ويفضل استعمال ستائر ذات سطح خارجي عاكس للضوء، حتى لا تتجمع الحرارة تحتها، الأمر الذى قد يسبب أضرارا للنباتات ويمكن الحد من هذه المشكلة بسحب الستارة من السابعة مساء وليس قبل ذلك

اما زيادة طول الفترة الضوئية فإنها تتم بالإضاءة الصناعية وإذا كان الهدف من وراء ذلك هو تحسين ظروف النمو فى المناطق الشمالية شتاءً (حيث يكون النهار فيها قصيرًا للغاية)، فإن المصابيح تتم إضاءتها لعدة ساعات يوميًا ابتداءً من قبل الغروب بنحو ساعة أو ساعتين. أما إذا كان الهدف من زيادة طول الفترة الضوئية هو تحفيز نباتات النهار الطويل (أو نباتات الليل القصير) على الإزهار فإن ذلك يتم بتوفير الإضاءة الصناعية — لفترة قصيرة — فى منتصف فترة الظلام، حيث تتحول صبغة الفيتوكروم Phytochrome Pigment — التى تتراكم فى النباتات أثناء الظلام — سريعًا — إلى الصورة Pfr — بمجرد تعرض النباتات للضوء، الأمر الذى يحفز نباتات النهار الطويل على الإزهار.

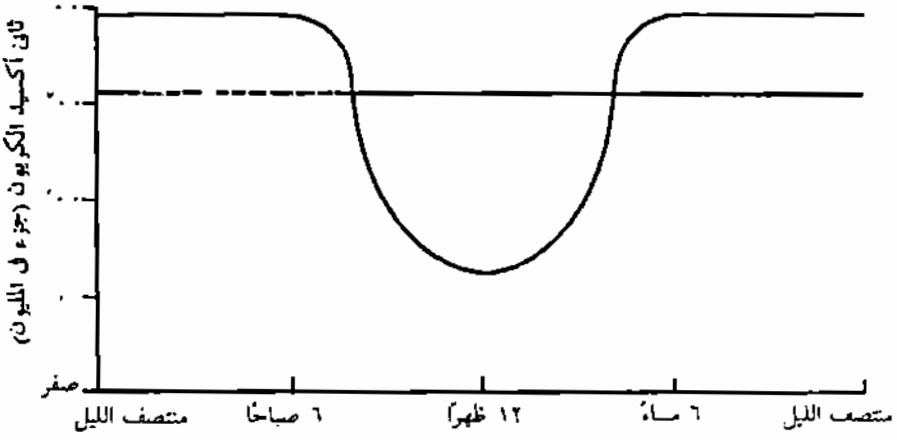
وتستعمل المصابيح المتوهجة (التنجستين) فى كسر فترة الظلام الطويلة، لأن نسبة كبيرة من الضوء الذى ينبعث منها يكون فى منطقة الضوء الأحمر المطلوب للصبغة Pr كما يتم إحداث التأثير المطلوب بشدة إضاءة منخفضة للغاية لا تتعدى ١١–٢٢ لكس (١–٢ قدم شمعه) فى معظم النباتات. ولكن تستعمل — عادة — إضاءة شدتها ١٠٨ لكس (١٠ قدم شمعة). كما ينبغى وصول الضوء إلى الأوراق المكتملة النمو، لتأمين إحداث التأثير المطلوب.

ويمكن جعل صبغة الفيتوكروم فى الصورة Pfr — دائمًا — بتوفير وميض من الضوء — بشدة ١٠٨ لكس (١٠ قدم شمعة) — لمدة ثانية واحدة كل خمس ثوان. وعلى الرغم من أن ذلك يوفر فى الطاقة الكهربائية المستهلكة، إلا أنه يزيد من التكلفة الإنشائية لاحتياج هذا النظم إلى مفتاح تشغيل ذى قدرة كبيرة على التحمل.

## التحكم فى نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء البيوت المحمية

تستهلك النباتات غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى. فإذا ظلت

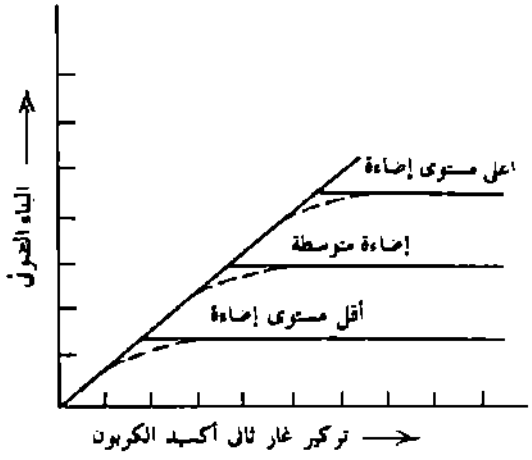
البيوت المحمية مغلقة لفترة طويلة — كما هى الحال فى المناطق الباردة خلال فصل الشتاء — فإن تركيز الغاز ينخفض إلى معدلات شديدة الانخفاض يقل معها معدل البناء بدرجة كبيرة. وقد أثبتت عديد من الدراسات أن نسبة الغاز تنخفض حول النموات النباتية النشطة فى البيوت المحمية أثناء النهار، وقد يستمر هذا الانخفاض لفترات طويلة (شكل ٣-٢٣). ويصاحب ذلك نقص فى معدل البناء الضوئى يصل إلى ٥٠٪ عند انخفاض تركيز الغاز إلى ١٦٠ جزءًا 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 & Hand ١٩٨٥).




شكل (٣-٢٣): التغيرات فى نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية المغلقة (الخط البيانى المتصل)، مقارنة بنسبة الغاز فى الهواء الطلق (الخط المتقطع) (عن Ball ١٩٨٥).

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 (٣-٢٤). فتؤدى زيادة تركيز الغاز إلى زيادة معدل البناء الضوئى إلى أن يصبح مستوى الإضاءة عاملاً محددًا؛ فتتوقف الزيادة فى معدل البناء الضوئى. ومع زيادة مستوى الإضاءة

تستمر الزيادة فى معدل بناء لضوئى مع زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون؛ حتى يصبح الضوء عاملا محددا مرة ثانية وهكذا

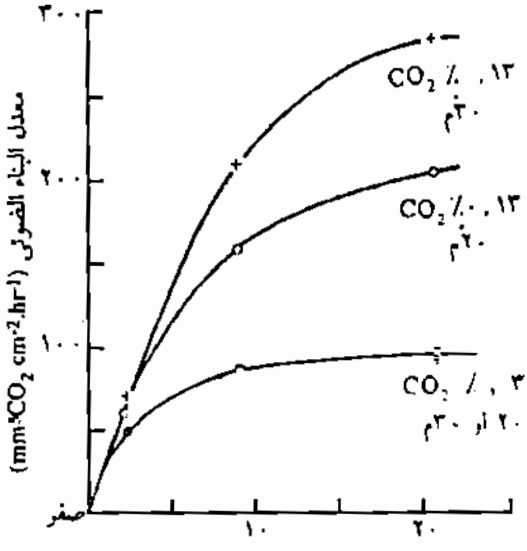



شكل (٣-٢٤) تأثير شدة الإضاءة على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (نظرية العامل المحدد).

ولقد ازداد معدل البناء الضوئى فى نباتات الخس بالمزارع الهوائية (وهى التى تبقى فيها الجذور فى الهواء، مع تعرضها لرذاذ دقيق من المحلول المغذى)، وازداد فيها توصيل الثغور بارتفاع حرارة الهواء من ٢٢/٢٨°م (نهار/ليل) إلى ٣٠/٣٦°م. وتراكم بالنباتات قدرًا أكبر من المواد الغذائية المجهزة فى الحرارة العالية. كذلك وجد فى شدة إضاءة بناء ضوئى PAR ≤ ٦٠٠ ميكرومول/م$^{2}$ فى الثانية أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون حول الجذور من التركيز الطبيعى ٣٦٠ جزءًا فى المليون إلى ٢٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ أو ٥٠٠٠٠ جزءًا فى المليون أحدثت زيادة جوهرية فى معدل البناء الضوئى وانخفاضًا فى درجة توصيل الثغور وفى التركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون حول الجذور كانت الزيادة فى الكتلة الحيوية أعلى فى الجذور عما فى النموات الخضرية؛ الأمر الذى قلل من نسبة النموات الخضرية إلى الجذور (He وآخرون ٢٠١٠)

ويبين شكل (٣-٢٥) كيف يتفاعل كل من تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون وشدة

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




**شكل (٣-٢٥): تداخل درجة الحرارة مع شدة الإضاءة فى التأثير على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى فى الخيار عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون.**

وتتوقف الزيادة فى النمو — عند زيادة تركيز الغاز — على المحصول المزروع، وحالته، وعمره، والظروف البيئية الأخرى. فقد أوضحت عديد 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، مع الاهتمام بالتسميد.

وعند التعذية بغاز ثانى أكسيد الكربون تتعين زيادة تركيز العناصر المغذية قليلاً لكى تكون الاستفادة كاملة من الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى جراء الزيادة فى تركيز الغاز وتجدر ملاحظة أن زيادة تركيز الغاز تُحدث انغلاقا جزئيًا للثغور، الأمر الذى يؤثر فى معدل النتح، ومن ثم معدل امتصاص عنصرى الكالسيوم والبورون، مما يتطلب زيادة تركيز هذين العنصرين خاصة.

هذا ولا توجد أية خطورة على الإنسان من جراء زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية حتى التركيز المناسب الذى يتراوح – عادة – بين ١٠٠٠ و ١٥٠٠ جزء فى المليون، لأن الإنسان يتحمل زيادة تركيز الغاز حتى ٥٠٠٠ جزء فى المليون، ولكن زيادته لأكثر من ذلك تؤدى إلى الاختناق، لعدم قدرة الرئتين على أداء وظيفتهما بكفاءة تحت هذه الظروف.

## مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية

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

١- بعض أنواع المحروقات، مثل الكيروسين، والبارفين Paraffin، وغاز البروبان Propane. والغاز الطبيعى حيث يؤدى احتراقها فى مواقد خاصة إلى إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون. لكن يجب أن تكون هذه المحروقات على درجة عالية من النقاوة، نظرًا لأن الكبريت الموجود بها قد يتحول إلى ثانى أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الماء بسهولة، ثم يتحول إلى حامض كبريتوز، ثم إلى حامض كبريتيك، مما يؤدى إلى احتراق أوراق النبات. ولذا يجب ألاّ يزيد محتوى الوقود من الكبريت عن ٠,٠٢٪ بالوزن. ويتم التحكم فى تركيز الغاز فى الصوبة بالتحكم فى معدل الاحتراق، أو فى كمية المحروقات المستعملة.

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