يتوقف تكوين أوراق جديدة، ويعاد توزيع المواد الكربوهيدراتية — من النموات الخضرية — إلى الأعضاء التكاثرية. وقد وجد أن الفاصوليا تكون أكثر حساسية لكل من الأوزون وأكسيد الكبريت ابتداء من مرحلة الإزهار التام إلى مرحلة اكتمال الإثمار؛ أما قبل ذلك . فقد أبدت النباتات درجات مختلفة من القدرة على تحمل الغازين.

وفى دراسة على ستة أصناف من الطماطم اختلفت حساسيتها للأوزون وهى بعمر ٢، و ٤، و ٦ أسابيع، ولكن الترتيب النسبى للأصناف — من حيث استجابتها للغاز — ظل ثابتًا.

ب- عمر الورقة:

وجد فى القطن — على سبيل المثال — أن حساسية الأوراق للأوزون تكون أعلى ما يمكن عندما تصل إلى نحو ٧٥٪ من نموها الطبيعى، ثم تقل حساسيتها للغاز تدريجيًا بعد ذلك.

جـ – الوقت من اليوم:

كانت أوراق التبغ حساسة للأوزون بعد ٤ ساعات من التعرض للضوء، ثم انخفضت حساسيتها للغاز — تدريجيًا — بعد ٦ ساعات من التعرض للضوء (عن Reinert وآخرين ١٩٧٩).

جهود التربية لتحمل ملوثات الهواء

حظيت بعض النباتات المزروعة، وخاصة التبغ والبيتونيا وبعض محاصيل الخضر مثل الطماطم والذرة السكرية والفاصوليا والبطاطس بكثير من الاهتمام لأجل إنتاج أصناف أكثر تحملاً لمختلف ملوثات الهواء، وخاصة الأوزون الذى يعد من أهم تلك الملوثات. ونستعرض — فيما يلى — الجهود التى بذلت فى تربية بعض هذه المحاصيل.

١- الطماطم:

قيم Gentile وآخرون (١٩٧١) عددًا من أصناف وسلالات الطماطم والأنواع البرية

القريبة، ووجدوا أن النوع *L. pimpinellifolium* أكثرها حساسية، والنوع *L. esculentum* أقلها حساسية للأوزون. وكانت أكثر سلالات وأصناف الطماطم تحملاً لهذا الغاز هى P.I.203229، و P.I.247089، و P.I.304234، و P.I.309915، و VFN8.

كذلك اختبر Reinert وآخرون (١٩٧٢) مقاومة ١٢ صنفًا من الطماطم للأوزون، ووجدو أنه حينما تعرضت النباتات للغاز فى المساء كان الضرر أكبر منه فى الصباح، وكانت أكثر الأصناف حساسية Roma VF و Red Cherry، وأقلها حساسية (أى أقلها تضررًا من الغاز) هى VF 145B، و Heinz 1439. كذلك اختبرت ١٢٠٠ سلالة من الطماطم ومجموعة من الأصناف التجارية، وتبين أن أكثرها تحملاً للغاز هى: P.I.109835، و P.I.1247136، و P.I.285663، و P.I.303792، و New Yorker، و Heniz 1439.

٢- الخيار:

تتوفر اختلافات وراثية بين أصناف وسلالات الخيار فى قدرتها على تحمل التركيزات العالية — نسبيًا — من ثانى أكسيد الكبريت فى الهواء الجوى. وقد توصل Bressan وآخرون (١٩٨١) — من التلقيح بين الصنف المقاوم National Picking والصنف الحساس Chipper — إلى أن القدرة على تحمل التلوث بغاز ثانى أكسيد الكبريت يتحكم فيها جين واحد سائد.

٣- البطيخ:

تختلط أعراض أضرار الحساسية للأوزون فى البطيخ مع أعراض تحدثها مسببات أخرى، مثل نقص العناصر، وشدّ الجفاف، وأضرار الحشرات، وبعض الأمراض. ولقد وجد أن بعض المبيدات الفطرية — مثل — البينوميل benomyl — يمكنها خفض شدة أضرار الأوزون، لكن لم يسجل — بعد — استعمال هذا المبيد لذلك الغرض.

وبتقييم ٩٣ صنفًا وسلالة تربية (يعرفان معًا باسم cultigens) — منها تركيب وراثى واحد رباعى، و ٤٢ ثنائى، ٥٠ ثلاثى المجموعة الكروموسومية — ظهرت الأعراض

عليها جميعًا، ولكن بدرجات متفاوتة، وكانت شدة الإصابة أقل — بصورة عامة — فى البطيخ الثلاثى مما فى الثنائى. هذا .. مع العلم بأن متوسط تركيز الأوزون فى الهواء الجوى كان ٥٨، و ٥٢ جزء فى البليون فى عامى الدراسة. وعمومًا .. ارتبط مستوى ضرر الأوزون سلبيًا بانتظام مع متوسط عدد الأيام من الشتل إلى الحصاد (Holmes & Schultheis ٢٠٠٣).

٤- الفاصوليا:

تتوفر اختلافات وراثية كبيرة بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى تحملها لغاز الأوزون. فعلى سبيل المثال .. قيم عديد من أصناف وسلالات الفاصوليا لمقاومة الأوزون — تحت الظروف الحقلية لمدينتى Beltsville، و Salisbury بولاية ميرلاند الأمريكية؛ حيث يزادا فيهما تركيز الغاز بدرجة كبيرة — ووجد أن أصنافًا كثيرة منها كانت مقاومة للغاز، لدرجة أنه اقترح عدم جدوى التربية لمقاومة الأوزون فى الفاصوليا. ومع ذلك .. فقد نصح باختيار — سلالات الفاصوليا الجديدة فى تلك المنطقتين قبل إكثارها للإنتاج التجارى (عن Lewis & Christiansen ١٩٨١).

وفى دراسة أخرى .. قيم Mersie وآخرون (١٩٩٠) ٤١٠ أصناف وسلالة من الفاصوليا تحت ظروف حجرات النمو؛ حيث عرضوا بادرات الفاصوليا الصغيرة لتركيز ٠,٦ حجمًا فى المليون لمدة ساعتين، وقاموا بقياس الضرر الذى حدث للأوراق. ووجد الباحثون أن ١٧ صنفًا وسلالة منها كانت غير حساسة لغاز، و ٣٧٠ كانت حساسة، و ٢٣ عالية الحساسية.

وفى دراسة قدر فيها ارتداد المحصول مقابل تركيز غاز الأوزون .. وجد Heck وآخرون (١٩٨٣) أن BBL-290، و BBL-254 كانا أكثر حساسية من BBL-274، و Dwarf Horticultural. وأكدت النتائج أن جيرمبلام الفاصوليا يحتوى على صفة المقاومة للتركيزات الحالية من الأوزون، ولكن المقاومة تفقد مع زيادة تركيز الغاز.

وتوضح دراسة وراثية شملت صنفين حساسين للغاز (هما: Spurt، و Blue Lake

(Stringless وصنفين متحملين (هما: Black Turtle Soup، و French's Horticultural) أن الحساسية للغاز صفة سائدة ويتحكم فيها أكثر من جين. كما تبين أن الأصناف التى تتحمل الغاز يقل فيها عدد الثغور — فى وحدة المساحة من الورقة — بمقدار ٢٥٪ عما فى الأصناف الحساسة، كما تغلق ثغورها عقب تعرضها للغاز، بينما تظل ثغور الأصناف الحساسة مفتوحة (عن Reinert وآخرين ١٩٧٩).

كما درست وراثة صفة تحمل الأوزون فى تلقيح بين الصنف الحساس Oregon 91 والصنف غير الحساس Wade Bush، ووجد أن التباين الوراثى الإضافى كان أكبر مكونات التباين الوراثى، على الرغم من أن تباين السيادة كان — كذلك — جوهريًا. وقد قُدرت درجة التوريث على النطاق العريض بنحو ٦٠٪ وعلى النطاق الضيق بنحو ٤٤٪. ويستفاد من هذه الدراسة — كذلك — إمكان التقييم للصفة تحت ظروف متحكم فيها (Reinert & Eason ٢٠٠٠).

كذلك تتوفر فى الفاصوليا صفة تحمل تلوث الهواء بغاز ثانى أكسيد الكبريت، وهى صفة متنحية (عن Bressan وآخرين ١٩٨١).

٥- الذرة السكرية:

وجدت اختلافات بين سلالات الذرة السكرية فى تحملها للأوزون، وتبين أن هذه الصفة ثابتة، وسائدة جزئيًا تحت ظروف الحقل.

٦- البصل:

وجد أن مقاومة الأوزون فى البصل يتحكم فيها جين واحد سائد، يجعل الخلايا الحارسة حساسة للغاز؛ مما يؤدى إلى إغلاق الثغور — تلقائيًا — لدى تعرضها له، فلا تُضار النباتات من جراء ذلك (عن Heggestad & Heck ١٩٧١).

كما وجد أن مقاومة غاز ثانى أكسيد الكبريت يتحكم فيها جين واحد سائد كذلك (عن Bressan وآخرين ١٩٨١).

٧- التبغ:

توضح الدراسات الوراثية التى أجريت على التبغ أن تحمل الأوزون صفة كمية يتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى أساسًا.

٨- البيتونيا:

كانت صفة تحمل الأوزون فى البيتونيا كمية وسائدة جزئيًا (عن Reinert وآخرين ١٩٧٩).

الهندسة الوراثية لتحمل ثانى أكسيد الكبريت

أدى تحويل الكرنب الصينى وراثيًا بجينى superoxide dismutase (المحتوى على المنجنيز)، و catalase من *Escherichia coli* إلى جعله شديد التحمل لثانى أكسيد الكبريت SO_2. كذلك ازداد فى تلك النباتات نشاط إنزيمات مؤكسدة أخرى، مثل ascorbate peroxidase، و glutathione reductase لدى معاملتها بثانى أكسيد الكبريت، بينما لم تحدث تلك الزيادة فى نظيراتها من النباتات غير المحولة وراثيًا؛ بما يعنى أن القدرة على التخلص من العناصر النشطة فى الأكسدة (ROS) فى النباتات المحولة وراثيًا ازدادت جوهريًا (Tseng وآخرون ٢٠٠٧).

ثانيًا: تحمل ملوثات التربة

تتلوث التربة فى مختلف بقاع العالم بمركبات عديدة يصعب حصرها. ويهتم مربى النبات بأمر هذه الملوثات من ناحيتين: أولاهما تربية أصناف يمكنها تحمل التركيزات المرتفعة نسبيًا من ملوثات التربة، وأخراهما إنتاج نباتات أقل كفاءة فى امتصاص تلك الملوثات من التربة، أو أكثر قدرة على تحويلها — بعد امتصاصها — إلى مركبات أخرى أقل ضررًا؛ وبذا يقل ضررها على الإنسان أو الحيوانات الزراعية التى تستهلك تلك النباتات. ولكن نظرًا لحداثة موضوع ملوثات التربة .. فإن اهتمامات مربى النبات تجاهه كانت — ومازالت — محدودة.