاط عمليات سلسلة التنفس.

طرق تأثير متنوعة

MISCELLANEOUS MODES OF ACTION

يعتبر كل من كوينوكسيفن quinoxifen (من الكينولينات quinoline) و فلودايوكسونيل fludioxonil (من الفينيل بيرول phenyl pyrrole) من محولات الطاقة في الخلية. ويعتقد أن المركب الأول يتداخل مع G-protein في المراحل الأولى المعيزة للخلية، بينما فلودايوكسينيل يتداخل مع إنزيم MAP protein kinase في مرحلة تحول الطاقة الأسموزية.

بعض المبيدات الفطرية تؤثر على تخليق جدار الخلية ومثال لها الدايميثومورف dimethomorph، وكذلك كل من إيروفاليكارب iprovalicarb و بنثيافاليكارب benthiavalicarb (من مركبات الأحماض الأمينية وأميدات الكريامات). وبالعكس يحدث مركب بولي اكسين (من نيكليوسيدات البيريميدن) يحدث تأثيره على الجدار الخلوي بتثبطه لتخليق الكيتين.

يشبط كل من كاربروباميد Carpropamid و فتوكسانيل fenoxanil تخليق الميلانين وخاصة بوقف عمل إنزيم dehydratase في التخليق الحيوي للميلانين.

Acibenzolar-S-methyl له طريقة تأثير فريدة حيث أنه لا يعتبر مبيد فطري بحد ذاته ولكن يعتبر نوعاً ما محفّز للنظام الدفاعي للعائل النباتي من خلال تحفيز النبات لإنتاج حمض السالسليك (المكون الطبيعي في النبات). يوجد عدد كبير من المبيدات الفعّلة ليس لها طريقة واضحة للتأثير حتى الآن. وتتضمن هذه المبيدات سيموكسانيل cymoxanil ، فوتيل-Al fosetyl-Al ، حمض الفوسفور و إيثابوكسام ethaboxam.

مقاومة الآفات للمبيدات

Resistance to Pesticides

المقاومة هي نقص محدد وموروث في حساسية الآفة للتأثير السام للمبيد والتي ينتج عنها انخفاض في الأداء الحقلية للمبيدات ذات العلاقة. والتحمل (tolerance) والمقاومة (resistance) مصطلحان قريبان جداً من بعضهما ولكنهما يستخدمان غالباً للدلالة على أشياء مختلفة. التحمل هو القدرة الطبيعية أو الموروثة للعشيرة لتحمل التأثيرات السامة لمبيد آفات معين وتُعرف غالباً على أنها المقاومة الطبيعية أو التكيفية. والآفات المتحملة للمبيدات تترد (تعود) لها حساسيتها عندما يتوقف تعرضها لتلك المركبات. أما المقاومة الحقيقية أو المناعة فتصريف التغير الإجباري في التركيب الوراثي للعشيرة كإستجابة لانتخاب جينات وراثية مقاومة، نتيجة التعرض للمبيدات، والتخلص من الأفراد التي لا تمتلك هذا الجينات المقاومة، ويتطلب حدوث ذلك تعرض أجيال عديدة لنفس المبيد. من المعروف حدوث المقاومة لكل أقسام المبيدات في الكائنات المستهدفة. يتزايد اهتمام العلماء بمقاومة الآفات المتزايدة للكيمياء التي كانت تنتج في السابق مكافحة كبيرة لتلك الآفات، حتى مع استخدام طرق التطبيق الغير مثالية. ظهرت مقاومة الآفات للمبيدات كما واجهناها خلال الخمسين سنة الماضية من المكافحة الكيمائية، في الحشرات، الحلم، النيماتودا (الديدان الثعبانية)، البكتريا والفطريات المعرضة للنيانات، القوارض المنزلية، الحشائش، والعديد من الكائنات الممرضة للإنسان والحيوانات الأليفة. معظم أنواع العدوى المتسببة عن بكتريا *Staphylococcus* والكثير من مسببات الأمراض للإنسان ازدادت مقاومتها للمضادات الحيوية المتاحة؛ كون الذهب المنزلي مقاوم للـ د.د.ت، الملائيون والمبيدات الحشرية الأخرى؛ أصبحت الصراصير مقاومة للكولوردين، الملائيون، الديدان، والبريوكس؛ بعض السلالات المسببة لمرض السيلان التناسلي لا يمكن مكافحتها إلا بواسطة أحدث المضادات الحيوية؛ تفشل بعض المبيدات الفطرية الحديثة مثل مركبات الستروبيلايورين والتي انخفضت فعاليتها بعد موسمون فقط من الاستخدام؛ لا يمكن مكافحة الفأر الترويجي في مناطق عديدة من البلاد باستخدام الوارفارين؛ أصبحت بعض الحشائش التي كانت تكافح بسهولة بمبيد حشائش معين، لا تتأثر به الآن. وقد تبين أن الآفات فطنة وراثياً وتطور باستمرار مقاومة لمبيداتها.

عُرفت فكرة مقاومة الآفات للمبيدات منذ خمسين سنة تقريباً. هذه الميكانيكية يمكن أن تُعزى إلى طريقة التأثير (المفردة) لمبيد معين، يقوم المبيد فيها بتعطيل عملية واحدة من عمليات تمثيل الكائن الحي التي تتحكم فيها الجينات. وتكون النتيجة ظهور السلالات المقاومة فجأة، وذلك إما بانتخاب الأفراد المقاومة في العشيرة أو نتيجة للطفرات الوراثية، وهي أقل الواسلتين شيوعاً. وبوجه عام، كلما كان موقع وطريقة تأثير المبيد متخصصة، زاد احتمال ظهور صفة المقاومة لهذا المبيد في العشيرة. عندما يكون المبيد قاتلاً، وله طريقة تأثير محددة، نتوقع بقاء واستمرار السلالات المقاومة من هذه العشيرة.

زيادة مقاومة الآفات لمبيداتها تشكل تهديداً خطيراً لمكافحة الآفات ليس فقط في مجال الزراعة ولكن أيضاً في مجال الصحة العامة. ومن الملاحظ أن وكالة حماية البيئة الأمريكية قد عرفت التهديد الناتج عن مقاومة الآفات لمبيداتها على الإنتاج الزراعي وذلك بنشرها في عام ١٩٩٩م للملاحظة الخاصة بتسجيل المبيدات (رقم ٥-٢٠٠١) والتي تُقدم إرشادات لسجلي المبيدات عن كيفية إدارة المقاومة (للمبيدات) وذلك من خلال الإجراءات التي تختص بعمل الملصقات (www.epa.gov/opppmsd1/PRNotices/pr2001-5.pdf).

أستخدم عدد من الخطط (الاستراتيجيات) لكبح تسارع حدوث المقاومة. وهي في معظمها مرتبطة بمدى واسع من الآفات (مفصليات الأرجل، الحشائش، الفطريات... الخ) وتشمل هذه الخطط مايلي:

- العمل على تدوير المبيدات المطبقة بحيث تمثل أنواع مختلفة من حيث طريقة تأثيرها وتفاذي تكرار تطبيق المبيدات التي تمتلك موقع تأثير (كيميوي) مشترك.
 - استخدام دورة زراعية لتفاذي تراكم أعداد عشائر الحشرات، الأمراض والحشائش.
 - تفاذي المعاملات غير الضرورية بالمبيدات ولذلك تستخدم التركيزات، التوقيت والتطبيقات التي يمكن أن تقلل من بقاء الأنواع المقاومة.
 - استخدام بدائل المبيدات عندما تكون متاحة.
 - مراقبة التغيرات في نتائج مكافحة الآفات وضرورة إبلاغ السلطات المحلية المختصة (مثل خدمات الإرشاد والباحثين في الجامعات الحكومية) بما يستجد من متغيرات هامة بهذا الخصوص.
- وفي بيانات علمية (غير منشورة) قدمتها شركة بايو لحماية المحاصيل منذ ٢٠٠١م تبين أن هناك تهديد خطير ومستمر لمقاومة الآفات للمبيدات وأنه قد قلل من شأنها حيث أوضح المختصين بتلك الشركة أن ٧٥٪ من مبيدات الحشرات، الحشائش والفطريات على المستوى العالمي عُزيت إلى ٢، ٦ و ٦ أماكن (مواقع) تأثير "كيميوي" مستهدفة على الترتيب. وحتى لو كانت تلك النتائج مُبالغ في تقديرها فإن ذلك يدل بوضوح على وجود حاجة مُلحة لمبيدات ذات مواقع تأثير جديدة.

مقاومة الحشرات للمبيدات الحشرية

INSECT RESISTANCE TO INSECTICIDES

مقاومة الحشرات للمبيدات الحشرية مثال واضح على قاعدة الانتخاب في التطور. يقتل المبيد الحشرات الحساسة له، بينما تبقى الأفراد المقاومة وراثياً. تشكل الأفراد المقاومة جزءاً كبيراً متزايداً من مجموع الآفة وتتوارث صفة المقاومة للأجيال التالية، ومقاومة الآفات الحشرية للمبيد هي نتيجة تطبيق ميكانيكية انتخاب حيوية قوية (المبيد) لعدة أجيال. كلما زاد عدد الأجيال المعرضة من الآفة للمبيد كلما زاد احتمال ظهور صفة المقاومة في العشيرة، وذلك لتكثيف الانتخاب.

مقاومة الحشرات للكيمياء مشكلة خطيرة جداً. ففي عام ١٩٤٤م، كان هناك ٤٤ نوعاً فقط من الحشرات المقاومة للمبيدات الحشرية. وفي وسط الثمانينات ارتفع هذا العدد عن ٤٤٧، أكثر من ٧٥٪ منها آفات زراعية (National Research Council, 1986). وقد أبقى مركز إدارة النظم النباتية في جامعة ولاية متشجن الأمريكية على قاعدة بيانات مفصليات الأرجل المقاومة للمبيدات ويعمل على تحديث قاعدة البيانات تلك بصفة دورية (<http://www.cins.msu.edu/resistance/>) وهذه المجموعة تلتبس مُدخلاتها من الباحثين في أمريكا الشمالية وحول العالم عن مفصليات الأرجل التي طوّرت مقاومة لمبيدات معينة وماهي المبيدات التي طورتها لها وما هو مستوى التغيير في تلك المقاومة. في عام ٢٠٠٢م كان هناك ٣١٠ مبيدات آفات أو مستحضرات مبيدات آفات حيث يوجد على الأقل نوع من مفصليات الأرجل مقاوم على الأقل لواحد أو أكثر من المبيدات الحشرية. وبالمثل، فإن قاعدة البيانات السابقة أشارت إلى أنه في عام ٢٠٠٢م كان هناك ٥٤٠ نوعاً مقاوماً لواحد أو أكثر من مبيدات الآفات.

كما ظهرت مقاومة الحشرات للمبيد الحيوي باميليس ثرجينيس (*Bt*) *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. وقد لوحظ في السنوات الإثنتي عشرة الأخيرة احتمال وجود مستويات عالية من المقاومة لمادة دلتا - اندوتوكسين التي تنتجها بكتيريا B.t. في العديد من الآفات الحشرية الهامة ومنها: فراشة الدقيق الهندية (*Plodia interpunctella*)، فراشة اللوز (*Cadra cautella*)، دودة براعم التبغ (*Heliothis virescens*)، الفراشة ذات الظهر الماسي (*Plutella xylostella*)، وخنفساء بطاطس كلورادو (*Leptinotarsa decemlineata*). وظهرت مستويات أقل من المقاومة في نوعين من البعوض هما الأيدس والكيولكس (*Aedes aegypti*, and *Culex quinquefasciatus*). حتى الآن، ظهرت المقاومة بدرجة كبيرة في الحقل، في الفراشة ذات الظهر الماسي فقط.

لهذا الاكتشاف انطباعات سلبية خطيرة بما يتعلق باستمرار فائدة استخدام هذه السموم في برامج مكافحة الحشرات. وقد أثار ذلك اهتمام خاص حول الفائدة المحتملة لإدخال جينات سموم بكتريا الـ B.t. في النباتات بواسطة الهندسة الوراثية (McGaughey, 1991).

النباتات المبيدة للآفات "plant pesticides" كما تسميها وكالة حماية البيئة الأمريكية لتعريف النباتات المعدلة وراثياً والمحتوية على جينات سُم دلتا اندوتوكسين ليكتريا *Bacillus thuringiensis*، أصبحت شيء من الواقع في وقتنا الحاضر، ويوجد الآن بطاطس - بي تي، ذرة - بي تي، وقطن - بي تي، وبدون شك، سوف يظهر العديد من النباتات المعدلة وراثياً في المستقبل. من المشاكل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار، أن هناك عدة أنواع حشرية أصبحت متحملة (مقاومة) لـ B.t. عند استخدامها كمبيدات حشرية تقليدية، كما ذكر سابقاً. وبمعرفة أن القاعدة الأساسية للانتخاب الوراثي هي الأساس في تطور صفة المقاومة في أي كائن حي، يتضح أنه مع الوقت، سوف تظهر في النهاية حشرات متحملة لهذا النوع من المحاصيل المحتوية على سُم بي تي. لذلك، فإن مقاومة الحشرات لسُم بي تي في المحاصيل المعدلة وراثياً هي مسألة وقت. ويعتقد بعض العلماء المختصين أن الآفات سوف تطور المقاومة خلال ٢-٣ سنوات، وبأمل البعض الآخر أن برامج الإدارة الناجحة لمقاومة الآفات للمبيدات سوف تؤجل تطور حدوث المقاومة في الآفات إلى عقدين من الزمان.

في عام ١٩٩٦م، كلفت وكالة حماية البيئة الأمريكية كل مزارعي القطن (قطن - بي تي المعدل وراثياً) بأن يخصصوا ٢٠٪ من محصول القطن للسلاسل غير المعدلة وراثياً. وتبرر الوكالة ذلك بأن الحشرات الحساسة سوف تنفوق عددياً إلى حد كبير على أعداد الحشرات المقاومة لمحصول -بي.تي. (B.t.) وبذلك تقلل المجموعة الجينية المقاومة (Pesticide & Toxic Chemical News, Jan.21, 1998). هذا المدخل إلى إدارة المقاومة تم تفعيله بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية عام ٢٠٠٠م عندما دعمت متطلبات حماية بكتيريا بي.تي. للقطن وأقرت أمراً إلزامياً شبيه به لنبات لببطاطس (EPA annual Reptot 2000, P.15; www.epa.gov/oppfead1/annual/2001).

كلما تزايدت أعداد المبيدات الحشرية غير الفعالة (نتيجة لحدوث المقاومة) ضد أنواع معينة من الآفات، فإن مشاكل مكافحة الآفة الحشرية تزايدت بنفس المعدل. يحتوي العديد من الآفات الحشرية الآن على نسبة كبيرة من الأفراد المقاومة لكل المبيدات الحشرية المعروفة، لدرجة عدم توفر المواد البديلة. وفي هذه الحالات، لا يوصي بالمبيدات الكيميائية كطريقة من طرق المكافحة. ولا تقتصر المقاومة للمبيدات الحشرية على الآفات الزراعية، بل إن مشاكل الصحة العامة، الناتجة من مقاومة الحشرات التي تنقل أو تحمل مسببات الأمراض، قد تصبح أكثر أهمية إلى حد كبير من مشاكلنا الزراعية.

إحدى صور مقاومة المبيدات الحشرية الأقل شيوعاً هي المقاومة المشتركة (Cross-resistance)، فالمجموعات الحشرية التي كوَّنت مقاومة لإحدى المبيدات الحشرية من مركبات الفوسفور العضوية، تكون غالباً مقاومة لمبيد آخر من نفس المجموعة، وحتى لو لم تكن قد تعرضت له من قبل. في كثير من الحالات، المجموعات الحشرية التي أصبحت مقاومة لمركبات الفوسفور العضوية تصبح بسرعة مقاومة للمبيدات الحشرية من مجموعة البيروثرويدات

المصنعة. ولأن طرق تأثير مبيدات الفسفور العضوية والكاربامات متشابهة ، فإن المجموعات الحشرية التي أصبحت مقاومة للنوع الأول ، سريعا ما تكون مقاومة لواحد أو أكثر من النوع الثاني.

عدم فعالية المبيد الحشري قد لا تدل بالتأكيد على أن الحشرة مقاومة له. فربما تنخفض فاعلية المبيد نتيجة لتدمير وسائل المكافحة الطبيعية ، على سبيل المثال ، المفترسات والطفيليات التي غالبا ما تحافظ على مستويات الآفة تحت السيطرة. جزء صغير جداً من المجموع الكلي للحشرات تعتبر آفات ، وفي حالة الكثافة الطبيعية للمجموعات الحشرية ، فإن معظم الحشرات لا تشكل تهديداً للمحاصيل المزروعة ، بل إن الكثير منها مهمة للصحة واستقرار البيئة ، لأنها فعالة في مكافحة الحشرات الضارة الأخرى.

معظم المبيدات الحشرية المستخدمة في الوقت الحاضر لها تأثيرات واسعة المدى واسع من الحشرات ، يشمل ذلك الأنواع الحشرية النافعة والضارة. عند تدمير الأعداء الطبيعية الحيوية لنوع من الآفات ، قد تعود الآفة بأعداد كبيرة ، فينتج عن ذلك زيادة الضرر على المحصول المقترض حمايته. علاوة على ذلك ، فإنه مع استخدام المبيدات الحشرية ذات الطيف الواسع ، تتزايد أعداد الحشرات التي كانت تكافح في البداية بواسطة الأعداء الحيوية الطبيعية. والمفترسات أحيانا تصبح آفات ، وذلك نتيجة لقتل الأعداء الحيوية للحشرة ، ولذلك فإن أنواع الحشرات ذات الأهمية الثانوية يمكن أن تصبح آفات رئيسية عندما تقل المنافسة بينها وبين الآفة الرئيسية.

تعد المقاومة مشكلة كبيرة في العديد من أنواع الآفات الحشرية ، ولسوء الحظ ، فالكثاف وإنتاج مبيدات حشرية جديدة لا يواكب سرعة فقدان مبيدات حشرية كانت يوماً ما فعالة ، وذلك بسبب مقاومة الآفة له أو سحب أو إلغاء استخدام المبيد للمحافظة على سلامة الإنسان والبيئة. ولذلك ، فالحلول البعيدة المدى لمشكلة مقاومة الحشرات للمبيدات ستكون في طرق المكافحة الأخرى أو بضم الطرق المختلفة إلى بعضها ، وذلك فيما يعرف بالإدارة المتكاملة للآفات. وهذا الموضوع تم مناقشته بتفصيل أكبر تحت الجزء الأخير من الفصل الرابع والعشرون.

تم التعامل حديثاً مع مشكلة مقاومة الآفات للمبيدات باستخدام مبيدات لها طرق تأثير جديدة ، وذلك في أمريكا الوسطى ، حيث تبين أن سحب مبيد البيض كلوردائيمفورم من السوق جعل مكافحة ديدان الأوراق (*Spodoptera spp.* و *Trichoplusia spp.*) صعبة جداً بسبب مقاومة تلك الآفات لكل صفوف المبيدات الحشرية التقليدية بما في ذلك البيروثرويدات المصنعة. وفي عام ١٩٨٥م استخدمت مركبات الأسيل اليوريا المثبطة للكيتين ، ضمن نظام المكافحة التطبيقية لهذه الحشرات. وبعد سبع سنوات ، لم تكن هناك أى ظاهرة لحدوث المقاومة ، ولم يكن هناك أيضاً أي شاهد لحدوث المقاومة المشتركة بين المبيدات الحشرية العادية ومبيدات الأسيل يوريا (Gert-Henri and Monterroso, 1992).

تحمل ومقاومة الحشائش لمبيدات الحشائش

WEED TOLERANCE AND RESISTANCE TO HERBICIDES

بعض الحشائش لديها قدرة تحمل طبيعية عالية للتأثير السام لمبيدات الحشائش. ويعتمد هذا التحمل بدرجة كبيرة، على الصفات المورفولوجية، الفسيولوجية وكذلك الصفات الوراثية للنبات. وعلى التقبيض، تتضمن المقاومة أو المناعة انتخاباً وراثياً خلال فترة من الزمن وعدة أجيال للنبات، كاستجابة للضغط الانتخابي لمبيد الحشائش، وينتج عن ذلك سلالة حيوية من الحشيشة مقاومة فعلاً لتلك المبيدات. تظل النباتات المتحملة حية عند تطبيق مبيدات الحشائش، وتزدهر في غياب منافسة الأنواع الحساسة. استخدام دورة من مبيدات الحشائش يفيد في مثل هذه الحالات، إذا كانت مبيدات الحشائش الاختيارية متوفرة. يحتوي الجدول رقم (٢٠١) على أمثلة للحشائش التي أصبحت متحملة لمبيدات حشائش مختلفة. لم تزعج مشكلة مقاومة الحشائش للمبيدات علماء الحشائش بشدة، بالرغم من كونها حقيقية ومتزايدة، مثلما حدث مع علماء الحشرات، أو المختصين بمكافحة القوارض. ومع ذلك، فلدى علماء أمراض النبات إمام تام بهذه المشكلة. ولأكثر من ثلاثين سنة، لوحظ أن المضادات الحيوية، ومنها المبيدات الفطرية، فشلت في مكافحة الأمراض النباتية البكتيرية، وذلك بسبب أن السلالات المقاومة للمضادات الحيوية من البكتيريا المرصنة للنبات أصبحت بسرعة هي السائدة في عشائر تلك الكائنات المعاملة بالمضادات الحيوية.

في السنوات القليلة الماضية، ظهرت عدة أمثلة من الحشائش المقاومة، مع زيادة متنامية في تلك الأعداد. من أكثر سلالات هذه الحشائش أهمية السلالات الحيوية المقاومة لمبيدات التريازين والتي لا يقل عددها عن ٥٠ نوعاً، والتي ثبت وجودها منذ عام ١٩٧٠م. وهذه الحشائش تنتمي للفصائل النباتية المركبة (Compositae)، فصيلة رجل الأوز (Chenopodiaceae)، والفصيلة القطفيفية (Amaranthaceae). مقاومة الحشائش لمبيدات ALS (صف مركبات السلفونيل يوريا وأخواتها) كانت الأسرع حدوثاً بين مبيدات الحشائش الأخرى. وقد لوحظ حدوث المقاومة لتلك المركبات منذ منتصف الثمانينات (الميلادية) بعد فترة وجيزة من بداية استخدامها. وحسب ماهو مذكور في عام ٢٠٠٣م، هناك ٨٠ سلالة من الحشائش أصبحت الآن مقاومة للمركبات المثبطة لـ ALS التابعة للصف السابق ذكره.

من أكثر أنواع الحشائش المقاومة لمبيداتها أهمية هي حشيشة الجاودار القاسي (*rigidum Lolotum*)، حشيشة الشوفان البري (*Avena fatua*)، حشيشة رجل الأوز ذات الجذور الحمراء (*Amaranthus retroflexus*)، حشيشة مرتع الحملان الشائعة (*Chenopodium album*)، حشيشة ذيل الثعلب الخضراء (*Setaria viridis*) وحشيشة فناء مخازن الحبوب (*Echinochloa crus-galli*). (<http://www.weedscience.org/worstweeds.gif>)

بعض أنواع الحشائش التي لاقت اهتماماً كبيراً مثل حشيشة مرتع الحملان الشائعة (common lambsquarters)، وحشيشة رجل الأوز ذات الجذور الحمراء (*Amaranthus retroflexus* L.)، والتي تنمو في حزام الذرة (في الولايات

المتحدة)، حيث تزرع الذرة سنة بعد أخرى بدون اتباع دورة زراعية، وأفضل مبيدات الحشائش المستخدمة ضدها هي مبيدات الترايازين. دلت الأبحاث التي أجريت لمعرفة كيفية حدوث المقاومة على وجود ميكانيكية مقاومة مختلفة عن الميكانيكية الموجودة في الأنواع المتحملة لمبيدات الترايازين، مثل الذرة. يعود تحمل الذرة لمبيدات الحشائش الترايازينية إلى قدرة الذرة على تمثيل المادة الفعالة في مبيد الترايازين إلى صورة غير فعالة. أما بالنسبة لميكانيكية مقاومة الحشائش للترايازين فتنتج عن حدوث تغيير في مكان تأثير هذا النوع من مبيدات الحشائش. ويفسر ذلك بحدوث تغيير في البروتين التابع لمجموعة النظام الضوئي الثاني في النباتات المقاومة، والذي يحتوي على موقع الارتباط بمبيد الترايازين، بحيث يفقد هذا البروتين صفة الارتباط بهذا المبيد (Ahrens et al., 1981).

الجدول رقم (١، ٢٠٠٩). أمثلة من الحشائش الحولية المُحملة لمبيدات حشائش معينة.

مبيدات الحشائش	الحشائش الحولية المتحملة
أترازين (أوتركسي) ^١	الأنواع التابعة لحس بانكم <i>Panicum spp</i>
بينفين (بالان)	الكرز الأرضي، حشيشة الخردل، الحس الشوكي، القناب الشوكي، دوار الشمس
بنسولايد (بريفان)	أرجل الأوز، الكرز الأرضي، رجلة الحصان، الخردل الصفك، والحس الشوكي
بروماسيل (هايفار-٥)	حشيشة القريون، رجلة الحصان، لسان الحمل
سايكلوويت (زوسنت)	الخردل، الخبيزة الصفري، قريون شبرد، البقوليات
دايفوكوات (أنتج)	حشيشة الكثاري
دايرون (كارمكس)	لسان الحمل، القريون، رجلة الحصان
DSMA (متنوع)	معظم الحشائش في حزام القطن
EPTC (إتام)	البقوليات، الخبيزة الصفري، حشيشة الخردل
جلايفوسيت (راوند أب)	القناب (الشوك) الروسي، حشيشة اللغاء
MSMA (متنوع)	معظم الحشائش في حزام القطن
باراكوات (متنوع)	حشيشة القلوب المكسيكية، لسان الحمل
فمدايفام (سين-أيد)	أرجل الأوز، حشيشة برومدا، البيطاط (عصاء الراعي)
برومتراين (كابارول)	الحشائش (التحلية)
بروفام (توبرايت)	الحشائش (التحلية) الصيفية، معظم الحشائش عريضة الأوراق
سيملازين (برنسب)	الأنواع التابعة لحس بانكم <i>Panicum spp</i>
ترايكتورالين (ترفلان)	الكرز الأرضي، الخردل، البقوليات، دوار الشمس
٤٠٢ (متنوع)	معظم الحشائش (التحلية)، الخبيزة الصفري، البيطاط (عصاء الراعي)

^١ قد يوجد أسماء تجارية أخرى متاحة.

المصادر:

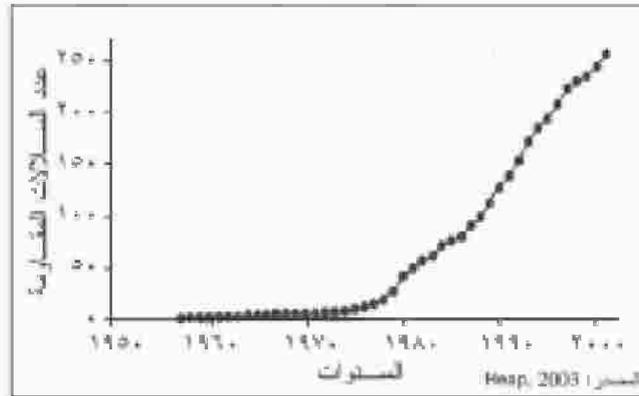
- (1) Arizona Agricultural Chemicals Association, *Arizona Study for Agricultural Pest Control Advisers: Control of Weeds* (1980).
 (2) Cotton Grower 32 (3): 20 (March, 1996).

مثال آخر، مقاومة حشيشة جونسون لمبيد الداالايون، الذي لوحظ في ولاية أريزونا (Hamilton, 1981). هذه الحشيشة لم تكن موجودة أصلاً في تلك المنطقة، ولكنها نُقلت من خارجها، بهدف استخدامها كنبات علفي؛ وقد تم استيراد العديد من سلالاتها الحيوية، ثم أصبحت بعد فترة زمنية قصيرة حشائش معمرة. ويتضح أن مقاومة تلك الحشيشة للداالايون لوحظت بعد خمس أو ست سنوات من الاستخدام، حيث تم التخلص من السلالات الحساسة من الحشيشة، مخلفة فقط السلالات المقاومة. كان مبيد الداالايون في البداية فعالاً ضد هذه الحشيشة المعمرة، ولكنه الآن لا يفيد في مكافحتها.

المعلومات المتوفرة منذ عقد من الزمن تقريباً عن الحشائش المقاومة لمبيداتها موضحة في الجدول رقم (٢٠٢). من الـ ٨٦ نوعاً المسجلة، ٦٠ منها حشائش عريضة الأوراق و ٢٦ من الحشائش النجيلية. وعند أخذ السلالات الحيوية الـ ١٢٥ من الحشائش في الاعتبار، فإن منها ٧٩ عريضة الأوراق و ٤٦ حشائش نجيلية، بنفس التوزيع تقريباً. الوضع الحديث لمقاومة الحشائش لمبيداتها متاح على الشبكة العنكبوتية ويُسمى "الحصر العالمي للحشائش المقاومة لمبيداتها" وهي متوفرة في الموقع التالي (<http://www.weedscience.org>). هذا الحصر (المسح) يُدار بواسطة جمعية علوم الحشائش الأمريكية (WSSA)، بالاشتراك مع لجنة عمل المقاومة لمبيدات الحشائش (HARC) وتلك (HARC) لأمريكا الشمالية والتي تشكل تحالفاً لممثلين من العاملين في الصناعة، الباحثين، خبراء الإرشاد والجهات الرسمية المنظمة. اقتبس الشكلين رقمي (٢٠١، ٢٠٢) من الموقع السابق وهي على التوالي توضح الزيادة في حدوث المقاومة في سلالات الحشائش حسب طريقة التأثير لصفوف تلك المبيدات مع الزمن وكذلك الزيادة الكلية في سلالات الحشائش المقاومة خلال الخمس عقود الأخيرة. وهي بالأحرى توضح صورة مثيرة لتنامي المقاومة في الحشائش. كان هناك ١٢٥ سلالة من الحشائش مقاومة لمبيداتها في عام ١٩٩٢م (انظر الجدول رقم ٢٠٢). البيانات الحالية للحصر العالمي يوضح أن هناك ٢٧٦ سلالة مقاومة وهي تشمل ١٦٦ نوعاً، منها ٩٩ من الحشائش عريضة الأوراق و ٦٧ من الحشائش رقيقة الأوراق.

الجدول رقم (٢٠٢). توزيع الحشائش المقاومة لمبيدات الحشائش (حتى فبراير ١٩٩٢م)^١.

عدد الولايات، المناطق، الدول					عدد الأنواع		
الأخرى	أوروبا	كندا	الولايات المتحدة	المجموع	رقيقة الأوراق (نجيلية)	عريضة الأوراق	
٤	١٧	٤	٣٤	٥٨	١٧	٤١	فرايزيدات (أترازين)
	١			٢	١	١	الاستيليدات (الأكثرون)
٣		٣	١٠	٩	٤	٥	مبيدات (ALS / AHAAS) يورات فسفونيل
٣	١		١	٢	٢		الأمبيدات (دومابيل)
			٢	١		١	الترينبات (MSMA)



الشكل رقم (٢٠٢). زيادة أعداد الحالات الفريدة من الحشائش المقاومة لمبيداتها مع الزمن على المستوى العالمي.

المصدر: Heep, 2003

لماذا تصبح السلالات المقاومة لمبيدات الحشائش بسرعة هي السلالات السائدة في العشيرة؟ لو أن هناك مبيد حشائش فعال ومتخصص جداً، يقضي على النبات بتثبيطه لتفاعل أبيض واحد تشطه الإنزيمات، فإنه سوف يسبب ضغطاً انتخابياً على العشيرة، بحيث يسمح فقط بقاء السلالات المقاومة له. هناك احتمال كبير لوجود تلك السلالات، وتعود مقاومتها للمبيد إلى مقدرتها على تجاوز التثبيط بالمبيد لعملية الأيض واستمرار عملية الأيض الطبيعية باستخدام مسار أبيض بديل.

قوة مبيد الحشائش مهمة أيضاً، فمبيد الحشائش الضعيف الذي يكون فعالاً فقط عندما يستخدم بكميات كبيرة، لن يكون فعالاً ضد عشيرة الآفة التي تتكون بدرجة كبيرة من سلالات متحوّلة للمبيد. إن نشأة وتطور سلالات من الآفات النباتية مقاومة للمبيد لا يقتصر على الكيمائيات العلاجية. طالما أن مبيد الآفة قوياً، ومتخصصاً في طريقة تأثيره، فيجب أن نوقع بقاء واستمرار السلالات المقاومة من العشيرة المعاملة.

تحميل المحاصيل ومقاومتها لمبيدات الحشائش

CROP TOLERANCE AND RESISTANCE TO HERBICIDES

معظم المحاصيل الزراعية مقاومة طبيعياً لواحد أو أكثر من مبيدات الحشائش، ومع ذلك، فهناك جهود كبيرة لإنتاج محاصيل مقاومة لمبيدات الحشائش، وذلك من خلال الطرق العلمية المتقدمة أو التقنيات الحيوية. أكثر الطرق شيوعاً واستخداماً هي طرق ادماج الحمض النووي DNA، والتي تنقل فيها الجينات التي تحمل صفة المقاومة لمبيد حشائش معين إلى نبات آخر غير مقاوم.

بجانب المحفز الاقتصادي للمصنّع، فإن ميزة متابعة إنتاج محاصيل مقاومة لمبيدات الحشائش هو أن تلك المبيدات لها خصائص جيدة بالنسبة للبيئة وسوف تحمل محل القديمة التي لا تتمتع بتلك المميزات. بالإضافة إلى ذلك،

فإن الخبرة مع مبيد الحشائش راوندأب ردي (الذي يستخدم لمكافحة الحشائش في حقول الذرة وفول الصويا دون أن يلحق الضرر بالأخيرة) والذي يُشكل استخدامه مزيداً من الراحة للمزارع ، ويكافح الحشائش بنفس مستوى الفعالية مع خفض التكاليف. كذلك فإن استخدام مبيد يؤثر على عدد كبير من الحشائش ، على محصول مقاوم لهذا المبيد ، سيؤدي لتقليل كمية مبيدات الحشائش المستخدمة خلال فترة إنتاج هذا المحصول ، خاصة إذا كان هذا المحصول يعامل من قبل بمبيدات حشائش متعددة.

من أقوى الخلافات حول المحاصيل المقاومة لمبيدات الحشائش ، الرأي القائل أن تلك المحاصيل سوف تحسّن من كفاءة نظم الزراعة التي يقل فيها استخدام عمليات الحرث ، فإنها من المحتمل أيضاً أن تُعجل في حدوث انتخاب طبيعي ، لحشائش مقاومة لمبيدات الحشائش. سوف يناقش ذلك بالتفصيل في الفصل الخامس والعشرون.

ذُكر في تقرير روسي في عام ١٩٩٥م ، أن الاستخدام الطويل لمبيد 2,4-D على محاصيل الجبوب ، نتج عنه تطور العديد من أنواع الحشائش المقاومة لهذا المبيد ، خصوصاً الأنواع الحولية ثنائية الفلقة مثل *Polygonum spp.* ، *Setaria media* ، *Matricaria perorata* ، و *Fumaria officinalis*. اكتسبت هذه الحشائش أهمية كبرى في الأماكن التي استخدم فيها الحد الأدنى من عمليات الحرث (Resistant Pest Management, 1995).

مقاومة مسببات الأمراض للمبيدات الفطرية

DISEASE RESISTANCE TO FUNGICIDES

من الشائع حدوث مقاومة الفطريات ، وفي أحوال نادرة ، البكتيريا المرضية للنبات للمبيدات ، باستثناء المعادن الثقيلة. بعد عدة مواسم زراعية من ظهور مبيد فطري جديد ، يصبح أقل فعالية ضد مرض معين. وكلما كانت المبيدات الفطرية أكثر تخصصاً في مقاومة أمراض معينة ، فعن المتوقع أن تصبح هذه الكائنات مقاومة لتلك المبيدات. من أحدث الأمثلة على ذلك من المبيدات الفطرية هو صف ستروبوليورن والتي سُجلت في منتصف الثمانينات الميلادية حيث لوحظت المقاومة لها في أوروبا بعد موسمين أو ثلاثة فقط من الاستخدام. مرة أخرى ، تُبدي هذه المبيدات ضغطاً انتخابياً على الفطريات ، وينتج عن ذلك ظهور فجائي لمجموعات مقاومة ، إما نتيجة لانتخاب أفراد مقاومة ، أو نتيجة حدوث طفرة لأحد الجينات. بوجه عام ، كلما كان مكان وطريقة تأثير المبيد الفطري متخصصة ، كلما زاد احتمال المقاومة في الكائن المرض لهذا المبيد.

قبل إدخال المبيدات الفطرية الجهازية في بداية السبعينات الميلادية ، كان علماء أمراض النبات غير مهتمين بالمقاومة. أصبحت مقاومة مسبب المرض النباتي للمبيدات مشكلة بسبب إدخال وانتشار استخدام مركبات مثل البنوميل لها مواقع متخصصة في تأثيرها السام. قبل استخدام المبيدات الفطرية الجهازية (في الخمسينات والستينات الميلادية) ، كانت المبيدات الفطرية المستخدمة في مكافحة الفطريات لها مواقع تثبيط متعددة ، مثل الكابتان ، مركبات

قدم (Sirotzki and Gisi, 2003) عرضاً حديثاً للميكانيكيات الجزئية التي تهدف إلى تشخيص المقاومة للمبيدات الفطرية في العشائر الحقلية. كما عرضوا قائمة بالأنواع التي عُرف لها عشائر حقلية مقاومة. هذه الأنواع مدونة في الجدول رقم (٢٠٤) حسب الصف الرئيسي للمبيد الفطري.

الجدول رقم (٢٠٤). أنواع مسببات الأمراض النباتية التي أصبحت مقاومة لاصناف المبيدات الفطرية.

المبيد الفطري	الأصناف المقاومة
الستروبيورينات	<i>Erysiphe (Blumeria) graminis</i> , <i>Mycosphaerella fijiensis & graminicola</i> , <i>Magnaporthe oryzae</i> , <i>Peronospora parasitica</i> , <i>Sphaerotheca fuliginea</i> , <i>Venturia inaequalis</i>
البيراميدازولات	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Helminthosporium solani</i> , <i>Mycosphaerella graminicola</i> , <i>Rhynchosporium secalis</i> , <i>Venturiashicola</i>
N-تثايل كاربناتات	<i>Rhynchosporium secalis</i> , <i>Venturia nasticola</i>
مبيدات فلق السترول (S36)	<i>Erysiphe (Blumeria) graminis</i> , <i>Mycosphaerella fijiensis</i> , <i>Venturia inaequalis</i>
الدايكاربوكسيميدات	<i>Alternaria alternata & liniola</i> , <i>Botrytis cinerea & fabae</i> , <i>Didymella lycopersici</i> , <i>Phoma exigua</i> , <i>Plasmopara viticola</i>
الكاربوكسيميدات (الأكسثامبات)	<i>Ustilago maydis & tritici</i>
أنيلينو-بارميدينات	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Venturia inaequalis</i>
البنيلامبيدات	<i>Bremia lactucae</i> , <i>Pseudoperonospora cubensis</i> , <i>Phytophthora infestans</i> , <i>Peronospora parasitica</i>

(المصدر: Sirotzki and Gisi, 2003)

ظهرت المقاومة المشتركة cross-resistance أيضاً في بعض مجموعات الكائنات المعرّضة. يمكن تخفيف المقاومة أو منعها، بالاستخدام المبكر لبرامج الرش المصممة بحيث تمنع تعرض الكائن المعرض لمبيد واحد لفترة طويلة. وعندما تشكل المقاومة جزءاً كبيراً من مجموع الكائن المعرض، فإن الخيار الوحيد هو استخدام عوامل مكافحة أخرى لذلك المرض، لا يحدث لها مقاومة - مشتركة. عندما يراد استخدام مبيد فطري ذو ميول طبيعية للمقاومة، فإنه يلزم تخطيط برنامج لمنع حدوث تلك المقاومة. على سبيل المثال، عن طريق:

- ١- استخدام مخاليط من المبيدات الفطرية.
- ٢- استخدام المبيدات الفطرية في دورة.
- ٣- تقليل استخدام المبيدات الفطرية.
- ٤- تطوير استراتيجيات للمكافحة المتكاملة (Delp, 1980).

الاستراتيجيات الأخرى التي يمكن أن تُبطن حدوث المقاومة تشمل استخدام أصناف من المحاصيل مقاومة للأمراض، اتباع دورة زراعية للمحاصيل لمنع تراكم الكائنات المعرّضة في التربة، واتباع ظروف صحية محصولية جيدة بحيث يتم التخلص من مخلفات المحاصيل التي تُشكل مصدراً (جديداً) للعدوى (مجموعة عمل المقاومة للمبيدات الفطرية - المملكة المتحدة). (<http://www.pesticides.gov.uk/committees/trsistance/FRAG>).

مقاومة القوارض لمبيدات القوارض

RODENT RESISTANCE TO RODENTICIDES

نظراً للاستخدام المستمر والعالمي الواسع لمبيد الوارفارين في الخمسين سنة الماضية ، فإن معظم القوارض المنزلية طورت بعض المقاومة له. مقاومة القوارض لمبيد الوارفارين لوحظت في بداية الأمر في اسكوتلندا عام ١٩٥٨م ثم شوهلت بعد ذلك في مناطق جغرافية أخرى والتي حدث فيها استخدام مكثف أو لفترات طويلة للمبيد. المقاومة لهذا المبيد (الوارفارين) ينتج عنها في الغالب مقاومة مشتركة لمضادات التجلط الأخرى مثل مبيدات القوارض التابعة لمركبات الأنداندايون. من بين أنواع القوارض الضارة ، يعتبر الفأر النرويجي (*Rattus norvegicus*) أكثرها مقاومة ، خصوصاً في المدن الكبيرة. يوضح الجدول رقم (٢٠٥) قائمة بمستويات المقاومة في الفأر النرويجي لمبيدات القوارض الأكثر استخداماً بواسطة عمال مكافحة الآفات المحترفين. تفيد عوامل المقاومة في قياس فعالية أحد مضادات التجلط ضد القوارض ، بحيث تعطي دلائل نسبية على كميات مبيد القوارض التي تستخدم لقتل الفئران المقاومة ، مقارنة بالكميات المستخدمة لقتل الفئران الحساسة ، أو غير المقاومة. فمثلاً ، يلزم استخدام كمية من البروديفاكوم بزيادة ١.٣ مرة للسلاسل المقاومة ، مقارنة بالسلاسل الحساسة للحصول على نفس الدرجة من المكافحة ، أما عامل المقاومة لمبيد الدايفاسينون فيبلغ ٢٢٧. الدراسات الأخيرة في المناطق الريفية لوسط وجنوب إنجلترا ، أوضحت مقاومة الفأر النرويجي للمجيل الثاني من مضادات التجلط ، دايفيناكوم ، برومادايولون ، بروديفاكوم ، وفلوكومافي ، . كما لوحظت المقاومة أيضاً في نفس العشيرة لمبيدات قوارض غير مضادة للتجلط ، مثل فوسفيد الزنك والكالسيومبيروكسيد. لم يستخدم أي مبيد قوارض مضاد للتجلط على عشيرة الفأر النرويجي السابق لمدة ١٨ شهراً ، وخلال تلك الفترة استخدمت المصائد الزنبركية - القاتلة كطريقة رئيسية للمكافحة. وقد انخفض مستوى المقاومة (لدى تلك الفئران) بشكل جوهري ، واتضح بعد ذلك أن تلك المبيدات أثبتت فعاليتها بعد فترة ١٨ شهراً من منع تلك المواد من الاستخدام. وهذا يبين أن من العوامل الرئيسية لإدارة مقاومة الآفات للمبيدات والتغلب عليها (مثل مقاومة الفئران للمبيدات) على المدى الطويل هو تخفيف الضغط الانتخابي الناتج عن استخدام مضادات التجلط (Quy, 1995).

الجدول رقم (٢٠٥). مستويات مقاومة الفأر النرويجي لمبيدات القوارض من مضادات التجلط.

مستوى المقاومة	مضاد التجلط
١.٣	بروديفاكوم
١.٩	دايفيناكوم
١٤.٢	كومستريل ^(١)
٩١	كلوروفاسينون
١٦٧	وارفارين
٢٢٧	دايفاسينون

^(١) غير متاح في الولايات المتحدة.

المصدر : (Halder and Shadbolt (1975