الفصل التاسع

# شد ملوثات البيئة فى الهواء والتربة

## الأضرار التى تسببها ملوثات الهواء للمحاصيل الزراعية

### أضرار الأوزون

#### منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يتكون الأوزون — أساسًا — نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأكسجين وهيدروكربونات قابلة للتفاعل، والتى تنتج — أساسًا — من حالات الاحتراق غير التام؛ مثل عادم السيارات.

تُحْدِث تركيزات منخفضة من الأوزون — تتراوح من ٠,٠٥ — ٠,١٢ حجمًا فى المليون — لمدة ساعتين إلى أربع ساعات — أضرارًا كبيرة لمعظم الأصناف الحساسة من بعض المحاصيل الزراعية. ويتواجد هذا التركيز — صيفًا فى أجواء بعض المناطق من العالم، وفى بعض أجزاء من الولايات المتحدة.

#### أعراض التعرض للأوزون

إن الأعراض العادية للإصابة بالأوزون Ozone ($O_3$) 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 جدًّا والمسنة قادرة 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.

تعد الفاصوليا من أكثر المحاصيل حساسية وتضررًا من هذا الغاز؛ حيث قدر متوسط

الانخفاض فى محصول الأصناف الحساسة من جراء التعرض لتركيز ٠,٠٤– ٠,٠٦ حجمًا فى المليون من الغاز لمدة ٧ ساعات يوميًا بنحو ١٠٪–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 – تدريجيًا – 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 تحملاً له (عن Ball ١٩٨٥).

ويتبين من دراسات Agrawal وآخرين (١٩٩٣) أن نباتات الخيار كانت أكثر

تحملاً للأوزون فى الظروف الطبيعية للنمو (٢٨°م نهارًا، و١٨°م ليلاً) عنها فى الظروف التى ترتفع فيها حرارة الليل عن حرارة النهار (١٨°م نهارًا، و٢٨°م ليلاً).

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.

## فوائد التعرض للأوزون

لا يخلوا 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 يوميًّا لمدة ثلاثة أيام أدى إلى اكتساب المناطق البيضاء المصفرة — التى توجد طبيعيًّا بأوراق القرع العسلى — 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؛ فمثلاً.. وُجد أن تعريض نباتات البسلة للأوزون بتركيز ٠,١٢ ميكروليتر/لتر قبل — أو بعد — عدواها بالفطر *Erysiphe polygoni*. f. sp. *pisi* — المسبب لمرض البياض الدقيقى — ثبط جوهريًّا من إصابتها بالفطر (Rusch & Laurence ١٩٩٣).

وللإطلاع على الأوزون وأضراره على الزراعة بوجه عام.. يراجع Ashmore & Marshall (١٩٩٩).

## أضرار ثانى أكسيد الكبريت

### منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يكثر غاز ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ 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 لنباتات، فإنه يعمل على أكسدتها، محدثًا فقدًا واضحًا فى الكلوروفيل.

هذا.. وتتأثر الأنواع الحساسة للغاز بتركيز ٠,٠٥– 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 فى خلال ٣ دقائق إذا كان تركيز الغاز ١–٤ 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 الأوراق الكاملة النمو شديدة الحساسية.

تموت بفعل الغاز كل من الخلايا العمادية والخلايا الإسفنجية بالورقة، وتصبح الأجزاء المصابة منها ورقية الملمس والقوام، بينما تبقى — دائمًا — الأنسجةُ المجاورةُ للعروق خضراءَ اللون. ومع بقاء الإصابة محصورة بين العروق.. فإن الأعراض- فى النباتات الوحيدة الفلقة، ذات العروق المتوازية — 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 فسيولوجيًّا أكثر من 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).

تؤدى الإضاءة الشديدة إلى زيادة الأضرار التى يحدثها الغاز للأنسجة النباتية، ويلزم أن يتعرض النبات لحد أدنى من الإضاءة — قبل تعرضه للغاز، وأثناء ذلك وبعده — 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 — ولو لمدة ١٥ دقيقة فى منتصف النهار قبل التعرض للغاز — يلزم بَعْدَها التعرض للإضاءة ساعة كاملةً؛ لتصبح النباتات حساسة للغاز من جديد. كذلك

يلزم مرور ثلاث ساعاتٍ من الإضاءة – تقريبًا – 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 – مستقبلاً – تعريض نباتات البيوت المحمية لفترات محدودة من الأشعة تحت الحمراء خلال الفترات التى يرتفع فيها تركيز الغاز؛ بهدف حمايتها من التعرض لأضراره.

## أضرار نترات البيروكسى اسيتيل

### منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

تُنتَج نترات البيروكسى أسيتيل Peroxyacetyl nitrate (اختصارًا: PAN) – مثل الأوزون – نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأكسجين والمركبات الهيدروكربونية القابلة للتفاعل التى توجد فى عادم السيارات وغيره من نواتج الاحتراق غير الكامل.

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

### أعراض التعرض للغاز والمحاصيل الحساسة له

تؤثر نترات البيروكسى أسيتيل على السطح السفلى للأوراق التى أكملت نموها حديثًا، مسببة اكتسابها للون البرونزى أو الفضى 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 تحدث والأنسجة فى مرحلة معينة من التكوين، ولا تصبح كل أنسجة الورقة حساسة إلاّ إذا استمر تعرضها للمركب.

تتشوه الأوراق المصابة وتلتفّ إلى أسفل، وقد تتحلل أنسجة الورقة بالقرب من قمتها، وتأخذ الأنسجة المتحللة لونًا أبيض أو رماديًا. 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، والكنتالوب، والفلفل، والطماطم، والفاصوليا. وبالمقارنة.. فإن البروكولى والكرنب والقنبيط والخيار والبصل تعد من المحاصيل الأكثر تحملاً له.

## العوامل المؤثرة على الحساسية للغاز وظهور أعراض المميزة

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

تظهر هذه الحزم — أو الشرائط — فى البداية — 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 يوميًا؛ مما يؤدى — فى نهاية الأمر — إلى ظهور الأعراض على كل نصل الورقة.

## أضرار أكاسيد النيتروجين

يرمز لأكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides بالرمز $NO_x$؛ حيث ترمز x إلى عدد ذرات الأكسجين 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 العرق ثم سقوطها. وقد تكتسب الأوراق مظهرًا شمعيًّا 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.

## أضرار فلوريد الأيدروجين

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 — غالبًا — من سماد السوبر فوسفات والمياه الغنية بالفلوريدات.

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

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

وتُضار النباتات الحساسة لدى التعرض لتركيزات منخفضة جدًّا من المركب، تصل فى بعض النباتات إلى ٠,١ 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 ضروريًا 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 Chlorine — عادة — حادة، وتشبه أعراض الإصابة بثانى أكسيد الكبريت؛ فتظهر متحللة وبيضاء بالنموات الخضرية. ويكون التحلل على حواف الأوراق فى بعض الأنواع، ومنتشرًا بنصل الورقة فى أنواع أخرى.

## أضرار الإثيلين

من أهم مصادر التلوث بالإثيلين عوادم السيارات ومدفئات الصوبات التى تعتمد على الاحتراق، وخاصة عندما يكون الوقود كثير الشوائب أو يكون احتراقه غير كامل. كذلك يكون الغاز مختلطًا بعوادم مصانع البوليثيلين.

ويعد الإثيلين 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 الإثيلين من نضجها، ثم يؤدى إلى تدهورها (عن Ball ١٩٨٥).

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

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