عيب فسيولوجى – وإما لا يُكوِّن النبات أوراقًا بديلة لتلك التى أتلفت؛ الأمر الذى يترتب عليه نقص المحصول، وتَعَرُّض الأبصال المتكونة للفحة الشمس إذا بقيت فى الأرض دون حصاد.

وقد أجرت عديد من شركات التأمين السويسرية، والألمانية، والهولندية (Bürger ١٩٩٣) دراسات حول تأثير البَرَد على محصول البطاطس؛ تبين منها أن أكثر مراحل النمو النباتى التى يتأثر فيها النبات بالبَرَد هى عند تفتح الأزهار، أو قبل ذلك أو بعده بفترة وجيزة. ويعود نقص المحصول – أساسًا – إلى نقص المساحة الورقية، بسبب إتلاف البَرَد للأوراق. هذا .. إلا أن غالبية الأصناف – وخاصة المتأخرة النضج منها – يمكنها إنتاج أوراق جديدة؛ ولذا .. يندر أن يفشل المحصول تمامًا بسبب البَرَد.

وإذا سقط البَرَد أثناء تفتح أزهار نباتات البطاطس، وأدى إلى إتلاف جميع أوراق النبات .. فإن المحصول ينخفض بمقدار ٦٠٪، بينما يؤدى تلف ٥٠٪ من الأوراق إلى نقص المحصول بمقدار ٢٠٪–٣٠٪.

وبالرغم من أن البَرَد لا يحدث ضررًا مباشرًا للدرنات – التى تكون تحت سطح التربة – إلا أنه يؤدى إلى نقص حجم الدرنات المتكونة ووزنها النهائى عند الحصاد، وزيادة محتواها من السكريات المختزلة؛ الأمر الذى يؤدى إلى اكتساب الشبش والبطاطس المقلية المصنعة منها لونًا بنيًّا أو أسود غير مرغوب فيه.

تأثير غاز ثانى أكسيد الكربون على محاصيل الخضر

تأثير الغاز على المناخ

بالرغم من الأهمية القصوى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى، إلا أن الغاز ذاته لا يتغير بتغير المناخ السائد من منطقة لأخرى على سطح الكرة الأرضية، وإنما هو الذى يؤثر فى المناخ كله على سطح هذا الكوكب.

لقد أصبح من المسلم به أن النشاط الإنسانى المتزايد – المتمثل فى إحراق الوقود

الحفرى من فحم وبترول وغاز طبيعى، وإزالة الغابات، والإفراط فى الرعى وما ترتب على ذلك من تصحر – أدى إلى زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى. وقد قدرت هذه الزيادة بنحو جزء ونصف إلى جزأين فى المليون سنويًّا منذ نحو ٢٥ عامًا. كما صاحب إحراق الوقود الحفرى زيادة مماثلة فى المطر الحامضى، وفى كل من غازات الأوزون، وثانى أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين.

كما أصبح من المسلم به كذلك أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى أدت – وتؤدى – إلى رفع درجة الحرارة على سطح هذا الكوكب؛ ذلك لأن الغاز يعد "شفافًا" بالنسبة للجزء المنظور من الموجات الضوئية الصادرة عن الشمس – وهى التى تشكل الجزء الأكبر من الطاقة التى تصل إلينا من الشمس – إلا أن جزيئات غاز ثانى أكسيد الكربون الموجودة فى الغلاف الجوى تمتص كثيرًا من الطاقة الحرارية التى تنطلق من الأرض فى صورة أشعة تحت حمراء طويلة الموجة، ثم تعيد إشعاعها – مرة أخرى – فى جو الأرض – بدلاً من انطلاقها إلى الفضاء الخارجى.

وقبل النشاط الإنسانى المتسارع منذ منتصف القرن العشرين كان تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى بالقدر الذى يسمح بتسرب الطاقة الحرارية المنبثة من الأرض بما يكفى لاحتفاظ الأرض بتوازنها الحرارى. ولكن .. مع زيادة تركيز الغاز، أصبح قدر أكبر من الطاقة الحرارية المنبثة من الأرض يعود ثانية إلى جو الأرض بدلاً من انطلاقه إلى الفضاء الخارجى؛ الأمر الذى أدى – ويؤدى – إلى ارتفاع تدريجى فى درجة حرارة الأرض.

ونظرًا لأن غاز ثانى أكسيد الكربون يعمل – بالنسبة لكوكب الأرض – على منع فقد الحرارة المنبثة من الأرض – كما يفعل الغلاف الزجاجى بالنسبة للصوبة الزجاجية – لذا .. عُرفت هذه الظاهرة باسم "تأثير الصوبة Greenhouse Effect"، علمًا بأن المقصود بالصوبة هو كوكب الأرض.

وقد نشط الباحثون فى إيجاد الصيغ الرياضية التى تتنبأ بمقدار الزيادة فى درجة

حرارة كوكب الأرض مع زيادة تركيز نسبة الغاز فى الغلاف الجوى. وتُقدَّر هذه الزيادة فى إحدى الدراسات بنحو ٢,٨ °م عند تضاعف تركيز الغاز، بينما تقدرها دراسة أخرى بنحو ٢ °م عند خط الاستواء، مقابل زيادات أكبر فى درجة الحرارة كلما اتجهنا نحو القطبين؛ بحيث تكون الزيادة حوالى ٤ °م عند خط عرض ٥٠ ° شمالاً، وسبع درجات مئوية عند خط عرض ٧٠ ° شمالاً.

ويمكن تلخيص معظم التنبؤات المتعلقة بالارتفاع فى درجة حرارة كوكب الأرض عند تضاعف تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون بأن متوسط الارتفاع فى درجة الحرارة — عند مختلف خطوط العرض — سيتراوح بين ٢ °, ٣,٥ °م، بمدى يتراوح بين ١,٦ ° و ٤,٥ °م، ومتوسط عام للكرة الأرضية يقدر بنحو ٢,٥ °–٣ °م، علمًا بأن التدفئة تصل إلى أقصاها عند القطبين؛ الأمر الذى يترتب عليه ذوبان جزء من الثلوج المتراكمة بها؛ مما يرفع من مستوى المياه فى البحار والمحيطات إلى درجة تغطية مياه البحار جزءًا كبيرًا من اليابسة.

ولكن .. مقابل هذه النظرة التشاؤمية لتلك الظاهرة، فإن هناك وجهة نظر أخرى أكثر إشراقًا؛ تعتمد على حقيقة أن التركيز الحالى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى أقل من التركيز الأمثل لعملية البناء الضوئى. ويؤكد هذه الحقيقة أن زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية — فى دول الشمال — إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون — مقابل التركيز العادى الذى يبلغ نحو ٣٥٠ جزءًا فى المليون — أصبح إجراء روتينيًّا لزيادة محصول الصوبات من الخضر ونباتات الزينة.

ويتوقع العلماء أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ستؤدى إلى زيادة الإنتاج من مختلف المحاصيل الزراعية. ويُقدّر أن مضاعفة تركيز الغاز ستؤدى إلى زيادة معدل البناء الضوئى فى النباتات الـ C_3 بنحو ٥٠٪، مع زيادة المحصول والوزن الجاف من ٢٠٪–٤٥٪ (عن Wittwer ١٩٨٣).

وللقراءة الممتعة فى هذا الموضوع .. يراجع جريبيين (١٩٩٢، ترجمة أحمد مستجير).

تأثير الغاز على النمو المحصولى تحت ظروف الحقل

تستفيد النباتات من زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء المحيط بها، وهو أمر تؤكده عديد من الدراسات التى أجريت على النباتات النامية فى البيوت المحمية فى المناطق التى لا تلزم فيها التهوية لخفض درجة الحرارة، وخاصة عندما تكون حرارة الهواء الخارجى شديدة الانخفاض؛ الأمر الذى يخشى معه من حدوث انخفاض شديد فى درجة الحرارة داخل الصوبة عند تهويتها، أو الذى تترتب عليه زيادة كبيرة فى تكلفة التدفئة؛ ولذا يلجأ منتجو الخضر المحمية فى تلك المناطق إلى زيادة تركيز الغاز – بالوسائل الصناعية – فى جو الصوبة.

ونظرًا لصعوبة التحكم فى تركيز الغاز فى الزراعات المكشوفة؛ لذا .. لم يحاول أحد من الباحثين دراسة تأثير تركيز الغاز فى مثل هذه الظروف، إلا أن الأنفاق المنخفضة يمكن أن تمثل بيئة محددة يمكن التحكم فيها فى الأيام التى لا يجوز فيها فتحها لتهويتها بسبب شدة انخفاض الحرارة فى الجو الخارجى. ففى مثل هذه الظروف ينخفض تركيز الغاز بشدة من جَرّاء استنفاذه فى عملية البناء الضوئى، وتفيد زيادة تركيز الغاز – فى ظروف كهذه – فى زيادة المحصول. وتكون الزيادة فى المحصول أكبر عند زيادة تركيز الغاز عن المستوى الطبيعى له فى الهواء الجوى.

ففى دراسة أجريت على الخيار والكوسة والطماطم، أضيف الغاز إلى أنفاق الزراعة – من خلال أنابيب الرى بالتنقيط فى غير أوقات الرى – بحيث ظل تركيز الغاز داخل النفق يتراوح بين ٠,٧٪ و ١٪ (يبلغ التركيز الطبيعى للغاز حوالى ٠,٣٥٪) خلال فترة الإضاءة يوميًّا لمدة حوالى أربعة أسابيع بعد الإنبات. وقد أدت هذه المعاملة إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات، وزيادة المحصول بنسبة ٣٠٪ للخيار، و ٢٠٪ للكوسة، و ٣٢٪ للطماطم. وقد شكّلت التغذية بثانى أكسيد الكربون أقل من ١٠٪ من التكلفة الإجمالية السابقة للحصاد (عن Hartz وآخرين ١٩٩١).

كما درس Fierro وآخرون (١٩٩٤) تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون من ٣٥٠ إلى ٩٠٠ جزء فى المليون لمدة ثمانى ساعات يوميًّا – خلال فترة إنتاج الشتلات

داخل البيوت المحمية – على نمو محصولى الطماطم والفلفل عند زراعتهما بعد ذلك تحت ظروف الحقل. ووجد الباحثون أن هذه المعاملة أدت – عند زيادة الإضاءة لمدة ٣ أسابيع قبل الشتل – إلى زيادة وزن الشتلات الجاف بنسبة حوالى ٥٠٪ للنموات القمية، و ٤٩٪، و ٦٢٪ للنمو الجذرى فى كل من الطماطم والفلفل على التوالى، بينما ازداد المحصول فيهما بنسبة ١٥٪، و ١١٪ على التوالى.

ملوثات الهواء الجوى وتأثيرها على نمو وتطور نباتات الخضر

أنواع الملوثات

يتلوث الهواء فى بعض المناطق ببعض المركبات التى تضر المزروعات ومن أوسع هذه المركبات انتشارًا وأكثرها ضررًا: غاز ثانى أكسيد الكبريت، والأوزون، وبدرجة أقل: غازات وأبخرة الكلور، والأمونيا، وحامض الأيدروكلوريك، وبعض الغازات الأخرى الأقل أهمية: مثل: الفلوريد، والإثيلين، وثانى أكسيد النيتروجين.

وقد قُدر أن ما يقرب من ١٢٥ مليون طن من ملوثات الهواء تنطلق سنويًّا 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، و ١٩٪ للصناعة، و ١٢٪ لمحطات توليد الطاقة، و ٩٪ لأعمال التدفئة وحرق المخلفات (جانيك ١٩٨٥) ويكثر الإثيلين 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 جدًّا من الهواء – بكل ما يحمله من ملوثات – لكى تحصل على حاجتها من غاز ثانى أكسيد الكربون. فيقدر – مثلاً – 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