الفصل العاشر

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر

انواع الملوثات

يتلوث الهواء فى بعض المناطق ببعض المركبات التى تضر بالمزروعات ومن أوسع هذه المركبات انتشاراً وأكثرها ضررا : 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 سنويا 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 ، و١٩٪ للصناعة ، و ١٢٪ لمحطات توليد الطاقة ، و ٩٪ لأعمال التدفئة وحرق 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 جدا من الهواء ـ بكل ما يحمله من ملوثات ـ لكى تحصل على حاجتها من غاز ثانى أكسيد الكربون . فيقدر ـ مثلا ـ 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 . وتتعرض النباتات أثناء ذلك لأخطار التعرض لمختلف المركبات التى 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 ـ 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 ـ ١) : تقسيم محاصيل الخضر حسب حساسيتها للمركبات التى تلوث الهواء الجوى .

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

الاضرار التى تسببها ملوثات الهواء للمحاصيل الزراعية

أضرار الأوزون

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يتكون الأوزون ozone (O_3) ـ أساسًا ـ نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأوكسجين وهيدروكربونات قابلة للتفاعل ، والتى تنتج ـ أساسًا ـ من حالات الاحتراق غير التام فى الحرارة العالية ؛ مثل عادم السيارات ، وسخانات المبانى والبيوت المحمية . ولا يعد وجود الهيدروكربونات ضروريا لإنتاج الغاز ، ولكن وجودها يزيد من تراكمه فى الهواء .

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

أعراض 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 جدا والمسنة قادرتين على تحمل الأوزون ، بينما تعد الأوراق التى أكملت نموها حديثًا شديدة الحساسية . وتظهر الإصابة غالبًا على قمة الورقة ، وعلى امتداد حافتها . ومع اشتداد الإصابة قد تمتد الأعراض إلى السطح السفلى للورقة . وأكثر خلايا الورقة تأثرًا بالغاز هى خلايا النسيج العمادى تحت البشرة العليا للورقة .

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

٠,٠٦ حجمًا فى المليون من الغاز لمدة ٧ ساعات يوميا بنحو ١٠ ـ ٢٦ ٪ . كما يُحدث التعرض للغاز نقصًا فى معدل النمو النسبى للنباتات ، ومعدل النمو المطلق ، وإنتاج القرون ، وتكوين العقد البكتيرية ، ومحتوى النباتات من النيتروجين (عن Mersie وآخرين ١٩٩٠) .

وفى البصل . . يسبب الأوزون احتراقًا فى حوافّ الأوراق ، ربما يزداد ـ تدريجيا ـ لينتشر فى بقية أنسجة الورقة . وتتوفر أصناف من البصل مقاومة للأوزون تُغلَق فيها الثغور سريعًا عقب ملامسة الغاز للخلايا الحارسة ؛ الأمر الذى يمنع استمرار دخول الغاز إلى الورقة . وقد وجد أن هذه الصفة بسيطة وسائدة (عن Ball ١٩٨٥) .

وفى الفاصوليا . . يؤدى تعرض النباتات للأوزون إلى زيادة شدة إصابتها بالفطرين Sclerotinia sclerotiorum، و Botrytis cinerea ، وتتناسب شدة الإصابة طرديا مع تركيز الأوزون الذى تتعرض له النباتات (Tonneijck & Leone ١٩٩٣) .

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

تقسيم محاصيل الخضر حسب حساسيتها للأوزون

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

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

ويتبين من دراسات Agrawal وآخرين (١٩٩٣) أن نباتات الخيار كانت أكثر تحملا للأوزون فى الظروف الطبيعية للنمو (٢٨ْم نهارًا ، و ١٨ْم ليلا) عنها فى الظروف التى ترتفع فيها حرارة الليل عن حرارة النهار (١٨ْم نهارًا ، و ٢٨ْم ليلا) .

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

فوائد التعرض للأوزون

لا يخلو التعرض لتركيزات منخفضة من الأوزون من بعض التأثيرات المفيدة ؛ فقد وجد ـ مثلاً ـ أنه يحفز نمو الطماطم والفاصوليا والفلفل . وفى القرع العسلى . . وجد Rajput & Ormord (١٩٨٦) أن معاملة النباتات بتركيز ٠,٤ ميكروليتر/ لتر لمدة ٦ ساعات يوميا لمدة ثلاثة أيام أدى إلى اكتساب المناطق البيضاء المصفرة ـ التى توجد طبيعيا بأوراق القرع العسلى ـ لونًا 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 ؛ فمثلا . . وُجد أن تعريض نباتات البسلة للأوزون بتركيز ٠,١٢ ميكروليتر/ لتر قبل ـ أو بعد ـ عدواها بالفطر Erysiphe polygoni. f. sp. pisi ـ المسبب لمرض البياض الدقيقى ـ ثبط جوهريا من إصابتها بالفطر (Rusch & Laurence ١٩٩٣) .

أضرار ثانى أكسيد الكبريت

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يكثر غاز ثانى أكسيد الكبريت فى المناطق الصناعية ؛ حيث يتصاعد مع أبخرة المصانع ، ويتحد الغاز مع بخار الماء فى الجو ، مكونًا حامض الكبريتيك ، الذى يتساقط بعد ذلك على صورة أمطار حامضية . وعندما يلامس الحامض أوراق النباتات ، فإنه يعمل على أكسدتها ؛ محدثًا فقدًا واضحًا فى الكلوروفيل .

وتتأثر الأنواع الحساسة للغاز بتركيز ٠,٠٥ ـ ٠,٥ جزءًا فى المليون ، ويحدث الضرر خلال ٨ ساعات من التعرض لهذا التركيز . وتقل الفترة التى يحدث خلالها الضرر مع زيادة التركيز ؛ فيحدث الضرر خلال ٣ دقائق إذا كان تركيز الغاز ١ ـ ٤ أجزاء فى المليون . أما الأصناف والأنواع المقاومة ، فلا يحدث أى ضرر بها إلا إذا تعرضت لتركيزات أكبر ، مثل جزأين فى المليون لمدة ٨ ساعات ، أو ١٠ أجزاء فى المليون لمدة ٣٠ دقيقة .

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

أعراض التعرض لغاز ثانى أكسيد الكبريت والمحاصيل الحساسة له

يُحدث ثانى 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 النباتى والظروف الجوية .

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

هذا . . ونادرًا ما تظهر أعراض الإصابة على الأوراق الحديثة ، بينما تكون الأوراقُ الكاملةُ النمو شديدةَ الحساسية .

تموت بفعل الغاز كل من الخلايا العمادية والخلايا الإسفنجية بالورقة ، وتصبح الأجزاء المصابة منها ورقية الملمس والقوام ، بينما تبقى ـ دائما ـ الأنسجةُ المجاورةُ للعروق خضراءَ اللون . ومع بقاء الإصابة محصورة بين العروق . . فإن الأعراض ـ فى النباتات الوحيدة الفلقة ، ذات العروق المتوازية ـ تأخذ شكل التخطيط .

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 منخفضًا فإنه يذوب فى الرطوبة الحرة داخل الورقة ، مكونًا 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 فسيولوجيا أكثرمن غيرها تأثرًا بالغاز ؛ حيث يمكن أن تُضارّ بشدة لدى التعرض لتركيز ٠,٥ جزءًا فى المليون لمدة أربع ساعات ، أو لتركيز ٠,٣ جزءًا فى المليون لمدة ٢٤ ساعة (عن Ball ١٩٨٥) .

اضرار نترات البيروكسى اسيتيل

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

تنتج نترات البيروكسى أسيتيل Peroxyacetyl nitrate (اختصاراً : PAN) ـ مثل الأوزون ـ 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 نهارًا ، والانخفاض ـ أو حتى الاختفاء ـ ليلا .

أعراض التعرض للغاز والمحاصيل الحساسة له

تؤثر نترات البيروكسى أسيتيل على السطح السفلى للأوراق التى أكملت نموها حديثًا ، 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 ؛ نظرًا لأن سمية PAN تَحْدُث والأنسجة فى مرحلة معينة من التكوين ، ولا تصبح كل أنسجة الورقة حساسة إلا إذا استمر تعرضها للمركب .

تتشوه الأوراق المصابة وتلتفّ إلى أسفل ، وقد تتحلل أنسجة الورقة بالقرب من قمتها ، وتأخذ الأنسجة المتحللة لوناً أبيض أو رماديا . وتتباين الأعراض بين التلون الفضى ، والمظهر الزجاجى ، والمظهر البرونزى ، مع موت السطح السفلى للأوراق المتأثرة بالغاز .

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

العوامل المؤثرة على الحساسية للغاز وظهور أعراضه المميزة

ترتبط قابلية الأوراق للإصابة بالغاز بعمر ونضج خلاياها . . فمع تمدد الورقة . . فإنها تنضج أولا بالقرب من قمتها ، وفى النهاية عند قاعدتها ؛ ولذا . . فإن ظهور الأعراض على صورة شرائط من الأنسجة المتأثرة بالغاز يعد أمرًا عاديا .

تظهر هذه الحزم ـ أو الشرائط ـ فى البداية ـ فى أطراف الأوراق العليا ، وفى 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 يؤدى ـ فى نهاية الأمر ـ إلى ظهور الأعراض على كل نصل الورقة .

تؤدى الإضاءة الشديدة إلى زيادة الأضرار التى يحدثها الغاز للأنسجة النباتية ، ويلزم أن يتعرض النبات لحد أدنى من الإضاءة ـ قبل تعرضه للغاز ، وأثناء ذلك وبعده ـ لتظهر أعراض التسمم من الغاز . ففى الصباح الباكر يجب أن تتعرض النباتات للضوء لمدة ثلاث ساعات قبل أن تصبح حساسة لأضرار الغاز . وإذا تعرضت النباتات لفترة قصيرة من الظلام ـ ولو لمدة ١٥ دقيقة فى منتصف النهار قبل التعرض للغاز ـ يلزم بَعْدَها التعرض للإضاءة ساعةً كاملةً ؛ لتصبح النباتات حساسة للغاز من جديدٍ . كذلك يلزم مرور ثلاث ساعاتٍ من الإضاءة ـ تقريبًا ـ بَعْدَ التعرض للغاز ؛ لكى يحدث الضرر وتظهر الأعراض فيما بعد .

ويؤدى تعرض النباتات للأشعة تحت الحمراء إلى انخفاض محتواها من الـ sulfhydryl ، ويرتبط ذلك بزيادة قدرتها على تحمل الغاز . وربما أمكن ـ مستقبلاً ـ 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 إضرارًا 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 مظهرًا شمعيا فى بعض الأحيان .

تحدث الأضرار لدى التعرض للغاز بمتوسط تركيز أسبوعى قدره ٢٥ جزءًا فى كل ١٠٠ مليون جزء . وأكثر النباتات تعرضًا 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 ـ غالبا ـ من سماد السوبر فوسفات والمياه الغنية بالفلوريدات .

وتظهر أعراض أضرار غاز فلوريد الأيدروجين Hydrogen Fluoride (وهو أكثر الفلوريدات شيوعًا) فى البداية ـ عادة ـ فى قمة الأوراق ، ثم تحترق حواف الأوراق . وتصبح المناطق الميتة بنية ضاربة إلى الحمرة ، أو تكتسب لونًا رماديا فاتحًا ، وقد تسقط المناطق المتحللة .

وتتبع الفلوريداتُ الممتصة عن طريق الجذور مسار الهواء المفقود بالنتح ؛ لتصل إلى قمم الأوراق وحوافّها ؛ لتبقى فيها وتحدث أضرارها .

وتُضار النباتات الحساسة لدى التعرض لتركيزات منخفضة جدا من المركب ، تصل فى بعض النباتات إلى ١,٠ جزءًا فى البليون ، ولكن يشترط لظهور الضرر استمرار التعرض للمركب لمدة خمسة أسابيع ؛ حيث تقوم النباتات بتركيزه فى أنسجتها ، وخاصة فى أطراف الأوراق وحوافها .

ولا يعد انفتاح الثغور ضروريا 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 ـ عادة ـ حادة ، وتشبه أعراض الإصابة بثانى أكسيد الكبريت ؛ فتظهر مناطق متحللة وبيضاء بالنموات الخضرية . ويكون التحلل على حواف الأوراق فى بعض الأنواع ، ومنتشرًا 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 مختلطا بعوادم مصانع البوليثيلين .

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 يُسرع الإيثيلين من نضجها ، ثم يؤدى إلى تدهورها (عن Ball ١٩٨٥) .

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

وتزداد مشكلة الإيثيلين بوجه خاص فى الزراعات المحمية .

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

اضرار الأمونيا

تحدث الأضرار الحقلية بالأمونيا فى صورة تغيرات فى لون الصبغات النباتية بالأنسجة بامتداد حواف الورقة من سطحيها . وقد تصبح الأوراق الخارجية الجافة فى البصل الأحمر مخضرة أو سوداء ، وقد تأخذ فى البصل الأصفر والبنى لونًا بنيا داكنًا . وقد تظهر بالأوراق النباتية خطوطًا قرمزية اللون .

اضرار حامض الأيدروكلوريك

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

التأثير التداوبى لملوثات الهواء

يؤدى وجود أكثر من واحد من ملوثات الهواء معًا ـ وهو الأمر الشائع والأكثر احتمالا فى الظروف الطبيعية ـ إلى إحداث أضرار تزيد عن مجموع أضرار أيٍّ منهما

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

كذلك قد تحدث حالات مماثلة يتواجد فيها الأوزون مع ثانى 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 ارتباطًا وثيقًا بانفتاح الثغور . وكلما ازدادات شدة الإضاءة ازداد انفتاح الثغور وازداد الضرر الناشئ عن الملوثات تبعاً لذلك . وقد لوحظ أن الضرر يزداد عند التعرض للملوثات الهواء فى منتصف النهار عما فى الأوقات الأخرى ، وقد ارتبط ذلك بشدة الإضاءة ؛ ومن ثم بانفتاح الثغور .

كذلك تؤثر العوامل التى تُسهم فى الشد الرطوبى فى النباتات فى انفتاح الثغور وانغلاقها . وقد وجد أن نقص الرطوبة الأرضية أو الرطوبة النسبية يُنقص من أضرار ملوثات الهواء ـ مثل الأوزون وثانى أكسيد الكبريت ـ 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 تؤدى إلى انغلاق الثغور ؛

وبذا . . فإنها تحمى النباتات من التركيزات الأعلى من الأوزون التى يمكن أن تُحدث بها أضرارًا 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 أسيتيل . فمثلا . . وجد أن السبانخ والخس الرومين والهندباء ازدادت مقاومتها لأضرار هذه الملوثات بمقدار ثمانية أضعاف ، عندما تعرضت لحرارة ١٣°م قبل التعرض للملوثات ؛ مقارنة بالأضرار التى حدثت لها عندما ظلت نامية فى حرارة ٢٤°م . وفى حالات أخرى وجد أن حساسية النباتات للملوثات انخفضت عندما عُرضت ـ أيامًا قليلة ـ لحرارة ٣٠°م 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 ـ قبل تعرضها للملوثات ـ يؤدى إلى انغلاق الثغور جزئيا .

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

ويبدو أن النباتات المسمَّدة جيداً ـ والتى يكون نموها قويا وسريعًا ـ تكون أكثر حساسية لملوثات الهواء من النباتات التى تعانى نقصًا فى واحد أو أكثر من العناصر المغذية (عن Ball ١٩٨٥) .

وترتبط العوامل الداخلية المؤثرة فى وصول ملوثات الهواء إلى داخل النبات ـ كذلك ـ بالثغور . ومن هذه العوامل أن تكون الثغور مكتملة التكوين وفعّالة فى حركتها ؛ ولذا . . فإن الأوراق الصغيرة جداً ـ التى لا تكون ثغورها مكتملة وفعّالة ـ 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 ـ إيجابيا ـ بأضرار ملوثات الهواء التى تنفذ إلى داخل النبات بسرعة أكبر عند زيادة عدد الثغور . ويؤيد ذلك العامل أن الأنسجة التى تخلو من الثغور أو تحتوى على ثغورٍ قليلةٍ جدا ـ مثل أجزاء الزهرة ، والسيقان ، والجذور ، والثمار ـ لا تحدث بها أية أضرار مباشرة من جرّاء التعرض لملوثات الهواء .

التفاعلات الكيميائية الحيوية

تُحدث المواد المؤكسدةُ : الأوزون ، والـ PAN ، وأكاسيد النيتروجين أضرارَها ـ غالبًا ـ من خلال أكسدتها 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 ـ على التوالى ـ فى الغشاء المائى . ويبدو أن هذه الأحماض تنتشر خلال الأغشية البلازمية إلى داخل الخلايا ؛ حيث تغير من التوازن الآسموزى عبر الغشاء البلازمى ؛ وبذا تتأثر حركة انتقال الماء والأيونات عبر الغشاء ، أو تؤثر تأثيرًا ساما على الإنزيمات ؛ لتحدث خللا بأيض الخلية ؛ فمثلا . . تثبط الفلوريدات نشاط إنزيمات البيروكسديز peroxidase والسيتوكروم أوكسيديز 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 عددٍ كافٍ من الخلايا . وتُحْدِث الملوثاتُ المختلفةُ أضرارَها فى أنسجة مختلفة ؛ فمثلا يضر الأوزون بالخلايا العمادية ، ويظهر التحلل فقط فى السطح العلوى للورقة . أما نترات البيروكسى أسيتيل PAN فإنها تؤدى إلى انفصال البشرة السفلى للورقة عن خلايا النسيج

الإسفنجى الذى يليها ؛ وبذا تأخذ الورقة مظهراً برّاقاً . ويُحدث ثانى أكسيد الكبريت وفلوريد الأيدروجين ـ دائمًا ـ انهيارًا فى الخلايا بجانبى الورقة ، ولكن التحلل necrosis يتناثر ـ عادة ـ 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 ـ التى تنتشر فى منطقة الزراعة ـ والتى تتوفر فى عديد من محاصيل الخضر (حسن ١٩٩٥) .

وقد اختبرت عديد من المركبات الكيميائية للحماية من أضرار ملوثات الهواء ـ وخاصة الأوزون ـ واستعمل ـ مثلا ـ فيتامين جـ كمادة مضادة للأكسدة ـ 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 لزِم إجراء المعاملة ٣ ـ 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 ـ مثل الـ daminozide ، و الـ ancymidol ، وحامض الأبسيسك ، والسيتوكينينات ـ فعّالة فى الحماية من أضرار ملوثات الهواء (عن Kender & Forsline ١٩٨٣) .

كما وجد أن المركبات المضادة للشيخوخة antisenescene (من أمثال benzuimadazole ، و N-6-benzyladenine ، والكينتين 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 وفّر استعمال عديد من مركبات الداى ثيوكاربامیت Dithiocarbamates ـ مثل المبيدان الفطريان : الزينب ، والمانيب ـ بعض الحماية من الملوثات التى تنشأ بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية على غازات أخرى تتواجد فى الهواء وتلوثه . وتحدث هذه الحماية بفعل تفاعل المبيد الفطرى ـ على سطح الورقة ـ مع الغاز الذى يلوث الهواء .

وقد وجد أن المبيدات الفطرية الجهازية (مثل البينوميل benomyl ، والترايارىمول triarimol ، والكاربوكسين carboxin ، والثيابندازول thiabendazole ، والثيافونيت thiaphonate) كانت أكثر فاعلية من الداى ثيو كاربامیت فى الحماية من ملوثات الهواء . ويمكن معاملة النباتات بهذه المركبات إما رشا ، 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 (السيكوسل Cycocel) ، والـ 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 انغلاقًا جزئيا أو كاملا للثغور لفترات مختلفة عقب معاملة النباتات بها .

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

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

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