الفراولة

دُرس تأثير زيادة تركيز الأوزون عند إنتاج الفراولة، ووجد أن تأثيره يتوقف — جوهريًا — على الصنف ومدى حساسيته لشدِّ الأكسدة. وبصفة عامة.. فإن الأوزون قلل من محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك، ورفع من درجة أكسدة الدهون، وخفَّض من حلاوة الثمار،بينما لم يؤثر شدِّ الأوزون على محصول الثمار أو مضادات الأكسدة أو الأنثوسيانينات أو المركبات الفينولية بالثمار. هذا بينما أحدث الأوزون أضرارًا بالسبلات وبمظهر الثمار، مع خفض فى محتواها من الجلوتاثيون. حدث كل ذلك فى الصنف الحساس للأوزون Korona، بينما بقيت صفات جودة الثمار فى الصنف الأقل حساسية Elsanta ثابتة غالبًا (Keutgen & Pawelzik ٢٠٠٨).

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 (حسن ٢٠١٣).

وقد اختبرت عديد من المركبات الكيميائية للحماية من أضرار ملوثات الهواء — وخاصة الأوزون — واستعمل — مثلاً — فيتامين ج كمادة مضادة للأكسدة — رشًّا على النباتات، ولكن استعماله لم يكن عمليًّا 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 الإثيلين دايوريا ethylene diurea.

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

كما وجد أن المركبات المضادة للشيخوخة antisenescene (من أمثال benzyimadazole، وN-6-benzyladenine، والكينتين Kinetin) كانت فعّالة فى تقليل أضرار الأوزون فى الفاصوليا والسبانخ (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

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

وقد وفّر استعمال عديد من مركبات الداى ثيوكارباميت dithiocarbamates — مثل المبيدان الفطريان: الزينب، والمانيب — 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 — على سطح الورقة — مع الغاز الذى يلوث الهواء.

وقد وجد أن المبيدات الفطرية الجهارية (مثل البينوميل benomyl، والترايباريمول triarimol، والكاربوكسين carboxin، والثيابندازول thiabendazole، والثيافونيت thiaphonate) كانت أكثر فاعلية من الداى ثيوكارباميت فى الحماية من ملوثات الهواء. ويمكن معاملة النباتات بهذه المركبات إما رشًّا، 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 جزئيًا أو كاملاً للثغور 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 مُنَشَّط (عن Ball ١٩٨٥).

التغلب على أضرار الأوزون وشد الأكسدة

المعاملة بالمبيد الفطرى زينب

أدى رش نباتات الطماطم بالمبيد الفطرى زينب Zineb — فى منطقة من إسبانيا تعرف بارتفاع تركيز الأوزون بهوائها — إلى منع أكسدة دهون الأغشية الخلوية، وإلى انخفاض نشاط الإنزيمات "الكاسحة" scavenging enzymes (وهى التى تنشط عمليات الأكسدة)؛ بما يعنى أن رش النباتات بالمبيد الفطرى زينب يجعلها أقل تعرضًا لشدِّ الأكسدة (Calatayud & Barreno ٢٠٠٠).

المعاملة بالإثيلين دايورينا

أدت معاملة الفجل واللفت (فى حقول بالقرب من مناطق سكنية أو ريفية بالإسكندرية) بالمركب ethylene diurea (اختصارًا: ED) المضاد لفعل الأوزون إلى تحسين نمو النباتات، وخاصة فى المنطقة الريفية التى وُجدت فيها تركيزات أعلى من الأوزون. هذا.. ولم يكن للـ ED أى تأثير على النمو النباتى فى غياب الأوزون فى حجرات للنمو (Hassan وآخرون ١٩٩٥).

المعاملة بالبكتيريا *B. subtilis*

وجد أن معاملة *Brassica juncea* بالسلالة 3A25 من البكتيريا *Bacillus subtilis* إما رشًّا على النمو الخضرى، وإما عن طريق التربة قللت جوهريًّا من التأثير السلبى للأوزون على النباتات (Holzinger وآخرون ٢٠١١).

التغلب على أضرار تراكم الكادميم وغيره من العناصر الثقيلة

المعاملة بحامض الهيوميك

• أدت إضافة حامض الهيوميك إلى بيئة زراعة الخس إلى ارتباط الكادميوم الموجود بالبيئة بالحامض؛ وبذا قل امتصاص النبات للعنصر؛ بما يعنى أن إضافة حامض الهيوميك إلى التربة قد تفيد فى خفض تيسر وحركة العناصر الثقيلة فى التربة كذلك (Haghighi وآخرون ٢٠١٠).

• أدت المعاملة بكلوريد الكادميم فى بيئة نمو الخس بمعدل ٢ أو ٤ مجم/لتر إلى خفض معدل البناء الضوئى، وتركيز الكلوروفيل بالأوراق، والوزن الطازج للنمو الخضرى، بينما أحدثت المعاملة بحامض الهيوميك بمعدل ١٠٠ أو ١٠٠٠ مجم/لتر زيادة جوهرية فى الوزن الطازج للنمو الخضرى للخس دون أن تؤثر على معدل البناء الضوئى، أو على محتوى الأوراق من الكلوروفيل. وفى المقابل.. حدث نقص جوهرى فى محتوى الأوراق من الكادميم مع تحسين للنمو الخضرى عند المعاملة بحامض الهيوميك (Haghighi وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالسيليكون

• كانت إضافة السيليكون للتربة على صورة سيليكات البوتاسيوم فعالة فى منع الامتصاص الزائد للكادميم بواسطة نباتات الفراولة فى تربة رملية ملوثة بالكادميم، وبدا ذلك واضحًا فى جميع أجزاء النبات فيما عدا الجذور. هذا إلا أن المعاملة بالسيليكون رشًّا على النموات الخضرية لم تكن مؤثرة (Treder & Cieslinski ٢٠٠٥).

• أدت معاملة الخيار بالسيليكون إلى حماية النباتات من الآثار المترتبة على التسمم بالكادميم، والتى تمثلت فى تثبيط الكادميم للبناء الضوئى وأيض النترات؛ حيث أدت المعاملة بالسيليكون إلى حماية الكلوروبلاستيدات من التدهور، وأحدثت زيادة جوهرية فى محتوى الصبغات (Feng وآخرون ٢٠١٠).

المعاملة بالسيلينيم

لم يؤثر السيلينيم (حتى ١٠ ميكرومول) سلبيًّا على الكتلة البيولوجية للنمو الخضرى للخيار، مقارنة بتأثير الكادميم حتى ٥٠ ميكرومول، إلاّ أن الوزن الطازج للجذور ازداد جوهريًّا بعد تزويد المحلول المغذى الملوث بالكادميم بتركيز ٥٠ ميكرومول.. تزويده بالسيلينيم بتركيز ١٠ ميكرومول. وقد أُرجع هذا التأثير الإيجابى للسيلينيم إلى منعه لتراكم الكادميم بالنبات وخفضه لأكسدة الدهون فى الجذور، وزيادته لثبات الأغشية الخلوية بنسيج الأوراق (Hawrylak-Nowak وآخرون ٢٠١٤).

المعاملة بالكاينتين

أدى تلويث التربة بالكادميم بتركيز ٣ أو ٩ مجم كادميم/ كجم من التربة إلى نقص النمو الخضرى لشتلات الباذنجان تناسب مع تركيز الكادميم المستعمل؛ الأمر الذى كان مرده إلى تراكم الكادميوم فى الجذور والنموات الخضرية. وقد أدى رش النموات الخضرية بالكاينتين بتركيز ١٠ ميكرومول إلى تقليل سمية الكادميم؛ الأمر الذى كان مُصاحبًا بانخفاض كبير فى تراكم الكادميوم فى الشتلات. كذلك أدت المعاملة بالكادميم إلى تقليل تركيز كلوروفيل أ،ب والكاروتينات ودلائل فلورة الكلوروفيل، بينما خفّفت معاملة الكادميم من تلك التأثيرات الضارة؛ وأيضًا أدت معاملة الكادميم إلى زيادة دلائل الشدّ التأكسدى مثل محتويات فوق أكسيد الأيدروجين، والـ superoxide radical، والـ malondialdehyde، بينما خفضت معاملة الكادميم من تلك التأثيرات؛ وأدت معاملة الكادميم إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة.. الـ peroxidase، والـ

superoxide dismutase، والـ catalase، والـ glutathione-S-transferase، وكذلك المحتوى من مضادات الأكسدة غير الإنزيمية: الـ non protein thiol والبرولين، بينما أدت معاملة الكينتين إلى إحداث زيادة أكبر فى تضادية الأكسدة فى النباتات المعاملة بالكادميم، وحتى فى النباتات غير المعاملة به (Singh & Prassad ٢٠١٤).

التطعيم

كثيرًا ما يُفيد التطعيم على أصول معينة فى الحد من أضرار التلوث الأرضى بالعناصر الثقيلة (مثل الكادميم والنيكل والكروم) والعناصر الدقيقة (مثل النحاس والبورون والمنجنيز)، وفى الحد من مشاكل نقص العناصر المغذية، مثل: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم. ولمزيد من التفاصيل حول هذا الموضوع.. يُراجع Savvas وآخرين (٢٠١٠).

وقد أظهرت دراسة أُجريت فى اليابان أن حوالى ٧٪ من ثمار الباذنجان هناك تحتوى على كادميم بتركيزات تزيد عن الحدود الدولية الآمنة للخضر الثمرية. ولقد وجد أن تطعيم الباذنجان على *Solanum torvum* قلل من تركيز الكادميم بالثمار بنحو ٦٣٪ – ٧٤٪، سواء أكان الإنتاج فى تربة ملوثة أم غير ملوثة بالكادميم، وذلك مقارنة بالتركيزات عندما كان التطعيم على *S. melongena* أو *S. integrifolium*. ووجد أن تركيز الكادميم فى سيقان وأوراق الطعوم على *S. torvum* كان – تقريبًا – ٣٠٪ من تركيزه عندما كان التطعيم على *S. integrifolium*؛ بما يعنى أن انتقال الكادميم من الجذور إلى النموات الخضرية كان أقل فى النباتات التى طُعِّمت على *S. torvum*؛ وهو الأمر الذى وجد – كذلك – عندما كان كل من الأصل والطعم من *S. torvum* وتبين أن تركيز الكالسيوم فى ساق *S. torvum* كان ٢٢٪ من نظيره فى سيقان *S. melongena* (Arao وآخرون ٢٠٠٨).

كما أظهرت دراسات أخرى أن تطعيم الخضر الثمرية على بعض الأصول يمكن أن يحد من امتصاص العناصر الثقيلة، مع تحسين امتصاص بعض العناصر المغذية، ولقد

دُرس تأثير أربعة أصول من الهجين النوعى *C. maxima* x *C. moschata* (هى: Power، و TZ-148، وFerro، و Strong Tosa) على امتصاص الكادميم والنيكل فى صنف الخيار Creta عند التعرض لمستوى عالٍ من العنصرين (١٠، و٥٠ ميكرومول/لتر، على التوالى)، وكذلك على امتصاص النباتات لعناصر الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والمنجنيز والزنك. وقد أظهرت الدراسة أن الأصل Power يمكن أن يحد بفاعلية من مستوى الكادميم بالنباتات بنحو ١٢٪ –٥٠٪، مقارنة بالوضع فى كل معاملات التطعيم الأخرى. أما مستوى النيكل فقد انخفض فى جميع معاملات التطعيم بمقدار ٢٢٪–٢٣٪، مقارنة بالوضع فى نباتات الكنترول غير المطعومة. هذا.. ولم يؤثر التطعيم على امتصاص الخيار للعناصر باستثناء حالة التطعيم على Power التى عززت من مستويات البوتاسيوم والزنك والمنجنيز بالثمار، لكن ذلك الاختلاف اختفى فى حالة شد الكادميم. والخلاصة أن امتصاص الكادميم والعناصر بواسطة نباتات الخيار المطعومة يعتمد على التركيب الوراثى للأصل، بينما يعتمد امتصاص النيكل وانتقاله لمختلف الأنسجة النباتية على التركيب الوراثى للأصل. ويؤثر الكادميم — أساسًا — على امتصاص الخيار لكاتيونات العناصر الدقيقة، بينما يؤثر النيكل فى إعادة توزيع كاتيونات العناصر المغذية بين مختلف أجزاء النبات (Savvas وآخرون ٢٠١٣).