

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر

أنواع الملوثات

يتلوث الهواء فى بعض المناطق ببعض المركبات التى تضر بالمزروعات ومن أوسع هذه المركبات انتشاراً وأكثرها ضرراً : غاز ثانى أكسيد الكبريت ، والأوزون ، وبدرجة أقل : غازات وأبخرة الكلور ، والأمونيا ، وحامض الأيدروكلوريك ، وبعض الغازات الأخرى الأقل أهمية : مثل الفلوريد ، والإيثيلين ، وثانى أكسيد النيتروجين . وقد قُدر أن ما يقرب من ١٢٥ مليون طن من ملوثات الهواء تنطلق سنوياً فى أجواء الولايات المتحدة الأمريكية وحدها . وهذه الملوثات تشمل : أول أكسيد الكربون بنسبة ٥٢ ٪ ، وأكاسيد الكبريت بنسبة ١٨ ٪ ، والهيدروكربونات بنسبة ١٢ ٪ ، وجزيئات مكونة للدخان بنسبة ١٠ ٪ ، وأكاسيد نيتروجين بنسبة ٦ ٪ . ويرجع نحو ٦٠ ٪ من هذه الملوثات إلى وسائل النقل ، وخاصة السيارات ، و ١٩ ٪ للصناعة ، و ١٢ ٪ لمحطات توليد الطاقة ، و ٩ ٪ لأعمال التدفئة و حرق المخلفات (جانيك ١٩٨٥) ويكثر الإيثيلين بالقرب من المناطق الصناعية ، وغاز الفلور بالقرب من مصانع الألومنيوم ، والزجاج ، والسوبر فوسفات .

وبالرغم من وجود هذه الملوثات بتركيزات منخفضة فى الهواء ، إلا أن النباتات عليها أن تتعامل مع كميات كبيرة جداً من الهواء - بكل ما يحمله من ملوثات - لكي تحصل على حاجتها من غاز ثانى أكسيد الكربون . فيقدر - مثلاً - أنه لإنتاج محصول جيد من الذرة (حوالى ١٠٠ بوشل للفدان) فإن النباتات يجب أن تحصل على عشرة أطنان من غاز ثانى أكسيد الكربون . وللحصول على هذه الكمية .. فإنها يجب أن

تتعامل مع ٣٣٥٠٠ طن من الهواء . وتعرض النباتات أثناء ذلك لأخطار التعرض لمختلف المركبات التي تلوث الهواء الجوى (عن Ball ١٩٨٥) .

تقسيم محاصيل الخضر حسب حساسيتها لملوثات الهواء الجوى

تختلف الأنواع النباتية كثيرا فى مدى حساسيتها لمختلف ملوثات الهواء . ويبين جدول (١٠ - ١) هذا التباين بالنسبة لمحاصيل الخضر . يفيد التقسيم المبين بالجدول فى اختيار الأنواع المحصولية المناسبة للزراعة فى المناطق التى يزيد فيها تركيز تلك الملوثات (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

جدول (١٠ - ١) : تقسيم محاصيل الخضر حسب حساسيتها للمركبات التى تلوث الهواء الجوى .

الخضروات			
المركب	حساسة	متوسطة	قادرة على التحمل
الأوزون	الفاصوليا - البروكولى - البصل - البطاطس - الفجل - السبانخ - الذرة السكرية - الطماطم - القارون	الجزر - الهندباء - البقدونس - الجزر الأبيض - اللفت	البنجر - الخيار - الخس
ثانى أكسيد الكبريت	الفاصوليا - البنجر - البروكولى - كرنب بروكسل - الجزر - الهندباء - الخس - البامية - الفلفل - القرع - العسل - الفجل - الروبارب - السبانخ - الكوسة - البطاطا - السلق - السويسرى - اللفت	الكرنب - البسلة - الطماطم - القنبيط - الباذنجان - البقدونس	الخيار - البصل - الذرة - السكرية - الكرفس - القارون
الفلور	الذرة السكرية	الهليون - الكوسة - الطماطم	
PAN	الفاصوليا - البنجر - الكرفس - الهندباء - الخس - المسترد - الفلفل - السبانخ - الذرة السكرية - السلق - السويسرى - الطماطم	الجزر	البروكولى - الكرنب - القنبيط - الخيار - البصل - الفجل - الكوسة
الإيثيلين	الفاصوليا - الخيار - البسلة - اللوبيا - الجزر - الكوسة - البطاطا - الطماطم	الجزر - الكوسة	البنجر - الكرنب - الهندباء - البصل - الفجل
الكلور	المسترد - البصل - الفجل - الذرة السكرية	الفاصوليا - الخيار - اللوبيا - الكوسة - الطماطم	الباذنجان - الفلفل
الأمونيا	المسترد		الطماطم

الاضرار التى تسببها ملوثات الهواء للمحاصيل الزراعية

اضرار الاوزون

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يتكون الأوزون (O₃) - أساساً - نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأوكسجين وهيدروكربونات قابلة للتفاعل ، والتى تنتج - أساساً - من حالات الاحتراق غير التام فى الحرارة العالية ؛ مثل عادم السيارات ، وسخانات المباني والبيوت المحمية . ولا يعد وجود الهيدروكربونات ضروريا لإنتاج الغاز ، ولكن وجودها يزيد من تراكمه فى الهواء .

تُحدَث تركيزات منخفضة من الأوزون - تتراوح بين ٠,٠٥ و ٠,١٢ - حجماً فى المليون (٥ - ١٢ جزءاً فى كل ١٠٠ مليون) - لمدة ساعتين إلى أربع ساعات - أضراراً كبيرة لمعظم الأصناف الحساسة من بعض المحاصيل الزراعية . ويتواجد هذا التركيز - بالفعل - صيفاً فى أجواء بعض المناطق من العالم ، وفى بعض أجزاء من الولايات المتحدة ؛ حيث يتراوح تركيزه بين صفر و ٠,٥ جزءاً فى المليون .

اعراض التعرض للأوزون

إن الأعراض العادية للإصابة بالأوزون هى ظهور بقع صغيرة غير منتظمة الشكل ، لونها بنى داكن يميل إلى السواد ، أو رصاصى فاتح يميل إلى البياض على السطح العلوى للأوراق . وتعد الأوراق الصغيرة جداً والمسننة قادرتين على تحمل الأوزون ، بينما تعد الأوراق التى أكملت نموها حديثاً شديدة الحساسية . وتظهر الإصابة غالباً على قمة الورقة ، وعلى امتداد حافتها . ومع اشتداد الإصابة قد تمتد الأعراض إلى السطح السفلى للورقة . وأكثر خلايا الورقة تأثراً بالغاز هى خلايا النسيج العمادى تحت البشرة العليا للورقة .

تعد الفاصوليا من أكثر المحاصيل حساسية وتضرراً من هذا الغاز ؛ حيث قدر متوسط الانخفاض فى محصول الأصناف الحساسة من جرّاء التعرض لتركيز ٠,٠٤ -

٠,٠٦ حجمًا في المليون من الغاز لمدة ٧ ساعات يومياً بنحو ١٠ - ٢٦ ٪ . كما يحدث التعرض للغاز نقصاً في معدل النمو النسبي للنباتات ، ومعدل النمو المطلق ، وإنتاج القرون ، وتكوين العقد البكتيرية ، ومحتوى النباتات من النيتروجين (عن Mersie وآخرين ١٩٩٠) .

وفي البصل . . يسبب الأوزون احتراقاً في حواف الأوراق ، ربما يزداد - تدريجياً - لينتشر في بقية أنسجة الورقة . وتتوفر أصناف من البصل مقاومة للأوزون تُغلق فيها الثغور سريعاً عقب ملامسة الغاز للخلايا الحارسة ؛ الأمر الذي يمنع استمرار دخول الغاز إلى الورقة . وقد وجد أن هذه الصفة بسيطة وسائدة (عن Ball ١٩٨٥) .

وفي الفاصوليا . . يؤدي تعرض النباتات للأوزون إلى زيادة شدة إصابتها بالفطرين *Sclerotinia sclerotiorum* ، و *Botrytis cinerea* ، وتناسب شدة الإصابة طردياً مع تركيز الأوزون الذي تتعرض له النباتات (Tonneijck & Leone ١٩٩٣) .

هذا . . إلا أن نتائج دراسات لاحقة (Tonneijck ١٩٩٤) تفيد أن الأوزون لا يلعب سوى دور ثانوي في التأثير على الإصابة بالفطر *B. cinerea* في الفاصوليا .

تقسيم محاصيل الخضر حسب حساسيتها للأوزون

من محاصيل الخضر الحساسة للأوزون : الهندباء ، والشبت ، والبروكولي ، وكرنب بروكسل ، والكوسة ، والخس ، والكرفس ، والفراولة ، والقاوون ، والبصل ، والقرع العسلي ، والبطاطا ، والسبانخ ، والفجل (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) ، والشبت والهندباء ، والبطاطس ، والطماطم والفاصوليا .

وبالمقارنة . . يعد الكرنب والخيار والبادنجان والبقدونس وبعض أصناف الطماطم من المحاصيل المتوسطة في تحملها للغاز ، بينما يعد الفلفل من المحاصيل الأكثر تحملاً له (عن Ball ١٩٨٥) .

ويتبين من دراسات Agrawal وآخرين (١٩٩٣) أن نباتات الخيار كانت أكثر تحملاً للأوزون في الظروف الطبيعية للنمو (٢٨م نهاراً ، و ١٨م ليلاً) عنها في الظروف التي ترتفع فيها حرارة الليل عن حرارة النهار (١٨م نهاراً ، و ٢٨م ليلاً) .

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر

وعلى خلاف ما تقدم بيانه بشأن حساسية الخس للأوزون ، وجد Sakaki وآخرون (١٩٩٤) أن صنف الخس Red Fire كان أكثر تحملاً للغاز من سبعة أنواع نباتية أخرى تضمنت - من محاصيل الخضر - الفول الرومى ، والطماطم ، والفجل ، والفاصوليا العادية .

لوائد التعرض للأوزون

لا يخلو التعرض لتركيزات منخفضة من الأوزون من بعض التأثيرات المفيدة ؛ فقد وجد - مثلاً - أنه يحفز نمو الطماطم والفاصوليا والفلفل . وفى القرع العسلى . . وجد Rajput & Ormord (١٩٨٦) أن معاملة النباتات بتركيز ٠,٤ ميكروليتر/لتر لمدة ٦ ساعات يومياً لمدة ثلاثة أيام أدى إلى اكتساب المناطق البيضاء المصفرة - التى توجد طبيعياً بأوراق القرع العسلى - لوناً أخضر ، وإلى زيادة وزن النباتات الطازج والجاف .

ويذكر أن تعريض النباتات للأوزون يهيئها للإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* ، ولكن وجد فى مقابل ذلك أن التعريض للأوزون يجعل النباتات أكثر مقاومة لبعض مسببات الأمراض ؛ إما من خلال تأثيرها على المسبب المرضى ذاته ، وإما بجعل النباتات أقل صلاحية كعائل للمسبب المرضى ؛ فمثلاً . . وُجد أن تعريض نباتات ألبسلة للأوزون بتركيز ٠,١٢ ميكروليتر/لتر قبل - أو بعد - عدواها بالفطر *Erysiphe polygoni* f. sp. *pisi* - المسبب لمرض البياض الدقيقى - ثبط جوهرياً من إصابتها بالفطر (Rusch & Laurence ١٩٩٣) .

أضرار ثانى أكسيد الكبريت

مشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يكثُر غاز ثانى أكسيد الكبريت فى المناطق الصناعية ؛ حيث يتصاعد مع أبخرة المصانع ، ويتحد الغاز مع بخار الماء فى الجو ، مكوناً حامض الكبريتيك ، الذى يتساقط بعد ذلك على صورة أمطار حامضية . وعندما يلامس الحامض أوراق النباتات ، فإنه يعمل على أكسدها ؛ محدثاً فقداً واضحاً فى الكلوروفيل .

وتتأثر الأنواع الحساسة للغاز بتركيز ٠,٥ - ٠,٥٠ جزءاً في المليون ، ويحدث الضرر خلال ٨ ساعات من التعرض لهذا التركيز . وتقل الفترة التي يحدث خلالها الضرر مع زيادة التركيز ؛ فيحدث الضرر خلال ٣ دقائق إذا كان تركيز الغاز ١ - ٤ أجزاء في المليون . أما الأصناف والأنواع المقاومة ، فلا يحدث أى ضرر بها إلا إذا تعرضت لتركيزات أكبر ، مثل جزأين في المليون لمدة ٨ ساعات ، أو ١٠ أجزاء في المليون لمدة ٣٠ دقيقة .

وعندما يكون تركيز الغاز أقل من المستويات المذكورة ، فإن النبات يكون قادراً على تحويل الغاز إلى مركبات أخرى غير ضارة به . هذا . وتظهر أضرار الغاز في تركيزات أقل في حالة وجود ملوثات أخرى بالهواء الجوى ؛ مثل ثنائي أكسيد النيتروجين (Mudd ١٩٧٥) .

أعراض التعرض لغاز ثاني أكسيد الكبريت والمحاصيل الحساسة له

يحدث ثاني أكسيد الكبريت نوعين من الأعراض : حادة acute ، ومزمنة chronic . وتتميز الأعراض الحادة بظهور أنسجة ميتة بين العروق ، أو على حواف الورقة . وقد تفقد المناطق الميتة لونها ، أو تصبح عاجية ، أو رصاصية ، أو برتقالية ، أو حمراء ، أو بنية محمرة ، أو بنية . ويتوقف ذلك على النوع النباتي والظروف الجوية .

أما الإصابة المزمنة ، فتتميز بظهور مناطق بلون بني محمر ، أو بيضاء على نصل الورقة .

هذا . ونادراً ما تظهر أعراض الإصابة على الأوراق الحديثة ، بينما تكون الأوراق الكاملة النمو شديدة الحساسية .

تموت بفعل الغاز كل من الخلايا العمدية والخلايا الإسفنجية بالورقة ، وتصبح الأجزاء المصابة منها ورقية الملمس والقوام ، بينما تبقى - دائماً - الأنسجة المجاورة للعروق خضراء اللون . ومع بقاء الإصابة محصورة بين العروق . فإن الأعراض - في النباتات الوحيدة الفلقة ، ذات العروق المتوازية - تأخذ شكل التخطيط .

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر —————

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لغاز ثانى أكسيد الكبريت كل من البروكولى ، وكرنب بروكسل ، والهندباء ، والخس ، والبامية ، والفلفل ، والطماطم .

العوامل المؤثرة على الحساسية للغاز

عندما يكون تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء منخفضاً فإنه يذوب فى الرطوبة الحرة داخل الورقة ، مكوناً كبريتيت sulfites ، تتحول بدورها إلى الكبريتات غير الضارة . ولكن إذا تراكمت الكبريتيت بسرعة أكبر من سرعة تحولها إلى كبريتات . فإن نفاذية الأغشية الخلوية سرعان ما تتأثر ، وتفقد الخلايا ماءها .

وتكون النباتات ذات الأوراق الغضة النشطة فسيولوجياً أكثر من غيرها تأثراً بالغاز ؛ حيث يمكن أن تُضارب بشدة لدى التعرض لتركيز ٠,٥ جزءاً فى المليون لمدة أربع ساعات ، أو لتركيز ٠,٣ جزءاً فى المليون لمدة ٢٤ ساعة (عن Ball ١٩٨٥) .

أضرار نترات البيروكسى أسيتيل

مشأ الغاز وتركيزاته العنارة

تنتج نترات البيروكسى أسيتيل Peroxyacetyl nitrate (اختصاراً : PAN) - مثل الأوزون - نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأوكسجين والمركبات الهيدوكربونية القابلة للتفاعل التى توجد فى عادم السيارات وغيره من نواتج الاحتراق غير الكامل .

وتؤثر نترات البيروكسى أسيتيل فى النباتات فى تركيزات منخفضة تصل إلى أجزاء فى البليون . ويلاحظ أن تركيز الغاز يتأرجح بين الارتفاع نهاراً ، والانخفاض - أو حتى الاختفاء - ليلاً .

أعراض العرض للغاز والمحاصيل الحساسة له

تؤثر نترات البيروكسى أسيتيل على السطح السفلى للأوراق التى أكملت نموها حديثاً ، مسببة اكتسابها للون برونزى أو فضى فى المناطق الحساسة . وتصبح قمة أوراق النباتات العريضة الأوراق حساسة للـ PAN بعد ظهور الورقة بنحو خمسة أيام . ولا يزيد عدد الأوراق الحساسة على الساق عن أربع أوراق فى الوقت الواحد ؛ نظراً لأن سمية PAN تحدث والأنسجة فى مرحلة معينة من التكوين ، ولا تصبح كل أنسجة الورقة حساسة إلا إذا استمر تعرضها للمركب .

تشوه الأوراق المصابة وتلتف إلى أسفل ، وقد تتحلل أنسجة الورقة بالقرب من قممتها ، وتأخذ الأنسجة المتحللة لوناً أبيض أو رمادياً . وتتباين الأعراض بين التلون الفضي ، والمظهر الزجاجي ، والمظهر البرونزي ، مع موت السطح السفلي للأوراق المتأثرة بالغاز .

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية للـ PAN : الكرفس ، والهندباء ، والخس ، والفاوون ، والفلفل ، والطماطم ، والفاصوليا . وبالمقارنة . فإن البروكولي والكرنب والقنبيط والخيار والبصل تعد من المحاصيل الأكثر تحملاً له .

العوامل المؤثرة على الحساسية للغاز وظهور أعراضه المميزة

ترتبط قابلية الأوراق للإصابة بالغاز بعمر ونضج خلاياها . فمع تمدد الورقة . . فإنها تنضج أولاً بالقرب من قممتها ، وفي النهاية عند قاعدتها ؛ ولذا . فإن ظهور الأعراض على صورة شرائط من الأنسجة المتأثرة بالغاز يعد أمراً عادياً .

تظهر هذه الحزم - أو الشرائط - في البداية - في أطراف الأوراق العليا ، وفي وسط الأوراق الوسطى ، وقرب قاعدة الأوراق السفلى ، وخاصة عندما يكون النبات قد تعرض لجرعة واحدة من الغاز . ولكن مع استمرار التعرض للغاز عدة مرات فإن أنسجة جديدة من مختلف الأوراق تتأثر به يوميا ؛ مما يؤدي - في نهاية الأمر - إلى ظهور الأعراض على كل نصل الورقة .

تؤدي الإضاءة الشديدة إلى زيادة الأضرار التي يحدثها الغاز للأنسجة النباتية ، ويلزم أن يتعرض النبات لحد أدنى من الإضاءة - قبل تعرضه للغاز ، وأثناء ذلك وبعده - لتظهر أعراض التسمم من الغاز . ففي الصباح الباكر يجب أن تتعرض النباتات للضوء لمدة ثلاث ساعات قبل أن تصبح حساسة لأضرار الغاز . وإذا تعرضت النباتات لفترة قصيرة من الظلام - ولو لمدة ١٥ دقيقة في منتصف النهار قبل التعرض للغاز - يلزم بعدها التعرض للإضاءة ساعة كاملة ؛ لتصبح النباتات حساسة للغاز من جديد . كذلك يلزم مرور ثلاث ساعات من الإضاءة - تقريباً - بعد التعرض للغاز ؛ لكي يحدث الضرر وتظهر الأعراض فيما بعد .

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر —————

ويؤدى تعرض النباتات للأشعة تحت الحمراء إلى انخفاض محتواها من الـ sulphydryl ، ويرتبط ذلك بزيادة قدرتها على تحمل الغاز . وربما أمكن - مستقبلاً - تعريض نباتات البيوت المحمية لفترات محدودة من الأشعة تحت الحمراء خلال الفترات التى يرتفع فيها تركيز الغاز ؛ بهدف حمايتها من التعرض لأضراره .

اضرار اكاسيد النيتروجين

يرمز لأكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides بالرمز NO_x ؛ حيث ترمز x إلى عدد ذرات الأوكسجين المرتبطة بذرة النيتروجين . ومن أكثر أكاسيد النيتروجين إضراراً بالنباتات أكسيد النيتريك NO ، و NO_2 .

من أكثر مصادر أكاسيد النيتروجين عوادم السيارات وكل المدفئات أو المصانع التى تعتمد على حرق الوقود الأحفورى كمصدر للطاقة ، وبعض الصناعات ؛ مثل صناعة حامض النيتريك .

تتميز أضرار أكاسيد النيتروجين بظهور بقع بيضاء أو بنية اللون فى وسط الأوراق المسنة بين العروق ثم سقوطها . وقد تكتسب الأوراق مظهراً شمعياً فى بعض الأحيان .

تحدث الأضرار لدى التعرض للغاز بمتوسط تركيز أسبوعى قدره ٢٥ جزءاً فى كل ١٠٠ مليون جزء . وأكثر النباتات تعرضاً لأضرار أكاسيد النيتروجين هى الزراعات المحمية التى تستخدم فيها المدفئات التى تعتمد على الوقود الأحفورى فى التدفئة ، أو فى زيادة تركيز الغاز فى جو الصوبة .

وتعد الطماطم والخس من أكثر محاصيل الخضر حساسية لأكاسيد النيتروجين .

اضرار فلوريد الايدروجين

تتلقى النباتات الفلوريدات من خلال كل من النموات الخضرية والجذور . ومن أكثر مصادر التلوث الهوائى صناعات تنقية الألومنيوم وعديد من الصناعات الأخرى ، وخاصة مصانع الطوب ، ومصانع الفوسفات ، ومصانع الصلب . أما تلوث التربة ، فيأتى - غالباً - من سماد السوبر فوسفات والمياه الغنية بالفلوريدات .

وتظهر أعراض أضرار غاز فلوريد الأيدروجين Hydrogen Fluoride (وهو أكثر الفلوريدات شيوعاً) فى البداية - عادة - فى قمة الأوراق ، ثم تحترق حواف الأوراق . وتصبح المناطق الميتة بنية ضاربة إلى الحمرة ، أو تكتسب لوناً رمادياً فاتحاً ، وقد تسقط المناطق المتحللة .

وتتبع الفلوريداتُ الممتصة عن طريق الجذور مسار الهواء المفقود بالتتح ; لتصل إلى قمم الأوراق وحواقيها ; لتبقى فيها وتحدث أضرارها .

وتُضار النباتات الحساسة لدى التعرض لتركيزات منخفضة جداً من المركب ، تصل فى بعض النباتات إلى ١٠ جزءاً فى البليون ، ولكن يشترط لظهور الضرر استمرار التعرض للمركب لمدة خمسة أسابيع ; حيث تقوم النباتات بتركيزه فى أنسجتها ، وخاصة فى أطراف الأوراق وحواقيها .

ولا يعد انفتاح الثغور ضرورياً لدخول الفلوريدات إلى أنسجة الورقة ; حيث يبدو أنها تدخل مباشرة من خلال الأديم .

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لفلوريد الأيدروجين البطاطا ، بينما يعد الخس ، والبصل ، والفلفل ، والفراولة ، والطماطم من المحاصيل المتوسطة التحمل . ومن المحاصيل التى تتحمل الفلوريدات : البروكولى ، وكرنب بروكسل ، والكرنب ، والقنبيط ، والكرفس ، والخيار ، والباذنجان ، والبصل ، والبطاطس .

أضرار الكلور

تكون أعراض الإصابة بالكلور - عادة - حادة ، وتشبه أعراض الإصابة بثانى أكسيد الكبريت ; فتظهر مناطق متحللة وبيضاء بالنموات الخضرية . ويكون التحلل على حواف الأوراق فى بعض الأنواع ، ومنتشراً بنصل الورقة فى أنواع أخرى .

أضرار الإيثيلين

من أهم مصادر التلوث بالإيثيلين عوادم السيارات ومدفئات الصوبات التى تعتمد على الاحتراق ، وخاصة عندما يكون الوقود كثير الشوائب أو يكون احتراقه غير كامل . كذلك يكون الغاز مختلطاً بعوادم البوليثلين .

ويعد الإيثيلين من المنتجات الطبيعية للتنفس ، وخاصة فى الأنسجة المجروحة ، والمصابة بالأمراض ، كما ينتج بصورة طبيعية عند نضج كثير من الثمار فى المخازن ؛ مما يضر بالثمار المجاورة لها فى نفس المخزن ؛ حيث يُسرّع الإيثيلين من نضجها ، ثم يؤدى إلى تدهورها (عن Ball ١٩٨٥) .

ومن أهم أضرار الإيثيلين قصر السلاميات ، وسقوط البراعم والأوراق ، وتدلى الأوراق لأسفل . كما يُسرّع الإيثيلين الشيخوخة المبكرة ، فى صورة تدلّ بالأوراق السفلى ، مع سقوط الأزهار ، وسرعة نضج الثمار .

وتزداد مشكلة الإيثيلين بوجه خاص فى الزراعات المحمية .

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لغاز الإيثيلين : الخيار ، البطاطا ، والطماطم . ومن المحاصيل المتوسطة التحمل : البروكولى ، والكرنب ، والقنبيط ، والخس . هذا . . بينما تعد الهندباء والبصل من المحاصيل التى تتحمل الغاز .

أضرار الأمونيا

تحدث الأضرار الحقلية بالأمونيا فى صورة تغيرات فى لون الصبغات النباتية بالأنسجة بامتداد حواف الورقة من سطحها . وقد تصبح الأوراق الخارجية الجافة فى البصل الأحمر مخضرة أو سوداء ، وقد تأخذ فى البصل الأصفر والبنى لوناً بنياً داكناً . وقد تظهر بالأوراق النباتية خطوطاً قرمزية اللون .

أضرار حامض الأيدروكلوريك

تظهر الأضرار الحادة لغاز حامض الأيدروكلوريك (HCl) فى شكل فقدان اللون بالأنسجة ، كما يظهر احتراق بحواف أوراق الخس ، والهندباء ، والشيكوريا ، ويمتد - تدريجياً - داخل الورقة التى سرعان ما تجف ، بينما يظهر لون برونزى بين العروق فى ورقة الطماطم .

التأثير التداوى لملوثات الهواء

يؤدى وجود أكثر من واحد من ملوثات الهواء معاً - وهو الأمر الشائع والأكثر احتمالاً فى الظروف الطبيعية - إلى إحداث أضرار تزيد عن مجموع أضرار أيّ منهما

منفردا ؛ أى إن وجودهما معا يزيد من أضرارهما ، وهو ما يعرف بالتأثير التداؤبي Synergistic Effect . يحدث ذلك - مثلا - عند وجود NO_2 وثنائي أكسيد الكبريت معاً ، وخاصة أن كليهما ينتج عند احتراق الوقود الأحفوري . ويحدث الضرر فى هذه الحالة عند التعرض للغازين بتركيز ٥٠ - ١٠٠ جزء فى كل ١٠٠ مليون جزء لمدة ساعة واحدة إلى ثلاث ساعات .

كذلك قد تحدث حالات مماثلة يتواجد فيها الأوزون مع ثنائي أكسيد الكبريت ، أو مع ثالث أكسيد الكبريت ، أو فلوريد الأيدروجين (عن Commonwelath Mycological Institute ١٩٨٣) .

كيفية إحداث ملوثات الهواء لأضرارها فى النباتات

العوامل المؤثرة فى وصول الملوثات إلى داخل النبات من خلال الثغور

يتحكم فى وصول الملوثات إلى داخل النبات عدة عوامل خارجية وداخلية . ومن أهم العوامل الخارجية الضوء ؛ الذى يؤثر على انفتاح وانغلاق الثغور التى تمر منها الملوثات ، باستثناء الفلوريدات وأكاسيد النيتروجين . ويرتبط وصول الملوثات إلى داخل النبات ارتباطاً وثيقاً بانفتاح الثغور . وكلما ازدادت شدة الإضاءة ازداد انفتاح الثغور وازداد الضرر الناشئ عن الملوثات تبعاً لذلك . وقد لوحظ أن الضرر يزداد عند التعرض لملوثات الهواء فى منتصف النهار عما فى الأوقات الأخرى ، وقد ارتبط ذلك بشدة الإضاءة ؛ ومن ثم بانفتاح الثغور .

كذلك تؤثر العوامل التى تسهم فى الشد الرطوبى فى النباتات فى انفتاح الثغور وانغلاقها . وقد وجد أن نقص الرطوبة الأرضية أو الرطوبة النسبية يُنقص من أضرار ملوثات الهواء - مثل الأوزون وثنائي أكسيد الكبريت - كما وجد أن ذلك يرتبط بانغلاق الثغور .

ويمكن أن تؤثر سرعة الرياح على وصول ملوثات الهواء إلى داخل النبات من خلال تأثيرها على حركة الثغور .

كما وجد أن التركيزات المنخفضة من الأوزون فى الهواء تؤدي إلى انغلاق الثغور ؛

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر

وبذا . . فإنها تحمى النباتات من التركيزات الأعلى من الأوزون التى يمكن أن تحدث بها أضراراً شديدة (عن Tibbetts & Kobriger ١٩٨٣) .

ولدرجة الحرارة تأثيرات هامة على استجابة النباتات للملوثات التى تتكون بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية على مركبات أخرى ملوثة للهواء ؛ مثل الأوزون ونترات البيروكسى أسيثيل . فمثلاً . . وجد أن السبانخ والخس الرومين والهندباء ازدادت مقاومتها لأضرار هذه الملوثات بمقدار ثمانية أضعاف ، عندما تعرضت لحرارة ١٣م قبل التعرض للملوثات ؛ مقارنة بالأضرار التى حدثت لها عندما ظلت نامية فى حرارة ٢٤م . وفى حالات أخرى وجد أن حساسية النباتات للملوثات انخفضت عندما عُرِضت - أياماً قليلة - لحرارة ٣٠م أو أعلى من ذلك .

ولهذه التغيرات فى حساسية النباتات للملوثات علاقة بانفتاح وانغلاق الثغور ؛ إذ إن تعريض النباتات لدرجة حرارة تزيد أو تقل عن الدرجة المناسبة للنمو - قبل تعرضها للملوثات - يؤدى إلى انغلاق الثغور جزئياً .

ومن المعروف أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء يسبب انغلاقاً جزئياً للثغور ، وتلك حقيقة يمكن الاستفادة منها فى البيوت المحمية إذا ما تلوث هواؤها .

ويبدو أن النباتات المسمدة جيداً - والتى يكون نموها قويا وسريعاً - تكون أكثر حساسية للملوثات الهواء من النباتات التى تعاني نقصاً فى واحد أو أكثر من العناصر المغذية (عن Ball ١٩٨٥) .

وترتبط العوامل الداخلية المؤثرة فى وصول ملوثات الهواء إلى داخل النبات - كذلك - بالثغور . ومن هذه العوامل أن تكون الثغور مكتملة التكوين وفعالة فى حركتها ؛ ولذا . . فإن الأوراق الصغيرة جداً - التى لا تكون ثغورها مكتملة وفعالة - لا تتعرض لأضرار الملوثات . ومع اكتمال تكوين أنسجة الورقة فإنها تصبح أكثر حساسية . ويزداد الضرر فى الأنسجة الغضة .

كذلك تُقلل الشعيرات الورقية من انتشار الملوثات خلال الثغور ؛ وبذا . . فإنها تزيد من مقاومة النباتات لها .

كما وجد أن كثافة الثغور ترتبط - إيجابيا - بأضرار ملوثات الهواء التي تنفذ إلى داخل النبات بسرعة أكبر عند زيادة عدد الثغور . ويؤيد ذلك العامل أن الأنسجة التي تخلو من الثغور أو تحتوى على ثغور قليلة جدا - مثل أجزاء الزهرة ، والسيقان ، والجذور ، والثمار - لا تحدث بها أية أضرار مباشرة من جرّاء التعرض للملوثات الهواء .

التفاعلات الكيميائية الحيوية

تحدث المواد المؤكسدة : الأوزون ، وال PAN ، وأكاسيد النيتروجين أضرارها - غالباً - من خلال أكسدها لمكونات الأغشية البلازمية ؛ الأمر الذى يغير من نفاذيتها ؛ وبذا . . . تتأثر حركة انتقال الماء والأيونات من الخلية وإليها ؛ ويدل على ذلك المظهر المائى للأنسجة بعد تعرضها لتلك الملوثات ، والذى يكون مرده إلى تراكم الماء فى المسافات البينية .

أما الملوثان الحامضيان : ثانى أكسيد الكبريت ، وفلوريد الأيدروجين ، فإنها تكون حامض الكبريتوز ، وحامض الأيدروفلوريك - على التوالى - فى الغشاء المائى . ويبدو أن هذه الأحماض تنتشر خلال الأغشية البلازمية إلى داخل الخلايا ؛ حيث تغير من التوازن الأسموزى عبر الغشاء البلازمى ؛ وبذا تتأثر حركة انتقال الماء والأيونات عبر الغشاء ، أو تؤثر تأثيراً ساماً على الإنزيمات ؛ لتحدث خللاً بأبيض الخلية ؛ فمثلاً . . . تثبط الفلوريدات نشاط إنزيمات البيروكسيداز peroxidase والسيكروم أوكسيداز cytochrome oxidase .

ويستدل من فحص الأنسجة المتأثرة بملوثات الهواء بالميكروسكوب الأليكترونى على أن بلزمة الخلايا يصاحبه ظهور أضرار بالغشاء البلازمى ؛ وتورمات بالبلاستيدات الخضراء ، وتبلور غير عادى بالبلاستيدات .

طبيعة الضرر

يبدأ ظهور أعراض ملوثات الهواء عندما يحدث الضرر فى عدد كاف من الخلايا . وتحدث الملوثات المختلفة أضرارها فى أنسجة مختلفة ؛ فمثلاً يضر الأوزون بالخلايا العمادية ، ويظهر التحلل فقط فى السطح العلوى للورقة . أما نترات البيروكسى أسيتيل PAN فإنها تؤدي إلى انفصال البشرة السفلى للورقة عن خلايا النسيج

الإسفننجى الذى يليها ؛ وبذا تأخذ الورقة مظهراً برّاقاً . ويُحدث ثانى أكسيد الكبريت وفلوريد الأيدروجين - دائماً - انهياراً فى الخلايا بجانبى الورقة ، ولكن التحلل necrosis يتناثر - عادة - على نصل الورقة فى حالة ثانى أكسيد الكبريت ، بينما يتركز فى قمة وحواف الورقة فى حالة فلوريد الأيدروجين (عن Tibbitts & Kobriger ١٩٨٣) .

مقاومة أضرار ملوثات الهواء

إن أجدى الوسائل للتغلب على أضرار ملوثات الهواء هى زراعة الأصناف المقاومة للملوثات - التى تنتشر فى منطقة الزراعة - والتى تتوفر فى عديد من محاصيل الخضر (حن ١٩٩٥) .

وقد اختبرت عديد من المركبات الكيميائية للحماية من أضرار ملوثات الهواء - وخاصة الأوزون - واستعمل - مثلاً - فيتامين ج كمادة مضادة للأكسدة - رشا على النباتات ، ولكن استعماله لم يكن عملياً لتكلفته العالية . كذلك اختبر البينوميل (وهو مبيد فطرى جهازى) ، ووجد أنه يُكسب النباتات حمايةً من أضرار الأوزون تحت ظروف الحقل عندما استخدم رشا أو أضيف مع الماء عن طريق التربة . ولكن لزم إجراء المعاملة ٣ - ٧ مرات لتوفير الحماية الكافية من الأوزون .

وكان أكثر مضادات الأكسدة فاعلية فى حماية النباتات من أضرار الأوزون مركب الإيثيلين دايوريا ethylene diurea .

كذلك كانت بعض منظمات النمو - مثل الـ daminozide ، و الـ ancymidol ، وحامض الأبسيسك ، والسيتوكينينات - فعّالة فى الحماية من أضرار ملوثات الهواء (عن Kender & Forsline ١٩٨٣) .

كما وجد أن المركبات المضادة للشيخوخة antisenescence (من أمثال benzimidazole ، و N-6-benzyladenine ، والكيتين Kinetin) كانت فعّالة فى تقليل أضرار الأوزون فى الفاصوليا والسبانخ (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

يمكن خفض أضرار الفلوريدات فى النباتات برشها بمركبات قلوية مثل الجير .

وقد وُفّر استعمال عديد من مركبات الداي ثيوكارباميت Dithiocarbamates - مثل المبيدان الفطريان : الزينب ، والمانيب - بعض الحماية من الملوثات التى تنشأ بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية على غازات أخرى تتواجد فى الهواء وتلوّثه . وتحدث هذه الحماية بفعل تفاعل المبيد الفطرى - على سطح الورقة - مع الغاز الذى يلوث الهواء .

وقد وجد أن المبيدات الفطرية الجهازية (مثل البنوميل benomyl ، والترايريمول triarimol ، والكاربوكسين carboxin ، والثيابندازول thiabendazole ، والثيافونيت thiaphonate) كانت أكثر فاعلية من الداي ثيو كارباميت فى الحماية من ملوثات الهواء . ويمكن معاملة النباتات بهذه المركبات إما رشاً ، وإما عن طريق التربة ؛ حيث تمتص بواسطة الجذور ، ويمكن استخدامها للوقاية من ملوثات الهواء بنفس التركيزات التى تستعمل بها كمبيدات فطرية .

كذلك وجد أن مثبطات النمو الكيميائية : الكلورمكوات Chlormequat (السيكلوسل Cycocel) ، وال SADH (مثل التحضير التجارى B-Nine) ، والأنسيميدول ancymidol (مثل التحضير التجارى A-Rest) . . وجد أنها تزيد من مقاومة النباتات لأضرار ملوثات الهواء ، وهى تزيد كذلك من تحمل النباتات لحالات الحرارة العالية ، والحرارة المنخفضة ، والجفاف .

ويرجع ذلك إلى أن هذه المركبات تُحدث انغلاقاً جزئياً أو كاملاً للشغور لفترات مختلفة عقب معاملة النباتات بها .

وقد لوحظ أن المثبطات الفعالة فى تثبيط النمو فى نوع نباتى معين تكون فعالة - كذلك - فى حماية نفس النوع من أضرار الملوثات ، ولكن التركيز الفعال فى الحماية من ملوثات الهواء يبلغ - عادة - ضعف التركيز المثبط للنمو النباتى .

ويمكن فى البيوت المحمية ترشيح الهواء من الملوثات بإمراره على مرشحات تحتوى على فحم مُنشط (عن Ball ١٩٨٥) .

ولمزيد من التفاصيل الخاصة بالمركبات التى تلوث الهواء الجوى وأضرارها على النباتات بوجه عام . . يراجع Heggstad & Heck (١٩٧١) ، و Mudd & Kozlowski (١٩٧٥) ، و Ormrod وآخرون (١٩٧٦) .