كذلك فإن تنظيف أغطية البيوت من الأتربة التى تتراكب عليها خلال فصل الصيف يفيد كثيرًا فى زيادة نفاذيتها لأشعة الشمس عند الحاجة لذلك خلال فصل الشتاء . ويعتبر ذلك الإجراء ضروريًا فى بداية فصل الشتاء فى المناطق الباردة والمعتدلة والحارة على حد سواء . وأفضل طريقة للتنظيف هى برش الغطاء أولًا بمحلول ٥٪ من حامض الأوكساليك ، ثم غسله بالماء . ويجب عدم استعمال ماء به نسبة مرتفعة من الجير ، حتى لا يترك رواسب على الزجاج (Anon. ١٩٨٠) .

٢ – ٥ – ٢ : التحكم فى الفترة الضوئية

يعتبر التحكم فى الفترة الضوئية بالزيادة أو بالنقصان إحدى المعاملات الزراعية الروتينية فى الإنتاج التجارى لبعض نباتات الزهور ، بغية التحكم فى موعد إزهارها . أما فى محاصيل الخضر ، فليس لذلك الأمر أهمية تذكر إلا فى الحالات التالية :

١ – فى البيوت المحمية المخصصة لأغراض البحوث كالدراسات الخاصة بالتأقت الضوئى .

٢ – فى المناطق الشمالية شتاء عندما تكون الفترة الضوئية أقصر مما يلزم للنمو النباتى الجيد .

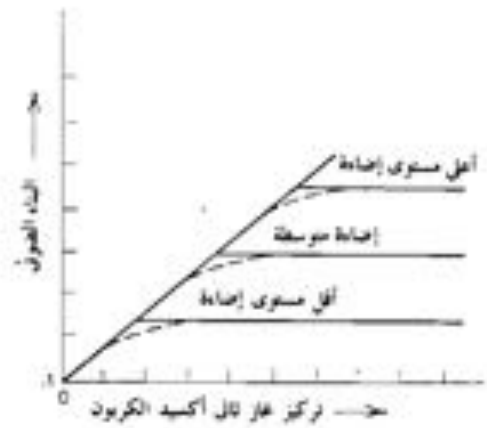
هذا .. ويتم تقصير الفترة الضوئية بسواتر من القماش الأسود تثبت على حوامل خاصة أعلى النباتات تمنع وصول الضوء إليها بعد عدد معين من ساعات النهار . وتحرك هذه السواتر يدويًا فى الوقت المحدد يوميًا . أما إطالة الفترة الضوئية ، فتتم بالإضاءة الصناعية كما سبق بيانه فى الجزء (٢ – ٥ – ١) .

٢ – ٦ : التحكم فى نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء البيت

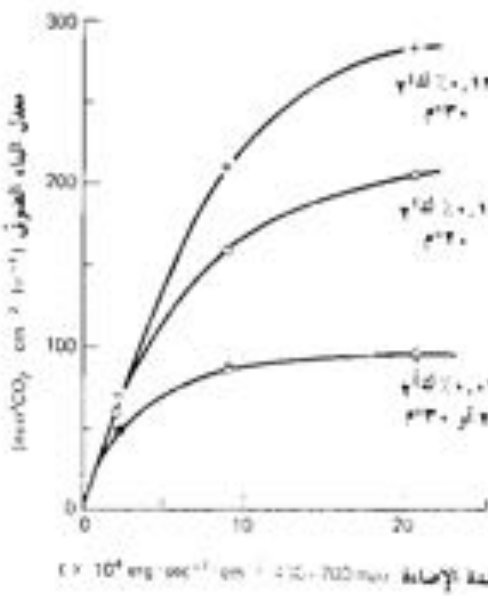
تستهلك النباتات غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى . فإذا ظلت البيوت المحمية مغلقة لفترة طويلة ، كما هو الحال فى المناطق الباردة خلال فصل الشتاء ، فإن تركيز الغاز ينخفض إلى معدلات شديدة الانخفاض يقل معها معدل البناء الضوئى بدرجة كبيرة . وقد أثبتت العديد من الدراسات أن نسبة الغاز تنخفض كثيرًا حول النموات النباتية النشطة فى البيوت المحمية ، وقد يستمر هذا الانخفاض لفترات طويلة . ويصاحب ذلك نقص فى معدل البناء الضوئى يصل إلى ٥٠٪ عند انخفاض تركيز الغاز إلى ١٦٠ جزء فى المليون (٠,٠١٦٪) . وعلى العكس من ذلك .. فإن معدل البناء الضوئى يزداد بمقدار ٥٠٪ عند زيادة تركيز الغاز من ٣٣٥ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون (أى من التركيز الطبيعى ٠,٠٣٣٥٪ إلى ٠,١٪) . وقد تصل الزيادة فى البناء الضوئى إلى ١٠٠٪ إذا كانت الزيادة فى تركيز الغاز مصحوبة بإضاءة قوية وحرارة مرتفعة بالقدر المناسب للنمو النباتى (عن Slack & Hard ١٩٨٤) .

ويخضع تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون على معدل البناء الضوئى لقانون العامل المحدد Principle of the limiting factor ، كما هو مبين فى شكل (٢ – ٣٦) . فتؤدى زيادة تركيز الغاز إلى زيادة معدل البناء الضوئى إلى أن يصبح مستوى الإضاءة عاملًا محددًا ؛ فتتوقف الزيادة فى معدل البناء الضوئى . ومع زيادة مستوى الإضاءة تستمر الزيادة فى معدل البناء الضوئى مع زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون ، حتى يصبح الضوء عاملًا محددًا مرة ثانية .. وهكذا . ويبين شكل (٢ – ٣٧) كيف يتفاعل كل من تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون وشدة الإضاءة ودرجة الحرارة فى التأثير على

معدل البناء الضوئى فى الخيار : نجد فى جميع المنحنيات بالشكل أن معدل البناء الضوئى يزداد تدريجياً بزيادة شدة الإضاءة ، لكن الزيادة تظل محدودة فى التركيز المنخفض للغاز أيًا كانت درجة الحرارة . ومع زيادة تركيز الغاز يزداد معدل البناء الضوئى ، لكن هذه الزيادة تكون أكبر فى درجة الحرارة المرتفعة (٣٠°م) ، عنه فى درجة الحرارة المنخفضة (٢٠°م) (عن Mastalerz ١٩٧٧) .



شكل ٢ – ٣٦ : تأثير شدة الإضاءة على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (نظرية العامل المحدد) .



شكل ٢ – ٣٧ : تتداخل درجة الحرارة مع شدة الإضاءة فى التأثير على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى فى الخيار عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون

هذا .. وتتوقف الزيادة فى النمو عند زيادة تركيز الغاز على المحصول المزروع ، وحالته ، وعمره ، والظروف البيئية الأخرى . فقد أوضحت العديد من الدراسات استجابة الطماطم والخيار والخس لهذه المعاملة . وعمومًا .. تكون الاستجابة كبيرة عندما يكون المحصول المزروع بحالة جيدة ، خاصة فى المراحل المبكرة من النمو ، وعندما تكون الإضاءة جيدة والحرارة مناسبة .

هذا .. ولا توجد أية خطورة على الإنسان من جراء زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية حتى التركيز المناسب الذى يتراوح عادة من ١٠٠٠ – ١٥٠٠ جزء فى المليون ، لأن الإنسان يتحمل زيادة تركيز الغاز حتى ٥٠٠٠ جزء فى المليون .

٢ – ٦ – ١ : الإستجابة للتغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى محاصيل الخضر

درست الاستجابة للتغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى عدد من محاصيل الخضر ، لكنها تركزت على ثلاثة محاصيل هى : الطماطم ، والخيار ، والخس .

١ – الطماطم

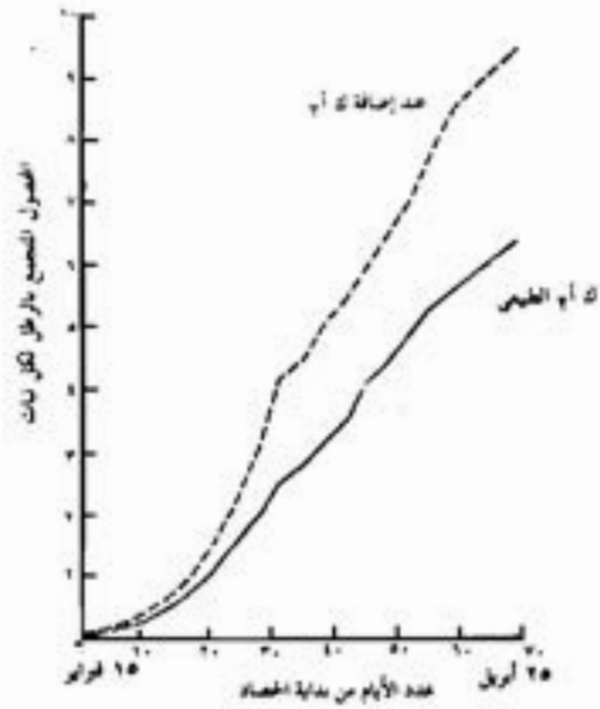
وجد فى دراسة أجريت على الطماطم فى البيوت المحمية أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون إلى ١٢٠٠ جزء فى المليون أدت إلى زيادة المحصول المبكر بنسبة ١٥٪ ، والمحصول الكلى بنسبة ٨٪ (Hand & Soffe ١٩٧١) . كما أوضح O'Leary & Knecht (١٩٧٤) أن زيادة تركيز الغاز من ٤٠٠ – ٨٠٠ جزء فى المليون أحدثت زيادة جوهرية فى المحصول وحجم الثمار . كذلك وجد أن زيادة تركيز الغاز لمدة ٦,٥ ساعة يوميًا أدت إلى التبكير فى النضج ، وزيادة وزن الثمرة ، وزيادة المحصول الكلى بنسبة ٣٥٪ ، وذلك بالمقارنة بزيادة قدرها ٣١٪ و ٢٤٪ فى محصول الفلفل والباذنجان على التوالى . ويبين شكل (٢ – ٣٨) تأثير المعاملة بالغاز على محصول الطماطم (عن Wittwer & Houma ١٩٧٩) .

وقد أوضحت دراسات Nilsen وآخرين (١٩٨٣) أن الإضاءة العالية ليست ضرورية فى الطماطم لكى تحدث استجابة جيدة لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون ، فقد ازداد معدل البناء الضوئى جوهريًا فى كل المعاملات ، بما فى ذلك أقل المستويات ، لكن الحرارة المرتفعة كانت عاملًا محددًا ، فازدادت الاستجابة لزيادة تركيز الغاز مع ارتفاع درجة الحرارة . وقد صاحبت الزيادة فى معدل البناء الضوئى زيادة جوهرية فى المحصول الطازج والجاف .

٢ – الخيـــــار

أوضحت العديد من الدراسات أن نبات الخيار يستجيب لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية ، بشرط توفر إضاءة جيدة وحرارة مناسبة . وقد كانت الاستجابة فى صورة زيادة فى نمو الأوراق ، والتفريع ، والإزهار ، والمادة الجافة ، والمحصول المبكر ، والمحصول الكلى . فمثلًا .. وجد Hopen & Ries (١٩٦٢) أن نباتات الخيار استجابت للزيادة فى تركيز الغاز من ٣٥٠ حتى ٢١٥٠ جزء فى المليون . وبرغم أن هذه الاستجابة حدثت أيًا كانت شدة الإضاءة ، إلا أن الاستجابة لزيادة تركيز الغاز كانت أكبر مع ازدياد شدة الإضاءة من ٣٠٠ إلى ١٤٠٠ قدم – شمعة . وقد تمثلت هذه الاستجابة على شكل زيادة فى الوزن الطازج ، والوزن الجاف للنبات ،

وطول النبات ، وعدد الثمار بالنبات . كما أوضحت دراسات Slack & Hand (١٩٨٤) أن نباتات الخيار تستجيب للزيادة فى تركيز الغاز حتى ١٠٠٠ جزء فى المليون شتاءً ، وحتى ٤٥٠ جزء فى المليون صيفًا ، وكانت الاستجابة على شكل زيادة فى المحصول ومتوسط وزن الثمرة . وقد كانت العلاقة طردية بين المحصول ومتوسط تركيز الغاز فى جو البيت ، وكانت المعاملات اقتصادية برغم احتياج البيوت للتهوية صيفًا .



شكل ٢ - ٣٨ : تأثير المعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون على المحصول فى الطماطم .

٣ - الخـــس

يعتبر الخس من الخضر التى تستجيب بصورة جيدة لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية ، دون أن تتأثر نباتات الخس سلبيًا بنواتج احتراق الوقود المستخدم فى إنتاج الغاز . فقد وجد أن زيادة تركيز الغاز إلى ٣ - ٦ أضعاف التركيز الطبيعى يحدث التأثيرات التالية .

(أ) تبكير النضج مدة ١٠ أيام على الأقل ، مما يسمح بزراعة محصول إضافى من الخس فى نفس الموسم .

(ب) زيادة المحصول بمقدار ٤٠ إلى ١٠٠٪ ، وتكون الزيادة فى المحصول أكبر فى الأصناف السريعة النمو .

(جـ) زيادة نسبة المادة الجافة .

إلا أن الاستجابة العالية لزيادة تركيز الغاز تتطلب ما يلى :

(أ) زيادة درجة الحرارة بمقدار ٦ – ٨°م نهارًا و ٣°م ليلًا .

(ب) زيادة معدلات الرى .

(جـ) زيادة معدلات التسميد ، خاصة بالنسبة للسماد الأزوتى (Wittwer & Hdema ١٩٧٩) .

٢ – ٦ – ٢ : مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية

من أهم مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية ما يلى :

١ – بعض أنواع الهيدروكربونات ، مثل : البارافين paraffin ، أو غاز البروبان propane ، حيث يؤدى احتراقها فى مواقد خاصة إلى إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون ، لكن يجب أن تكون هذه الهيدروكربونات على درجة عالية من النقاوة ، نظرًا لأن الكبريت الموجود بها قد يتحول إلى غاز ثانى أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الماء بسهولة ، ثم يتحول إلى حامض كبريتوز ، ثم إلى حامض كبريتيك ؛ مما يؤدى إلى احتراق أوراق النبات .

كما يجب أن يكون الاحتراق تامًا ، لأن الاحتراق غير التام يتبعه إنتاج غازات الإيثيلين ، وأول أكسيد الكربون ، وكلاهما ضار بالنباتات ، والثانى سام للإنسان ، ولهذا .. تستخدم مواقد خاصة لإنتاج الغاز . وعند تشغيلها يجب معايرتها باستمرار لتعطى دائمًا لهبًا أزرق صافيًا ، مع توفير أكسجين كافٍ لتمام احتراق الوقود .

٢ – ينتج الغاز أيضًا بتسامى غاز ثانى أكسيد الكربون الصلب (الثلج الجاف) بوضعه فى أوان تعلق فى أماكن متفرقة من البيت .

٣ – كما ينتج الغاز بتبخير ثانى أكسيد الكربون السائل من خلال أنابيب بولیثلين مثقبة ، كتلك المستعملة فى تهوية البيوت (Quarrell & Acc ١٩٧٥) .

٢ – ٦ – ٣ : الحالات التى تجدى فيها التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون

لا تفيد التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون إلّا فى المناطق الباردة ، حيث تظل البيوت المحمية محكمة الغلق للمحافظة على درجة الحرارة بها ، مما يؤدى إلى استهلاك الغاز فى عملية البناء الضوئى . ويعتبر خط عرض ٣٥ (شمال أو جنوب خط الاستواء) هو الحد الفاصل بين المناطق التى يمكن فيها التغذية بالغاز ، وتلك التى لا تناسبها إضافة الغاز . ففى خطوط العرض الأقل من ذلك ترتفع درجة الحرارة داخل البيوت المحمية شتاءً إلى الحد الذى يتطلب تهويتها ، مما يستحيل معه زيادة تركيز الغاز .

كذلك فإن إضافة الغاز لا تجدى إلا خلال ساعات النهار ، حتى يمكن الاستفادة منه فى عملية البناء الضوئى .

ولا تكون الإضافة مجدية عادة إلا خلال فترة انخفاض درجة الحرارة من أكتوبر حتى مايو . وتزيد الاستفادة من إضافة الغاز عند الاهتمام بالإضاءة ورفع درجة الحرارة (Nelson ١٩٨٥) .

٢ - ٦ - ٤ : حساب احتياجات البيوت من غاز ثانى أكسيد الكربون

العوامل المؤثرة على احتياج البيوت من الغاز

تتأثر احتياجات البيوت المحمية من غاز ثانى أكسيد الكربون بالعوامل التالية :

١ - السرعة التى يتغير بها هواء البيت

يتغير هواء البيت باستمرار ، حتى ولو كان محكم الغلق وفى غير فترات التهوية ، وذلك بسبب وجود منافذ وشقوق يتسرب منها الهواء للخارج . وتختلف سرعة تغير الهواء حسب نوع البيت . فالبيوت الزجاجية المعتنى بها يتغير فيها ربع إلى ضعفى هواء البيت كل ساعة بصورة طبيعية وبدون تهوية ، ويتوقف ذلك على سرعة الهواء فى الجو الخارجى . وفى المتوسط يتغير هواء البيت مرة كل ساعة . وبالمقارنة .. فإن هواء البيوت البلاستيكية المحكمة الغلق يتغير بمعدل نصف إلى ثلثى مرة فى الساعة .

٢ - طريقة إضافة الغاز

فالغاز المضاف فى صورة نقية تكون حرارته مساوية تقريبًا لحرارة البيت أو أقل قليلًا ، فيبقى فى المنطقة المحيطة بالنباتات ، خاصة أن الغاز يضاف عادة من خلال ثقوب دقيقة فى أنبوبة بلاستيكية تمتد بجانب النباتات . أما الغاز الناتج من احتراق الوقود ، فإن حرارته تكون أعلى بكثير من حرارة الهواء داخل البيت (خاصة عندما تقع أجهزة حرق الوقود داخل البيت) . ويؤدى ذلك إلى خفة وزنه وتصاعده لأعلى بسرعة ، حيث يتراكم فى قمة البيت قريبًا من فتحات التهوية ، مما يزيد من فرصة فقده إلى خارج البيت ، خاصة عندما لا تكون فتحات التهوية محكمة الغلق .

٣ - سرعة استنفاذ النباتات للغاز

تتوقف سرعة استهلاك النباتات للغاز على حجم الجو النباتى ، ودرجة الحرارة ، وشدة الإضاءة . وتتراوح الكمية المفقودة عادة من صفر - ١٥ رطلًا من الغاز/ فدان/ ساعة . ويحدث أقصى استهلاك للغاز عندما يكون الجو النباتى مغطيًا للمساحة المزروعة تمامًا ، مع توفر إضاءة قوية .

٤ - تنفس الكائنات الدقيقة ، وتحلل المادة العضوية

يؤدى تنفس الكائنات الدقيقة فى التربة وتحلل المادة العضوية التى توجد بها إلى إنتاج كميات محسوسة من الغاز تتصاعد إلى جو البيت . وتزداد هذه الكميات المنتجة طبيعيًا بصورة جوهرية عند استعمال بالات القش المضغوط فى الزراعة ، فيزيد تركيز الغاز بعد الزراعة بفترة قصيرة إلى ٠,٠٧ - ٠,١٪ ، ثم تنخفض النسبة لتستقر بعد عدة شهور عند حوالى ٠,٠٤٪ .

حساب كمية الغاز اللازمة

إذا أُخذت جميع العوامل المؤثرة على احتياجات البيوت من الغاز فى الاعتبار ، فإن الكمية اللازمة منه تقدر فى المتوسط بنحو ٣٠ - ٩٠ رطلًا/ فدان/ ساعة لإيصال تركيز الغاز إلى ٠,١٪ ويمكن القول بأنه عندما تستنفد النباتات ١٥ رطلًا من الغاز/ فدان/ ساعة تحت الظروف الطبيعية ، فإن

الكمية اللازمة من الغاز (للفقدان فى الساعة) تقدر بنحو ٤٠ رطلاً عندما يتغير هواء البيت مرة كل ساعة ، وبنحو ٦٠ رطلاً عندما يتغير هواء البيت مرة كل ثلثى ساعة . ويمكن بذلك حساب الكمية اللازمة من الفروقات ، علمًا بأنها تنتج الغاز بمعدل ٣ أرطال عند احتراق أى من الكميات التالية :

رطل واحد من البروبان propane

٠,١٢٥ جالون من البارافين paraffin .

٠,٢٣ therms من الغاز الطبيعى (Allen ١٩٧٣) .

طريقة تقدير تركيز الغاز

يلزم توفر الأجهزة الخاصة بتقدير تركيز الغاز بدقة فى جو البيت ، وأبسطها هى الأجهزة التى تعتمد فى عملها على تغير لون مركب كيمائى حساس للغاز بدرجة تعتمد على تركيز الغاز ، وبذلك يمكن تقدير التركيز من اللون المشاهد .

وللمزيد من التفاصيل عن استخدامات غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية يراجع المؤلف الخاص بذلك للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (Amer. Soc. Agr. Eng. ١٩٨٠) .

٢ – ٧ : برمجة الاحتياجات البيئية فى العقل الإليكترونى

يستخدم العقل الإليكترونى فى البيوت المحمية لتنظيم التحكم فى كافة العوامل البيئية . ويمكن برمجته ليتحكم فى كل مما يلى :

١ – درجة الحرارة (التدفئة والتهوية والتبريد) .

٢ – نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون .

٣ – الرطوبة الأرضية (الرى)

٤ – تركيز العناصر السمادية (التسميد) .

٥ – التركيز الكلى للأملاح فى ماء الرى .

وبذلك يمكن إدارة البيت بعدد أقل من العاملين وبأمان أكبر ، مع عدم الحاجة إلى رقابة دائمة طوال ساعات النهار والليل . ويبين شكل (٢ – ٣٩) جانبًا من أجهزة التحكم فى العوامل البيئية فى مجموعة من البيوت المحمية .