

la 12 y 16 horas, horario en el que la planta está más ávida de gas carbónico y también es cuando las condiciones son más propicias para una mejor actividad metabólica.

El incremento de la concentración de CO_2 a determinados niveles, puede propiciar un mejor desarrollo de la planta, dado que la presencia en la planta de soluciones que contengan $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{CO}_3$ y sus elementos de disociación, incrementan la asimilación de CO_2 , induciendo a un mejor desarrollo del cultivo y mejor producción de biomasa.

Para aumentar los niveles de CO_2 en los invernaderos los métodos pueden ser distintos: aumentar la ventilación, recircular los gases procedentes de la combustión de la calefacción, o inyectar el CO_2 puro previo almacenamiento en bombonas.

El incremento de la concentración de CO_2 a determinados niveles, puede propiciar un mejor desarrollo de la planta

Inyectar CO_2 en el ambiente de la plantan puede hacerse directamente a la atmósfera o bien a través de la red de riego. Independientemente del sistema elegido se recomienda la instalación de sensores que permitan la detección del gas -sobre todo a niveles altos-, evitar gases tóxicos -como el azufre- procedentes de la combustión y elegir un sistema de difusión que permita la mayor uniformidad posible dentro del cultivo.

Rentabilidad del enriquecimiento en CO_2

Por un lado, la ventilación -en el caso de los invernaderos-. Los analizadores de CO_2 instalados bajo la cubier-

El enriquecimiento carbónico en invernadero del Sur Mediterráneo

Uno de los principales factores que determinan el crecimiento y desarrollo de los cultivos es la asimilación fotosintética de CO_2 . La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se encuentra por debajo del nivel óptimo para la fotosíntesis (Enoch, H.Z., 1990), lo cual se agrava en el interior de los invernaderos debido a las bajas tasas de renovación de aire.

Las prospecciones llevadas a cabo en Almería en invernaderos comerciales durante las campañas de 1987 y 1989 indican que en el interior de las estructuras de cultivo se producen decrementos del 20% con respecto a la concentración exterior, aún cuando las ventanas permanecen abiertas. (Lorenzo, P. et al., 1990).

El aumento de la concentración de CO_2 por encima de la atmosférica origina incrementos productivos que varían en función de las condiciones de cultivo, la técnica de enriquecimiento carbónico utilizada (fuente, régimen, concentración), etc., se han descrito aumentos que oscilan entre el 14 y el 61% (Kimball, B.A., 1983).



Generador de CO_2 de parafina y tubería de distribución

Desde 1991 se vienen realizando en el C.I.D.H. de Almería experiencias de enriquecimiento carbónico en invernadero. Las estructuras utilizadas han sido de tres tipos, todas ellas con cubierta de polietileno: un invernadero tipo «parral de Almería» de 1000 m² construido con pilares de madera y alambre; un compartimento de 315 m² de un invernadero asimétrico a dos aguas, de tubo metálico y un multicapilla de tres naves con cubierta curva, de acero galvanizado, con una superficie total de 720 m². La tasa de infiltración del invernadero asimétrico y del multicapilla se sitúa en torno a 2.5 y 0.5 renovaciones por hora, respectivamente, determinadas a una velocidad de viento inferior a 3 m/s. En la es-

tructura de tipo parral se desarrollaron cultivos de judía de crecimiento indeterminado var. «Helda» en enarenado durante los ciclos de otoño-invierno de 1991/92, 1993/94 y de primavera 1992 y 1993. En el invernadero asimétrico se cultivó pepino var. «Virginia», en enarenado y sustrato de perlita, en ciclo de otoño-invierno 1993/94 y 1994/95 y judía de crecimiento indeterminado var. «Emerite» en primavera de 1994 y 1995. En el multicapilla se ha cultivado pepino var. «Nevada» en perlita en la campaña de otoño-invierno de 1995-96.

Se han aplicado dos métodos de enriquecimiento carbónico con diferente fuente de CO_2 y estrategia de dosificación.

En las experiencias desarrolladas en el



Vista general de cultivo de pepino, analizador-controlador de CO_2

invernadero parral se utilizó como fuente de CO_2 parafina de muy bajo contenido en azufre. La incorporación a la atmósfera del invernadero se llevó acabo mediante un generador de CO_2 que incorpora un ventilador para facilitar la distribución del CO_2 procedente de la combustión. Un analizador de CO_2 asociado a un controlador permiten el funcionamiento del equipo en base a la concentración máxima y mínimas deseadas. En nuestras experiencias estos puntos de control se fijaron en 350 y 600 vpm respectivamente. Un reloj-temporizador permite programar el enriquecimiento continuo durante el intervalo diario de mayor demanda, de 7 a 14 hora solar (h.s.). El aporte de CO_2 tuvo lugar a lo largo de

todo el cultivo. En la experiencia de otoño de 1993/94 la distribución del dióxido de carbono procedente del generador se realizó mediante una red de tubos de polietileno perforados que permitió un reparto del gas muy homogéneo.

Tanto en el invernadero asimétrico como en el invernadero multicapilla se ha utilizado CO₂ puro procedente de botellas, distribuido por un sistema de tuberías paralelo a la red de riego. El enriquecimiento responde al régimen programado en una computadora para la gestión de clima a través de las medidas de la concentración de CO₂ llevadas a cabo por el analizador situado en el interior del invernadero. El programa permite una estrategia de control de incorporación de CO₂ dinámica basada en la ventilación requerida y el estado fenológico del cultivo, parámetros a considerar para opti-



Tubería de distribución para CO₂ y emisor localizado a pie de planta

tátil, en el interior de una estructura tes-tigo de iguales características que el invernadero parral enriquecido y multicapilla. Hemos observado descensos de la concentración de CO₂ con respecto a la exterior en todas las estructuras con las ventanas cerradas, estos descensos son más importantes cuando el cultivo está desarrollado y presenta un índice de área foliar elevado (Sánchez-Guerrero, M.C. et al., 1995), llegando a detectarse a 2 m de altura concentraciones en torno a un 55% inferiores a la exterior en campaña de primavera. Cuando las ventanas se abren la concentración aumenta y se aproxima al nivel exterior pero sin alcanzarlo, lo que indica que la ventilación es insuficiente para restaurar la concentración exterior.

En las experiencias realizadas en el invernadero parral se observa un gradiente de concentración de CO₂ en el perfil vertical, con niveles más elevados en la base del cultivo, posiblemente debido a su producción por descomposición de la materia orgánica del suelo, este hecho no se aprecia en el invernadero multicapilla donde el cultivo se ha

con objeto de controlar la temperatura, por lo que la estrategia dinámica de enriquecimiento carbónico implica un menor aporte de CO₂ en el invernadero, como consecuencia se reduce el efecto sobre la producción frente al ciclo de otoño-invierno.

El CO₂ líquido, como fuente para el enriquecimiento, se considera la más adecuada por ser más pura y poderse aplicar desvinculada de la generación de calor. Sin embargo, el elevado precio actual en nuestro país cuestiona su utilización a pesar de los incrementos productivos obtenidos. Los combustibles fósiles se presentan como fuente alternativa, su uso implica considerar algunas precauciones: deben estar prácticamente libres de azufre y ha de llevarse a cabo un control muy preciso de la combustión para evitar contaminaciones (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y etileno) que producirían efectos fitotóxicos. Los sistemas de enriquecimiento carbónico generan incrementos productivos y su rentabilidad estaría condicionada tanto por el precio de la fuente utilizada como del producto.

P. Lorenzo, M.C Sánchez-Guerrero,
E. Medrano, J. Pérez, C. Maroto
C.I.D.H. Apdo. 91. El Ejido. Almería

BIBLIOGRAFIA

- Enoch, H.Z. 1990. Crop responses to aerial carbon dioxide. *Acta Horticulturae* 268: 17-32.
- Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observation. *Agro. J.* 75: 779-788. *Agriculture*, vol. 9, number 5, 1978.
- Lorenzo, P.; Castilla, N.; Maroto, C. 1990. CO₂ in plastic greenhouse in Almería (Spain). *Acta Horticulturae* 268: 165-169.
- Lorenzo, P. 1994. Intercepción de luz. Bioproduktividad e Intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernadero de *Cucumis sativus* L. En Almería. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 220 pp.
- Sánchez-Guerrero, M.C.; Pérez, J.; Lorenzo, P. 1995. Enriquecimiento carbónico en invernaderos tipo parral almeriense. *Acta VI Congreso S.E.C.H. Barcelona*, p.324.

mizar la rentabilidad del sistema (Lorenzo, P. 1994). La concentración de CO₂ mantenida ha sido en torno a 650 vpm cuando las ventanas están cerradas y de 350 vpm cuando las exigencias térmicas o higrométricas accionan la ventilación, de esta forma se reduce el gradiente interior-exterior y se minimiza la pérdida de gas. El enriquecimiento se ha llevado a cabo durante las horas de mayor demanda entre las 6 y 16 h.s. con ligeras variaciones en función de la amplitud de iluminación diaria.

A lo largo de las experiencias se han realizado medidas de la concentración de dióxido de carbono mediante un I.R.G.A. (Analizador de Gases por Infrarrojo) por-

desarrollado sobre sustrato inerte.

La incorporación de CO₂ en el interior de estas estructuras ha influido significativamente en la producción de fruto: se han obtenido incrementos desde un 10-15% en judía en el invernadero tipo parral hasta un 25% en pepino en el multicapilla, con respecto al control. La asociación de enriquecimiento carbónico y apoyo térmico en el invernadero asimétrico ha propiciado aumentos en la producción de un 48% en pepino de otoño-invierno y un 20% en judía de primavera.

En ciclo de primavera la ventilación permanece activa buena parte del día