وتزداد مشكلة الإثيلين بوجه خاص فى الزراعات المحمية.

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لغاز الإثيلين: الخيار، والبطاطا، 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 الخارجية. وقد تصبح الأوراق الخارجية الجافة فى البصل الأحمر مخضرة أو سوداء، وفى البصل الأصفر والبنى بلون بنى داكن.

أضرار حامض الأيدروكلوريك

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

مصادر إضافية

يقدم Wellburn (١٩٩٤) عرضًا حول أضرار ملوثات الهواء وتأثيراتها على النباتات.

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

التأثير التداوبى لملوثات الهواء

يؤدى وجود أكثر من واحد من ملوثات الهواء معًا — وهو الأمر الشائع والأكثر

احتمالاً فى الظروف الطبيعية — إلى إحداث أضرار تزيد عن مجموع أضرار أىٍّ منها منفردًا؛ أىَ إن وجودها معا يزيد من أضرارها، وهو ما يعرف بالتأثير التداوبى Synergistic Effect. يحدث ذلك — مثلاً — عند وجود NO_2 وثانى أكسيد الكبريت معًا، وخاصة أن كليهما ينتج عند احتراق الوقود الأحفورى. 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 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 ازدادت شدة الإضاءة ازداد انفتاح الثغور وازداد الضرر الناشئ عن الملوثات تبعًا 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 تُسهم 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 وثانى 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 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 — أيامًا قليلة — 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 — قبل تعرضها للملوثات — يؤدى إلى انغلاق الثغور جزئيًا.

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

ويبدو أن النباتات المسمَّدة جيدًا — والتى يكون نموها قويًا وسريعًا — 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 — كذلك — بالثغور. ومن هذه العوامل أن تكون الثغور مكتملة التكوين وفعّالة فى حركتها؛

ولذا.. فإن الأوراق الصغيرة جدًا – التى لا تكون ثغورها مكتملة وفعّالة – 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 – إيجابيًا – 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 جدًا – مثل أجزاء الزهرة، والسيقان، والجذور، والثمار – لا تحدث بها أية أضرار مباشرة من جرّاء التعرض لملوثات الهواء.

التفاعلات الكيميائية الحيوية

تُحدث المواد المؤكسدةُ: الأوزون، والـ PAN، وأكاسيد النيتروجين أضرارَها – غالبًا – 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 – 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 تأثيرًا سامًا على الإنزيمات؛ لتحدث خللاً بأيض الخلية؛ فمثلاً.. 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؛ فمثلاً 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 مظهرًا برّاقًا. ويُحدث ثانى أكسيد الكبريت وفلوريد الأيدروجين — دائمًا — انهيارًا 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).

تراكم الملوثات بمحاصيل الخضر

وُجدت — فى منطقة صناعية باليونان — تراكمات عالية من العناصر الثقيلة: Pb، و Cr، و Cd بالخضر الورقية (الكرنب والخس والكرات والهندباء)، بينما كانت الخضر الجذرية (الجزر) أكثر كفاءة فى تراكم الكادميم من التربة عن غيره من العناصر الثقيلة (Voutsa وآخرون ١٩٩٦).

كما جُمعت عينات من الخس والفجل من حقول قريبة من ثلاثة طرق مرورية بمناطق زراعية وصناعية فى مصر. كانت معظم الأراضى فى المناطق الصناعية ملوثة بوضوح بكل من الرصاص والزنك والكادميم والنحاس والنيكل والحديد، مقارنة بتلوث التربة فى المناطق الزراعية. ولقد تبين أن الأجزاء المأكولة من الخس تراكم فيها كميات أكبر عما تراكم فى جذور الفجل. وكان أكثر تراكم للعناصر فى عينات الخس التى