تشخيص أعراض تلوث الهواء على النباتات

الدكتور/ محمد عبدالخالق الحمداني رئيس باحثين علميين
دائرة البحوث الزراعية والبايولوجية - بغداد ص. ب. 765 - العراق

يحتاج تشخيص الأعراض الناتجة من ملوثات الهواء الى دراسة متأنية لمؤشرات عديدة بغض النظر عن ما يبدو لنا في بعض الأحيان من علاقة واضحة بين المسبب والأعراض المرئية. كما لايمكن إغفال حدوث أعراض مماثلة نتيجة لعوامل أخرى غير الملوثات.

ويكمن الحل الجوهري والأساسي لمشاكل التلوث على النباتات في السيطرة أو المراقبة الكاملة لمصادر التلوث، من خلال تطوير طرق السيطرة المركزية وسن التشريعات والقوانين الملزمة، لضمان صحتنا ونمو النباتات بشكل جيد، لتوفير متطلبات الأمن الغذائي من المحاصيل الإستوائية.

الهواء المُلوَّث

عُرف الهواء منذ زمن قديم بانه خليط من الغازات المحيطة بالأرض عديم اللون والطعم والرائحة. وعند الإمعان بهذا النص جيداً، نرى بأنه يعبر عن الهواء النظيف. لذلك، فإن تغير اية صفة سوف يحول الهواء الى هواء ملوث بغض النظر عن نوع او كمية او مصدر التلوث. ومما تجدر الإشارة اليه، انه من الصعب الإقرار بنقاوة الهواء بشكل كامل، فمستوى التلوث في كل البلدان آخذ بالزيادة مما حدى بأغلب الحكومات الى إصدار بعض التشريعات والقوانين بهدف وقف تلك الزيادة اولا، ومن ثم إختزال التلوث الى ادنى مستوى. إن المستويات الدنيا من تلوث الهواء لايمكن تحقيقها إلا إذا حدث تغير كبير وجذري في أسلوب حياتنا وسلوكنا، بدءاً من تنمية الوعي البيئي او الثقافة البيئية لإستيعاب مفهوم التلوث والعمل على تخفيف اضراره او منعه بشكل كامل.

مصادر التلوث

تساهم ما تطرحه معامل صناعة وسائط النقل المختلفة (معامل تكرير البترول الخام) بحدود 60٪ من تلوث الهواء، بينما تغذي مخلفات المصانع الأخرى ومحطات توليد الطاقة مايعادل 32٪ من التلوث، اما النسبة المتبقية (8٪) فتساهم بها المصادر الثانوية الأخرى. إن مصادر تلوث الهواء المذكورة عرضة للتغيير من مجتمع الى آخر، فهذه النسب قد تكون صحيحة في العديد من الدول الصناعية. أما في الدول النامية، فإن تلوث الهواء عادة مايكون

بمستويات عالية ومن مصادر مختلفة كعوادم المركبات والوقود المستخدم، إضافة الى ماتطرحه المعامل القديمة. وعلى الرغم من إختلاف مصادر تلويث الهواء، فإن الملوثات الصادرة من كل مصدر قد تسبب أضراراً متماثلة في الكمية على النبات. فعلى سبيل المثال، ان الملوثات الصادرة من معامل النقل والمواصلات والتي تشكل 60٪ من كمية التلوث، فإنها تحدث ضرراً على النباتات بمقدار 28٪ وقد تكون هذه النسبة مشابهة الى الضرر الناتج من التلوث الصادر من المصانع ومحطات توليد الطاقة (30٪، 26٪ على التوالي). وبغض النظر عن كمية التلوث ومصادره، فإن اكثر ما يواجه خبراء تلوث البيئة من حيرة مستمرة تكمن في ان الضرر الملاحظ على النباتا يعكس وجود مستوى عال من التلوث في الهواء. لذلك فعلى حماة البيئة الاينتظروا رؤية الأعراض على اي كائن حي، وإنما يسعون دائما الى معالجة التلوث اينما كانت لتوفي الحماية (Protection Process).

تشتت الملوثات في الهواء

يأخذ تشتت الأدخنة بعد إنطلاقها من مصادرها ثلاثة مجالات معروفة، هي التشتت العادي (المعتم) Overcast Dis-persion، والتشتت النهاري Dau-time Dispersion ، والتشتت الليلي Nightime Dispersion. فالأدخنة قد تتشتت بشكل سريع، لكنها عادة ماتبقى بإتجاه واحد بدون أي تذبذب في المسار، وهذا مايطلق عليه بالتشتت العادي. فعلى الرغم من حدوث تخفيف كبير للأدخنة بعد خروجها من مصادرها وتشتتها، إلا انها تنساب بصورة مستمرة فوق منطقة واحدة ولفترة طويلة. وقد يُكوّن السديم (هالة من الدخان) احماضا وقواعد تزيد من أضرار الملوثات على النمو الخضري. أما التشتت الذي يحصل أثناء النهار، فعادة ما يكون سريعا بسبب الدوامات وحركة الرياح، مما يؤدي الى حدوث إنسيابية غريبة في حركتها ومجالاتها، وبسبب هذه الإنسيابية التي يرافقها التخفيف المستمر، فإن أعرضا من النوع الخفيف Chronic Symptoms (تعرض مستمر لتراكيز منخفضة من التلوث) تكون سائدة على النباتات الواقعة في المنطقة. وكمقارنة بين كل ماتقدم ذكره عن التشتت وبين المسار الذي تاخذه الأدخنة في الليل، نجد ان التشتت الليلي يأخذ مساراً ضيقا جداً وبذلك تكون الملوثات ذات تركيزات عالية. وعلى الرغم من قلة فرص مرور هذا المسار من الملوثات فوق نباتات معينة، إلا ان تلك النباتات سوف تصاب بضرر كبير إن تعرضت الى هذه الموجة وحتى لفترات زمنية قليلة.

تشخيص أضرار تلوث الهواء على النباتات

إن تمييز الأعراض التي تسببها ملوثات الهواء على النباتات عملية مهمة وضرورية جداً، وذلك لتلافي الخطأ في التشخيص طالما ان هناك اعراضا مماثلة قد تسببها عوامل مختلفة سواء كانت حية Biotic او غير حية Abiotic. ومما تجدر الإشارة اليه، ان تشخيص أضراراً متسببة عن تلوث محدد على نبات معين لايخلو من صعوبة، لكن عملية إنتاج الدخان (Fumigation) غالبا ماتحدث اعراضا واضحة على النباتات تحت الظروف التجريبية، ولغرض تشخيص أضرار التلوث بشكل صحيح يتحتم علينا الإهتمام بالمؤشرات التالية :

١- مصدر تلوث الهواء

يجب الإهتمام بأنواع المعامل والمنشآت الصناعية في المنطقة مع المعرفة الكاملة للعمليات التصنيعية (Industrial Process-es) التي عادة ما تنتج أنواعا مميزة من الملوثات. أما إذا كانت الحقول الزراعية او النباتات المتضررة قريبة من مراكز المدن او المجمعات الصناعية، فإن تلك

النباتات سوف تتعرض الى خليط من الملوثات. ولغرض تشخيص مثل هذه الحالة، علينا البحث عن المؤشرات الأخرى.

2- المعالم الجغرافية والأرضية للمنطقة

طالما تتأثر حركة وإتجاه الريح بالتضاريس الأرضية، فإن دراسة العلاقة بين موقع الحقول المتضررة والمعالم الطوبوغرافية في المنطقة قد يساعد على الحد من بعض مصادر التلوث، وبالتالي تخفيض الضرر. فالنباتات المتعرضة لتراكيز عالية من الملوثات ولو لفترات قصيرة نتيجة لطبيعة المنطقة، سوف تتأثر بشكل كبير، مع عدم إغفال إمكانية التغيير غير الإعتيادي في إتجاه الرياح.

3- الظروف المناخية

يسبب الإنقلاب الحراري Thermal Inversion الذي يعزى الى وجود حركة هواء بارد تحت طبقة ثابتة من الهواء الدافيء سواء في الليالي أو الأيام الغائمة، ركوداً واضحاً في حركة الهواء مما يجعل الملوثات قريبة من مصادرها وبتراكيز عالية. كما أن هناك ظروف مناخية أخرى قد تؤثر بشكل كبير على قابلية الأنواع النباتية في تحمل أضرار التلوث، مثل نقص الأمطار وتذبذب درجات الحرارة وتغير الرطوبة النسبية.

4- الأنواع النباتية وتكشف الأعراض

على الرغم من أن إستجابة نبات معين لملوث محدد قد تكون مشابهة لإستجابات معظم النباتات لذلك الملوث، إلا أن درجة الضرر على الأنواع الموجودة (Species) بل حتى على أصناف النوع الواحد (Varieties).

5- الأعراض الناتجة من مسببات أخرى

هناك عدد من العوامل غير الحية كالجفاف ونقص العناصر والمبيدات، قد تسبب أعراضاً على النباتات تشابه بدرجة واخرى أعراض التلوث مثل الإصفرار والتبرقش وتحرق حافات الأوراق والبقع الميتة والذبول وموت الأنسجة. كما لايخفى علينا، ان بعض العوامل الممرضة الحية كالحشرات الثاقبة الماصة والفطريات والبكتريا والفايروسات، إضافة الى الديدان الثعبانية قد تسبب أعراضاً مرضية على النباتات تشابه بعض أعراض التلوث. لذلك، فإن عملية تشخيص الأعراض الخاصة بتلوث الهواء على الأنواع النباتية ليست عملية بسيطة، بل تتطلب دراسة متأنية وافية قبل إعطاء قرار التشخيص، لأن هذا القرار سيترتب عليه إتخاذ بعض الإجراءات الضرورية.

6- قياس المنطقة المتأثرة بالتلوث والضرر الحاصل على النباتات المجاورة

يجب فحص كل المنطقة المتأثرة بالتلوث، للتأكد من ان الضرر لم يحدث بسبب عوامل أخرى. فمن غير الممكن ان تتأثر بقعة صغيرة في المنطقة بالتلوث الهوائي، لأن أعراض هذا التلوث لابد وان تتكشف على نطاق جميع المنطقة، بل وحتى على بعض الأنواع النباتية الحساسة في الجوار. لذلك فوجود الأعراض على نباتات الجوار، قد يزيد من فرص نجاح التشخيص ويدعم النتائج التي تم التوصل اليها من خلال شمولية الأعراض على نباتات المنطقة ولو بدرجات متفاوتة، إعتماداً على تركيز الملوثات وفترة التعرض، إضافة الى حساسية الأنواع او الأصناف النباتية المتواجدة.

7- زمن وتركيز (جرعة) الملوثات

يمكن إعتبار التعرف على حجم التلوث وفترة التعرض ذات اهمية كبيرة في تشخيص الأضرار الناتجة. فقد اشارت دراسات عديدة، الى أن هناك إستجابات واضحة ومحددة من قبل عدد من الأنواع النباتية لمستويات معلومة من الملوثات. إن مثل هذه الدراسات المستمرة تشبه الى حد كبير دراسات المراقبة المتواصلة لمستويات ملوثات الهواء وإنعكاساتها على النباتات، وهي ضرورة ملحة في جميع الأوقات. ومع أهمية مثل هذه الدراسات إلا أن كلفة الأجهزة الخاصة بالكشف والمراقبة الدورية وضرورة بقائها لفترة طويلة، أدى الى نقص كبير في المعلومات الضرورية إنعكس في القصور الواضح في الدراسات الخاصة بمشاكل تلوث الهواء على المجموعة النباتية في وطننا العربي.

أنواع ملوثات الهواء

يمكن تصنيف ملوثات الهواء الى عدة فئات إعتماداً على الحالة أو الشكل الذي يظهر به ملوث الهواء. لذلك، فإن المكونات الرئيسية لملوثات الهواء تأخذ الأشكال التالية :

أ- الغازات Gases.

ب- الدخان Aerosols.

ج- الدقائق الصغيرة الصلبة Particulate or Solids.

إن الغازات والدخان من أكثر الملوثات المسببة للضرر على النباتات، اما الدقائق الصغيرة فإنها تسبب ضرراً قليلاً إلا إذا حدث تراكم كبير من هذه الملوثات على الأجهزة النباتية او عند حدوث إتحاد بين الجزئيات الصلبة مع الماء الموجود على سطوح الأوراق، مما يسبب إنتاج حوامض أو قواعد مضرة للأوراق.

ومما تجدر الإشارة اليه أن الملوثات عادة ماتميز إعتماداً على الطبيعة الكيميائية كما يلي :

Sulfur dioxide (SO2)
Ozone (03).
Nitrogen Oxides (NOx). {No, NO2)
Halogens (Cl, Fl).
Hydrocarbons.
Peroxyacyl Nitrates (PANs)

تكشف أعراض التلوث على النباتات

إن أعراض التلوث على النباتات قد تتكشف على شكلين إما أعراض حادة / شديدة (Acute) أو اعراض خفيفة ومزمنة (Chronic). ويعتمد تكشف هذين النوعين على تركيز الملوثات وفترات التعرض. فالتعرض لمستويات عالية من الملوثات ولو لفترات قصيرة يسبب أعرضا حادة على النباتات. وتتميز الأعراض الحادة بوجود المناطق الميتة وقد يحدث أن تموت كل الورقة او حتى النبات، كما تتميز النباتات بالتقزم. إن مثل هذه الأعراض متواجدة بشكل واضح في المناطق المعرضة للأبخرة والمداخن.

أما النوع الخفيف من الأعراض (Chronic Symptoms)، فإنها تتكشف ولفترة طويلة. وتشمل الأعراض الحالات التالية :

الإصفرار Yellowing، التبرقش Stippling، التقزم Dwarfing، مع حدوث بعض التأثيرات السلبية على النمو.

ملوثات الهواء الرئيسية وأعراضها على النبات

إن ملوثات الهواء على إختلافها تسبب خسائر سنوية على معظم الأنواع النباتية بإحداث الجروح المرئية على الأوراق او تأثيرها على النمو، وإن لم تظهر علامات مرئية على تلك النباتات. وقبل الحديث عن الأعراض التي يمكن أن تعبر عن إستجابة النبات للملوثات، لابد من الإشارة الى ان الملوثات اما أن تكون اولية تطرح بأشكال سامة مثل ثاني اوكسيد الكربون (SO_2) او ملوثات ثانوية مثل الأوزون (O_3) و (Peroxyacl PAN Nitrates)، حيث تنتج من التفاعل الكيميائي الضوئي (Photochemical Reaction) بين اكاسيد النيتروجين والهايدروكاربونات بوجود ضوء

الشمس كما في المعادلة ذات الإتجاهين:

$$O_3 + NO \xrightarrow{\text{ضوء الشمس}} NO_2 + NO_2$$

ولمزيد من المعرفة بهذا الموضوع الحيوي، سوف نتناول الملوثات الرئيسية والتي تشمل CH2CH2 - PANs - NOx - Fl - Cl - O3 - So2 والغبار Dust من حيث مصادرها والأضرار التي تسببها على النباتات مع الأعراض بنوعيها الحادة (Acute) والمزمنة (Chronic).

١- ثاني أوكسيد الكبريت

مصادر التلوث: تعتبر الفعاليات التالية من أهم مصادر تلوث الهواء بثاني أوكسيد الكبريت.

1- إحتراق الوقود الحجري.
2- مصانع إنتاج حامض الكبريتيك H_2SO_4
3- مصانع إنتاج وصناعة الحديد.
4- محطات توليد الطاقة.
5- إنتاج وتصنيع الغاز الطبيعي.
6- إستغلال وإستعمال المركبات الحاوية على الكبريت.
7- معامل تصفية نواتج النفط الخام (المصافي).
8- فعاليات صهر المعادن.

الأعراض المزمنة لثاني أوكسيد الكبريت

إن تعرض عدد من الأنواع النباتية لمستويات قليلة من ثاني أوكسيد الكبريت الخارجة من المداخن يسبب درجات مختلفة من تلوث الأوراق تتراوح من الأصفر الشاحب أو الأبيض الى اللون الأحمر، كما يُسبب هذا النوع من التعرض تبقرش او تعدد ألوان الأوراق (Leaf mottling) مصحوب بإصفرار (Chlorosis)، مع فقدان في النمو قد يعكس النقص الحاصل في مظهر الأوراق. ففي المخروطيات (Conifers)، تظهر الأعراض المزمنة على الأوراق الإبرية (Needle) خلال العام الأول من عمرها على هيئة إصفرار وموت الأنسجة، مع إختزال في أطوالها وأحيانا الى فقدانها. ونتيجة لأهمية المتغيرات أو الخلفية الوراثية في المخروطيات، فقد وجد بأن بعض الأنواع تظهر عليها أعراض مزمنة وأحيانا أعراض حادة على الرغم من تعرضها الى تراكيز منخفضة جداً (Sublethal Conc.). أما في الذرة الصفراء وخاصة الأنواع الحلوة (Sweet Corn)، فإن ثاني أوكسيد الكبريت يحدث جروحا على جميع الأوراق بغض النظر عن أعمارها. إن هذه الجروح غالبا ماتكون على هيئة موت رجعي (Die Back)، مع أعراض الشيخوخة المبكرة في الأوراق (Premature Sen-scence). ومما تجدر الإشارة اليه، أن المستوى السمي على النباتات يتراوح من 0.3 الى 0.5 جزء بالمليون. ويعتبر كل من الجت والمخروطيات (Voilet Conifers) والبازلاء والقطن والفاصوليا، من المحاصيل الحساسة لهذا التلوث.

الأعراض الحادة لثاني أكسيد الكبريت

تتكشف الأعراض الحادة على هيئة تحرق شديد على الأوراق مع وجود فاصل بين المنطقة المتأثرة وبقية الأنسجة، ويمكن ملاحظة ذلك في تحرق أطراف الأوراق الإبرية في مجموعة المخروطيات حيث تتلون تلك الأطراف بلون برتقالي. إن تعرض نبات الأوراق العريضة الى هذا المستوى من

التلوث، يسبب تحول لون الأنسجة المتأثرة الى اللون الأبيض مع تطور بقع ميتة Necrotic Spots وإحتمال موت كل انسجة الورقة. إن الأعراض الأكثر شيوعا عادة ما تحدث على السطوح العليا للأوراق، وأن الأوراق الحديثة تكون اكثر حساسية الى ثاني اوكسيد الكبريت، وقد لوحظ أن النباتات التي تعيش في ظروف إجهاد مائي (Water Stress) ذات تحمل اكثر للملوثات. ويساهم هذا الملوث بشكل كبير في إحداث أضرار بالغة على أشجار الغابات، من خلال اكاسيد الكبريت ذات العلاقة باكسدة الكبريت، وكذلك بالحوامض والأملاح الحامضية المتكونة. كما قد تتحد هذه المركبات الحاوية على الكبريت مع ملوثات اخرى، لتسبب جروحا على النباتات تفوق في ضررها جروح كل مركب على حدة (Synergic Effect)، وكذلك قد تتكون كميات مضرة من حامض الكبريتيك نتيجة لوجود مستوى عالٍ من الملوث SO_2. مع إرتفاع في

أعراض الحروق الحامضية على أوراق بعض الأشجار

الرطوبة النسبية الموجودة على سطح الأوراق. إن الجروح المتسببة تحت هذه الظروف، عادة ما تنتشر بشكل واقع في المنطقة المتأثرة، وبذلك فإن معظم الأنواع النباتية المتواجدة في المنطقة قد تتأثر. وتشمل أعراض هذا النوع من التعرض، سفحة الأوراق Leaf Scorch التبقعات Spotting، تساقط الأوراق Defoloation، وحتى موت النباتات.

الأوزون

يعتبر الأوزون احد المكونات الطبيعية في الجو حيث يتواجد على شكل طبقة تحيط بالكرة الأرضية على إرتفاع 18.5 كليومتر، وعلى الرغم من أهمية هذه الطبقة على ديمومة الحياة، إلا ان الخطورة تكمن في تواجد تراكيز عالية من هذا الملوث في الطبقات السفلى من الجو نتيجة للعوامل التالية :

أ- التفاعل الكيميائي الضوئي لبعض أكاسيد النيتروجين والهايدروكاربونات في وجود ضوء الشمس.

ب- عمليات الإحتراق في معامل تنقية الزيوت.

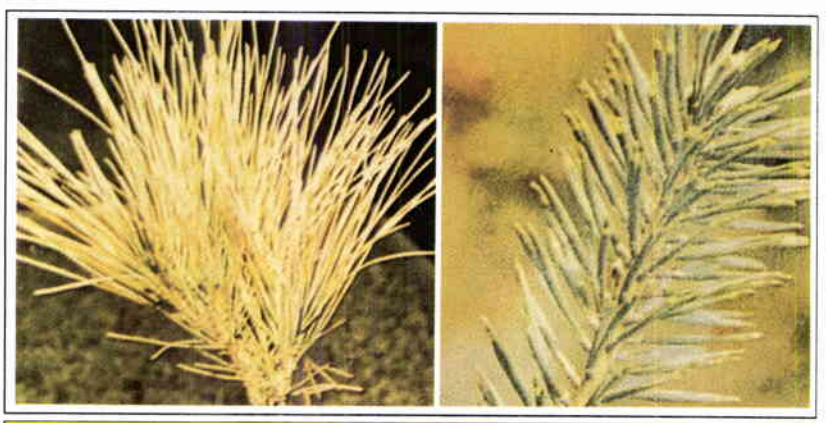
ج- عوادم المحركات.

د- التدفق الكهربائي المفاجيء في الجو (الصواعق).

هـ- مصادر ثانوية اخرى وخاصة بعض تلوثات المصانع المختلفة.

الأعراض المزمنة للأوزون

يمثل التنقيط على الأوراق (Leaf Stipple) بغض النظر عن الألوان، اكثر الأعراض شيوعا على النباتات المتعرضة الى مستويات منخفضة من الأوزون. اما إختلاف الألوان، فإنه يعتمد على إستجابة الأنواع النباتية لهذا التلوث. فقد تكون البثور Flecks وردية او صفراء شاحبة او بيضاء مرافقة الى اللون الأخضر المبرقش، ومما تجدر الإشارة اليه أن جميع هذه الأعراض تتكشف



الأعراض المزمنة الحادة للملوث SO_2

على سطوح الأوراق العليا فقط. وعلى الرغم من عدم تأثر الأنسجة الموجودة بين البثور، فإن هناك بعض المؤشرات على حدوث خسارة في كلٍ من النمو والنوعية، إضافة الى شيخوخة الأوراق المسنة وإحتمال سقوطها خاصة في فول الصويا.

الأعراض الحادة للأوزون

إن الجروح الحادة الناتجة عن الأوزون عادة ماتكون مشابهة لتلك الجروح الناتجة عن ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2)، مع ظهور بقع ميتة بعد حدوث تجعد خلوي (Cellular Collapse) على كل أعمار الأوراق. كذلك ينتج عن التعرض لمستويات عالية من الأوزون، تحرق حافات واطراف الأوراق. فالمساحات غير المنتظمة للأعراض، قد تكون صفراء مسمرة (دبغية اللون) او بيضاء تتطور الى لون بني غامق، مع وجود خطوط دقيقة فاصلة بين الأنسجة المتأثرة والسليمة.

ففي مجموعة المخروطيات (Conifers)، يسبب الأوزون تحرق متماثل لكل الأوراق الإبرية يبدا من موقع واحد في الحزمة (Needle banding)، وذلك لأن هذه الأوراق قد تأثرت بالملوث خلال مراحل خروجها من الأغلفة. وقد تحدث بعض الأعراض كبقع مائية المظهر على الأوراق، تمثل مرحلة مؤقتة لما يتبعها من تلون الأنسجة المتأثرة.

اما في أشجار الخشب الصلب (Hardwood Trees) فبعد حدوث التجعد في بقع مختلفة على الأوراق، فإن هذه البقع تتحد فيما بينها كنتيجة لتطور الأعراض، مما يعطي الأوراق اللون البرونزي وفي بعض الأحيان اللون الوردي. وتعزى هذه الإختلافات في لون الأنسجة المتضررة، الى كمية او شدة الضرر الحاصل. إن تعرض النباتات لهذا الملوث، قد يسبب ظهور كل من الأعراض المزمنة والحادة على اوراق نفس النباتات، ففي أشجار الأوراق العريضة تسبب التراكيز العالية موت سطوح الأوراق العليا والسفلى، مع تساقط تلك الأوراق.

وفي الذرة الصفراء، فإن الذرة الحلوة كذلك اكثر حساسية للملوث من الذرة الإعتيادية. وتتراوح الأعراض من بقع خضراء مسمرة، الى اللون الرمادي ذات مظهر مائي. ومما تجدر الإشارة اليه، أن الأوراق القديمة تتأثر في منطقة القاعدة، أما الأوراق التي تليها في القدم (الأعلى) فتظهر أعراض التلوث في وسط الأوراق الحديثة وقد تظهر الأعراض على أطرافها. وبشكل عام، فإن حواف الأوراق في الذرة الصفراء تكون من أكثر المناطق المعرضة لجروح التلوث. واخيراً فإن أعراض التلوث بالأوزون، قد تختلط في التشخيص مع اضرار بعض الحشرات الثاقبة الماصة والحلم mite، وجروح كل من الكلور او الفلور، إضافة الى الشيخوخة الطبيعية. ويعتبر كل من التبغ والفاصوليا وفول الصويا وجميع

أعراض التلوث بالأوزون على التبغ والحور والذرة الحلوة

محاصيل الحبوب والجت (الفصة) والبتونيا والصنوبر والحمضيات والذرة الصفراء، امثلة جيدة للأنواع الحساسة لهذا الملوث.

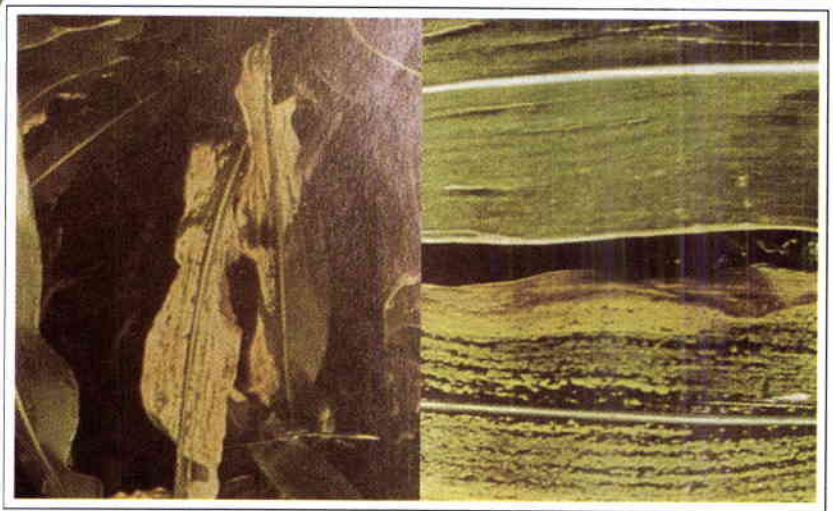
3- الهالوجينات

الكلور Cl ، تكمن مصادر هذا التلوث في المعامل المخصصة لتبييض لقصر الألوان (Colour Bleaching) معامل تصنيع الكلور، مراحل عديدة من عمليات تصنيع الزجاج، واخيراً عمليات إحراق انواع معينة من المواد البلاستيكية كما في حرق النفايات.

الفلور Fl ، تطرح معامل صهر المعادن وإنتاج الأسمدة الفوسفاتية وصهر الألمونيوم، إضافة لمعامل السيراميك، وتعتبر الحالة الغازية لهذا الملوث الأكثر ضرراً على النباتات لسهولة اخذه عن طريق الثغور.

الأعراض المزمنة للهالوجينات

تتكشف الأعراض على هيئة مناطق خضراء مغبرة (Dull green)، او مناطق مائية عند حافات اوراق بعض الأنواع النباتية. فالكلور، يحدث خطوط من الأنسجة الميتة ذات لون أسمر مائل للصفرة (Tan) في الذرة الصفراء. والأوراق القديمة والمتوسطة اكثر، حساسية للكلور من الأوراق الحديثة، وعند تعريض الذرة الصفراء وخاصة الحلوة الى



أعراض تلوث الهواء بالفلور أو الكلور على الذرة الحلوة

الفلور، فإن الإعراض تكون على هيئة تبرقش مصفر او بثور (Flecks) على طور حافات الأوراق، إضافة الى اطرافها. كذلك تتطور بقع صفراء صغيرة غير منتظمة مابين العروق، قد تشكل بإستمرار حزم صفراء.

الأعراض الحادة للهالوجينات

إن اضرار الهالوجينات على النباتات، دائما ما تعكس تاثير مركبات الفلور لسهولة اخذه من قبل النباتات. ولسميته العالية، فقد وجد بأن الفلور اكثر ضرراً على النمو الخضري مقارنة بنفس الكمية من السموم النباتية. ومن بين مركبات الفلور المطروحة للجو المركبات الغازية لفلوريد الهيدروجين (HF)، ورابع فلوريد السليكون Slicon Tetrafluorides وهي الأكثر ضرراً وإحداثا للجرح من الفلور الدقيقي Particulate Fluoride.

وتبدو اعراض التعرض على المخروطيات باشكال مختلفة نتيجة لتراكم الفلوريد عبر فترة طويلة، فالأعراض الحادة تبدو على الأوراق الابرية حيث التلوث باللون البني مع كون الأوراق القديمة اكثر تحمّلا الى ملوثات الفلوريد، بينما الأوراق الحديثة حساسة لكل من التعرض المزمن والحاد.

اما في اشجار الأخشاب الصلبة (Hardwood)،فإن بادرات الأنواع المتساقطة (Deciduous) وبعد إمتصاصها للفلور فإنه يتراكم على الحواف وقمم الأوراق ويظهر على شكل لون اصفر او يتجه نحو الأسفل. وبقدر مايحدث من موت للأشجار الحساسة عند تعرضها لمستويات عالية من الفلور، فإن التركيزات تحدث تحفيزاً في نمو الأشجار الأكثر تحملا لهذا الملوث، ووجود 0.2-0.1 جزء بالبليون من الفلور او 0.1 جزء بالمليون من الكلور في الهواء يجعل كلاهما ساما للنبات.

وعلى الرغم من إحتمالية الخلط في تشخيص الأعراض مع الحروق أو السفعة الحرارية (Heat scorch) جروح الجفاف واضرار وجود مستوى عال من الملوحة في التربة، فإن بعض الأنواع النباتية تظهر عليها شبكة من الأنسجة الميتة مابين عروق الأوراق. واخيراً، فإن جميع الأعراض المزمنة قد تتحول الى أعراض حادة عند إرتفاع درجة الحرارة.

4- أكاسيد النيتروجين

تشمل قائمة مصادر هذا النوع من الملوثات كل من عوادم المركبات ومصانع حامض النتريك (HNO_3)،إضافة الى عمليات إحتراق الوقود الحجري. وعلى الرغم من ندرة تمكن هذه الملوثات في إحداث جروح مباشرة على النباتات، فهي تلعب دوراًهاما واساسيا في تكوين الأوزون Per-oxyacyl Nitrates.

إن الأعراض التي قد تحدثها اكاسيد النتروجين، تكون مماثلة لتلك الأعراض الناتجة عن ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2). ومما تجدر الإشارة اليه، ان التركيز السام في الهواء يتراوح من 0.3 الى 0.5 جزء بالمليون. وتشير الدراسات، الى أن محاصيل الطماطم والفاصوليا من اكثر الأنواع النباتية حساسية لهذه الملوثات.

وتعد العلاقات التي تحدث بين ملوثات الهواء، مثالا جيداً للظاهرة المعروفة بالتآزر (Synergism)، حيث تتفاعل بعض الملوثات الموجودة في الجو لإنتاج ملوث جديد ذو تأثير مضاعف على النباتات. فإتحاد اثنان من المكونات التي تطرح للهواء من عوادم السيارات وهما اكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات وبوجود الأشعة فوق البنفسجية في أشعة الشمس، ينتج عنه ملوث جديد خطر جداً على كل الكائنات الحية ومن ضمنها النباتات ويدعى بالضبخن (Smong) وهو مزيج من الضباب والدخان. إن هذا الملوث المعروف بـ Photo-chemical Smog يتالف من الـ PAN والأوزون. فالأوزون يزيد من سرعة تنفس الأوراق، بينما يعيق الـ PAN التفاعل المعروف بتفاعل هل (Hill Reaction) في عملية التركيب الضوئي، وبذلك تتضرر النباتات كنتيجة لتعطل عملية إنتاج الغذاء.

الأعراض المزمنة لأكاسيد النيتروجين

تسبب المستويات المنخفضة من الـ PAN تحجيم نمو النباتات مصحوب بإصفرار خفيف على سطوح الأوراق العليا. كما قد تتطور بعض الأعراض على هيئة حزم صفراء فاتحة عبر الأوراق المتعرضة لهذا التلوث.

الأعراض الحادة لأكاسيد النيتروجين

إن تمييز الأعراض الحادة عن الجروح الناتجة من التعرض لتركيزات منخفضة، يكون صعبا بدون ملاحظة التلون البرونزي للسطوح السفلى للأوراق. ويحدث تلوث فضي او برونزي على اوراق العديد من المحاصيل بشكل مباشر بعد 24-72 ساعة من

أعراض التلوث بالضبخن Smog (PAN) على الخس (يميناً) والشعير (يساراً)

التعرض الى PANS، كذلك يمكن ملاحظة تجعد أو موت الأنسجة التالية للتلون بعد ذبول الأنسجة المتعرضة للتلوث.

تتحول الأنسجة المتجعدة الى لون أبيض او بني، وقد لايحدث التلون الأبيض او البرونزي إذا كان تركيز الملوثات عالٍ جداً. وتشير الدراسات، الى أن النباتات الحديثة تكون أكثر حساسية لـ PNAs مقارنة بالنباتات القديمة. وتعتبر محاصيل السبانغ والبتونيا والطماطم والخس والداليا الأكثر حساسية.

الإيثيلين

يظهر هذا الملوث في الهواء من مصادر عديدة منها المركبات، عودام مكائن الإحتراق، مصانع البولي إثيلين، الإضاءة الإصطناعية بإستخدام الغاز، إضافة الى كونه ناتج عرضي للعمليات الأيضية في النباتات (Metabolic Processes). وبذلك فالإثيلين، يعمل كمحور للهورمونات النباتية ومنظمات النمو.

الأعراض المزمنة للإثيلين

تسبب المستويات المنخفضة من الأثيلين تدلي الأوراق والأزهار نحو الأسفل لعدد كبير من الأنواع النباتية، وتأخذ الأجزاء المتدنية شكل الأكواب المقلوبة، لذلك يطلق على هذه الحالة بـ (Downword Cupping)، كما قد تتكشف حالات

أعراض التلوث بالإيثلين على أزهار الأوركد

تأخر النمو وتساقط الأوراق على النباتات المتأثرة.

الأعراض الحادة للإثيلين

إن أكثر الأعراض شيوعا هي تقزم النباتات المتعرضة لهذا الملوث، إضافة الى تشوهات في الأوراق وبوادر شيخوخة مبكرة، ولوحظ من دراسات عديدة أن الإثيلين يسبب تحرق الأزهار وإختزال أعدادها، أما على الثمار فقد تظهر بقع ميتة غائرة ذات الوان داكنة.

الغبار

بشكل عام، فإن معظم مراحل المعامل الصناعية كالمقاطع وعمليات سحق الصخور وإنجراف التربة، وما تطرحه عوادم العجلات ذات الحركة وعمليات الحرق غير الكاملة للوقود الحجري، وكذلك حبوب اللقاح هي من أحسن مصادر هذا الملوث. وقد لاتسبب هذه الدقائق أضراراً كبيرة على النباتات، إذا توفرت فرص عديدة لغسل تلك الدقائق بواسطة الأمطار. وعلى عكس ذلك، فقد يحدث تمازج جيد بين الغبار المتراكم مع الرطوبة الموجودة على الأوراق، مما يؤدي الى تكوين الأحماض أو القواعد. لهذا فإنه، من النادر تكشف أعراض الحالة الأولى بسبب المستوى المنخفض والغسيل المستمر، بينما تتكشف بقع ميتة بسبب الضرر الحاصل من تكوّن الحامض أو القاعدة على الأوراق.

تأثير العوامل البيئية على كشف أعراض التلوث

على الرغم من أن جميع الملوثات المذكورة في هذه الدراسة تؤثر على البيئة، إلا أنها قد تتأثر ببعض العوامل البيئية من ناحية كشف الأعراض على الأنواع النباتية، وذلك كما يلي :

1- يؤدي إنخفاض درجات الحرارة ليوم واحد أو عدة أيام قبل التعرض الى إختزال الحساسية.

2- تتأثر حساسية الأنواع النباتية بدرجة نضج الأنسجة النباتية.

3- تميل النباتات النامية تحت الظروف المدرجة ادناه لإحتواء أعراض مماثلة لأعراض التلوث، وهي :

جدول (1) إستجابة الأنواع النباتية لملوثات الهواء

إسم المحصول		ملوثات الهواء					
		CL	E	F	O_3	PAN	So_2
أ- محاصيل الحبوب	**Cereals**						
الحنطة (القمح)	Wheat	-	-	R	S	R	S
الشعير	Barley	-	-	S	S	-	S
الذرة الحلوة	Sweet Co	-	R	S	S	-	-
ب- المحاصيل الصناعية	**Indus. Crops**						
القطن	Cotton	-	S	R	R	R	S
التبغ	Tabacco	-	-	-	S	S	-
زهرة الشمس	Sunfower	S	S	-	-	S	S
البنجر السكري	Sugarbeet	-	R	-	S	S	S
فستق الحقل	Peanut	-	-	-	S	-	-
ج- محاصيل الأعلاف	**Forage Crop**						
الجت (برسيم مجازي)	Alfalfa	S	-	S	S	S	S
البرسيم	Clover	-	R	-	S	-	S
د- الخضروات	**Vegetables**						
الباقلاء	Broad Beam	-	-	-	-	-	S
الجزر	Carrot	-	-	-	S	-	S
الكرفس	Celery	-	-	-	S	S	-
اللهانة (الكرنب والملفوف)	Cabbage	-	R	-	S	R	-
اللوبيا	Cowpea	-	S	-	-	-	-
الخيار	Cucumber	S	S	-	R	R	R
الباذنجان	Eggplant	-	-	-	S	-	S
الخس	Lettuce	-	-	-	-	S	S
البطيخ	Muskmelon	-	-	-	S	S	-
الباميا	Okra	-	-	-	-	-	S
البصل	Onion	S	R	-	S	R	R
البزاليا (البسلة)	Pea	-	-	S	S	-	-
السنجر (الكوسة)	Squash	-	-	R	S	-	S
بطاطا حلوة	Sweet potato	-	S	S	S	-	S
الطماطم	Tomato	S	S	R	S	S	S
الفلفل	Pepper	-	S	-	-	S	S
الشوندر (البنجر)	Table Beet	-	R	-	S	S	S
هـ- الفاكهة	**Fruits**						
الحمضيات	Citrus	-	-	S	S	-	R
التفاح	Apple	S	-	S	-	-	S
العنب	Grape	S	-	-	S	-	-
المشمش	Apricot	-	-	S	S	-	S
الخوخ	Peach	S	-	S	S	-	S
الكمثرى	Pear	-	-	-	-	-	S
و- أشجار الغابات	**Forest tree**						
السرو	Tuniper	S	-	R	R	-	-
التوت	Mulberry	S	-	S	-	-	S
البلوط	Oak	R	-	-	S	-	-
الجوز	Pecan	-	-	-	-	-	S
الصنوبر							
	Austrian	-	-	-	-	-	S
	Jack	S	-	-	-	-	S
	Ponderosa	-	-	-	S	S	S
	Scotch	-	-	-	S	-	-
	White	S	-	-	S	-	-
الحور	Poplar	-	-	S	-	-	S

(R) : مقاوم، (S) : حساس (-) أعراض مزمنة خفيفة.

أ- مستويات منخفضة من التسميد والخصوبة.

ب- وجود إجهاد الجفاف على النباتات.

ج- وجود إصابات للحشرات الثاقبة الماصة.

د- وجود المسببات الممرضة على سطوح أوراق النباتات.

هـ- الإستعمال السيء للمبيدات المختلفة.

4- الصفات الوراثية للأنواع النباتية وحتى الأصناف ضمن النوع الواحد التي تؤثر على مقدار إستجابتها للملوثات.

طريقة درء الضرر الناتج من تلوث الهواء

بما أن الجروح التي تم إستعراضها ناتجة عن عوامل غير حية، فمن غير الممكن إستعمال أي برنامج مكافحة. وقد أشارت الدراسات الأولية الى إمكانية إستعمال بعض المواد الأرضية في منع أو تخفيف الأعراض الناتجة من تلوث الهواء. ونتيجة لوجود إستجابات مختلفة بين الأنواع النباتية، فإن العامل الوراثي قد يتحكم بهذه الإستجابات، ولذلك يفضل إختيار الأصول الجيدة المقاومة للتلوث عند القيام بعمليات الإكثار سواء بالقطع أو التطعيم أو إستعمال البذور. ومما تجدر الإشارة اليه ان النباتات التي تعاني من الأعراض الخفيفة عادة ما تكون ضعيفة وأكثر حساسية للإصابة بالمسببات الممرضة والحشرات، كما لابد من الإشارة الى إمكانية تخفيف أضرار التلوث على الأشجار، من خلال الإستعمال المنظم للماء والأسمدة للمحافظة على نضارة النباتات. ومن ناحية أخرى، يتحتم علينا دراسة مواقع زراعة المحاصيل الإستراتيجية وخاصة الحساسة للتلوث، لضمان عدم تاثرها بالملوثات الصادرة من مراكز المدن الكبيرة وخاصة المدن الصناعية.

ولمزيد من المعلومات التي يمكن أن تساهم في تجنب تعرض الأنواع النباتية لمختلف الملوثات، ندرج في جدول (1) إستجابات بعض المحاصيل الإقتصادية للملوثات.

المصادر

1- Anonymous. (1969). Air Pollution Primer. National Tuberculosis and Respiratory Diseases Association. Newyork, N. Y.pp. 104.

2- Darly, E.F. and Middleton, J.T. (1966), Problems of Air Pollution in plant pathology. Ann. Rev. Phtopathol. 4:103-118.

3- Davis, D.D. (1973), Air Pollution Damages Trees. USDA, US for Ser. US Govt. printing off. Washington, D.C. 20402. 32p.

4- Heck, W.W. (1968). Factors influencing expression of oxidant damage to plants. Ann. Rev. Phytopathol 6:165-188.

5- Heggestad, H.E. (1968). Diseases of crops and ornamental plants incited by air pollutions. Phytopathology. 58:1089-1097.

6- Heggestad, H.E. and Heck, W.W. (1971). Nature, extent and variation of plant response to air pollutions. Advances in Agronomy 23:111-145.

7- Howell, R.K. Devine, T.E. and Hanson, C.H. (1971). Resistant of selected alfalfa strains to ozone. Crop Sci. 11:114-115.

8- Leon, S. D. and Jensen, K.F. and (1975). Air pollution in Forest Nursery Diseases in USA. pp 107-113, Agriculture Handbook No. 170. (1975) ed. by Peterson, G.W and Smith, R.S.

9- Thompson, C.R.; Kates, G.; Pippen, E.L. and Isom, W.H. (1976). Effect of Photochemical air pollution on two varieties of alfalfa. Environ. Sci. Technol. 10:1237-1241.

10- Treshow, M. (1970). Environment and Plant Response. McGtaw-Hill Book Co. N.Y. 422P.

11- Wood, F.A. (1968). Sources of plan pathogenic air pollution. Phytopathology 58:1075-1084.