

Horticultura intensiva en el Sur mediterráneo

Gestión del clima

Instalaciones y estrategias para el control activo del clima

La horticultura mediterránea ha tenido en las tres últimas décadas una notable expansión. Se desarrolla en estructuras sencillas de cubierta plástica, dotadas de instalaciones de riego simples y, en general, carentes de sistemas para el control climático, por lo que el crecimiento y desarrollo de los cultivos están sujetos a merced de la evolución del clima local, lo que induce acumulaciones productivas y amplias variaciones en la cantidad y calidad de las cosechas.

La elección de este sistema de producción pasivo, bajo el que no resulta posible la programación de las cosechas, ha tenido lugar probablemente debido a la baja capacidad de inversión que podía soportar el agricultor de esta zona y por otra parte, a las particulares características climáticas, con inviernos suaves, en los que la temperatura se presenta en determinados períodos del ciclo de cultivo fuera de los límites requeridos para el adecuado desarrollo de lo que se entiende por «cultivo intensivo». Se plantea el dilema entre la elección de invernaderos sencillos de bajo coste y sin apenas requerimientos energéticos o más complejos y equipados con sistemas para el control activo y consumo de energía adicional. En el sudeste de España por el momento se ha optado por la primera opción. Sin embargo, en un momento en que la mayor parte de la superficie invernada está amortizada, el sector manifiesta cierta inquietud y deseo de conocer aquellas técnicas e instalaciones que permiten mejorar el control sobre su producción. Los mejores rendimientos económicos marcarán las pautas sobre el interés de reconvertir y modernizar las instalaciones de cultivo tradicionales.

El análisis pormenorizado de la evolución del clima en las actuales estructuras de cultivo nos permite valorar los parámetros climatológicos susceptibles de ser controlados en términos de rentabilidad.

La radiación que alcanza el área productiva es uno de los factores determinantes de las ventajas agroclimáticas de los sistemas. En nuestra la-

titud, en torno al solsticio de invierno la máxima intensidad de radiación fotosintéticamente activa que llega al mediodía solar se sitúa alrededor de $900 \text{ mmol q.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en el exterior, las especies hortícolas comestibles que se cultivan en la zona (tomate, pepino, judía, pimiento, etc...) presentan un punto de saturación lumínica superior a $1000 \text{ mmol q.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Lorenzo, P., 1994), lo que significa que también en el área mediterránea durante el invierno la radiación es uno de los principales factores limitantes de la producción, por lo que la adecuada orientación y máxima transmisión de la cubierta y la optimización del ángulo de incidencia solar en el período más desfavorable, (solsticio de invierno), permite mejorar sustancialmente el resultado productivo del ciclo. Por otra parte nuestros resultados experimentales llevados a cabo durante el ciclo de invierno sobre cultivo de pepino refuerzan la idea de que la doble cubierta fija no mejora el rendimiento de este cultivo, pues proporciona un ligero incremento en los valores medios de las temperaturas mínimas, cuyo efecto queda anulado por la reducción de radiación que intercepta el cultivo a consecuencia del descenso de su transmisión a través de las cubiertas.

L a radiación que alcanza el área productiva es uno de los factores determinantes de las ventajas agroclimáticas de los sistemas

Paradójicamente, durante el ciclo de cultivo de primavera también hemos cuantificado en invernaderos comerciales reducciones importantes de radiación, motivadas por la práctica habitual en la zona consistente en blanquear la cubierta con objeto de reducir las temperaturas excesivas, derivadas de las bajas tasas de renovación



de aire en el interior del invernadero inducidas por una ventilación estática muy reducida. Nuestros resultados experimentales llevados a cabo en cultivos primaverales de judía y tomate cherry indican que con un 15% de superficie de ventana (cenital + lateral) respecto a la superficie de suelo cubierta y con una adecuada estrategia sobre el control de la ventilación automática, el blanqueo de la cubierta no parece necesario, pues su incidencia es mínima sobre la evolución de la temperatura interior cuando la planta presenta un alto índice de área foliar. En los invernaderos no blanqueados las medias de las temperaturas máximas no superaron prácticamente los 30°C , tampoco se observaron mermas cualitativas ni cuantitativas en las cosechas, por lo que parece lógico limitar el sombreado injustificado y realizado sin rigor. Aunque puede utilizarse con precaución para ahorrar agua.

C. von Zabeltitz (1992), ha sugerido para mejorar la ventilación estáti-



ca en los invernaderos del área mediterránea, que la superficie de ventilación debe estar entre el 18% y el 25% de la superficie cultivada. Actualmente nos parece un objetivo prioritario que presentaría un gran avance mejorar la ventilación en las estructuras de cultivo, tanto la superficie de ventana como la estrategia de manejo.

La temperatura media de las mínimas en invierno en la zona oscila entre 7 y 9° C (Montero, J. I., et al, 1985). La temperatura nocturna en el interior de un invernadero pasivo cubierto con lámina de polietileno es muy similar y frecuentemente se produce inversión térmica, especialmente en las noches de cielo despejado, cuando la turbulencia del aire en el interior de las estructuras es prácticamente nula. H. Verloft, (1990) ha establecido como umbral de las temperaturas mínimas nocturnas un rango entre 15 - 18.5° C, por debajo del que se necesitaría incorporación de calor para las especies hortícolas de: tomate, pimiento, pepi-

no, melón y judía. Estudios llevados a cabo, por expertos, sobre la eficacia energética en la concepción de invernaderos para el área mediterránea sugieren el valor de 12 C como límite inferior nocturno por debajo del cual sería necesario un sistema de calefacción, que permitiera el aporte térmico oportuno durante un período de la campaña invernal. Los resultados obtenidos en nuestras experiencias desarrolladas en la zona indican, que la incorporación de los sistemas de calefacción

L *a adecuada orientación, la máxima transmisión de la cubierta y la optimización del ángulo de incidencia solar en el período más desfavorable, mejoran el resultado productivo del ciclo*

Los excesos higrométricos pueden corregirse usando plásticos antigoteo. Para mejorar la ventilación estática en los invernaderos del área mediterránea se sugiere que la superficie de ventilación esté entre el 18 -25% del cultivo.

ción permiten mantener unos niveles térmicos adecuados durante la época invernal, que han propiciado incrementos productivos notables (en los cultivos de judía y pepino, 85% y 30% respectivamente respecto del control). Consideramos que si el ciclo productivo se centra en el período térmicamente más riguroso, en el que el precio del producto alcanza un valor alto, probablemente la incorporación de sistemas de calefacción podría ser rentable.

El clima de esta zona y las estructuras de cultivo utilizadas dan lugar a grandes variaciones diarias de humedad relativa. Es habitual pasar en un mismo día desde el punto de rocío a una humedad relativa del 30% o de

un déficit de presión de vapor (DPV) de 0.2 KPa durante la noche a valores superiores a 3 KPa al mediodía solar. Estas situaciones extremas que originan elevados déficit de presión de vapor entre las hojas y el aire, suelen presentarse los días de alta insolación, especialmente al inicio del cultivo, tanto en la campaña de otoño como en la de primavera, cuando el índice de área foliar de cultivo es bajo y por tanto también su capacidad de disipar energía a través de la transpiración. Estas condiciones propician desequilibrio hídrico en las plantas, cuando la demanda hídrica del ambiente supera la absorción de agua por el sistema radicular incapaz de abastecer las exigencias ambientales, las altas tasas de transpiración o el efecto directo del DPV pueden reducir la conductancia estomática y la fotosíntesis neta, el

El control de una higrometría excesiva en el interior de las estructuras de cultivo es un método de prevención de enfermedades criptogámicas

efecto sería más drástico, si cabe, después de noches frías seguidas de días despejados en los que se vería disminuida la absorción de agua por las raíces frías debido a una reducción de la conductividad hidráulica (Martínez, X., 1990). Esta respuesta, representa un comportamiento conservador propio de numerosas especies con el fin de evitar la deshidratación irreversible de la planta. Sin embargo, nuestras experiencias desarrolladas en cultivo de pepino indican que estas plantas mantienen altas tasas de transpiración, aún a déficits de presión de vapor elevados, en torno a 3 KPa, probablemente debido a procesos de aclimatación a estos regímenes hídricos rigurosos desde los estadios iniciales de su desarrollo.

La falta de automatismo en las estructuras de cultivo induce un escaso manejo de la ya de por sí reducida superficie de ventilación, por lo que la tasa de renovación del aire suele ser baja, lo que además de incidir negativamente en la composición del aire, puede provocar excesos higro-

métricos favoreciendo la condensación en la cara interior de las cubiertas, goteo sobre el cultivo y pérdida en la transmisión de radiación de la cubierta que ocasiona decrementos en la producción estimados entre el 8 y 15%. Este problema, propio también de la horticultura de zonas más frías y propiciado por la mejora del aislamiento térmico de los invernaderos a raíz de la crisis energética, se ha tratado de resolver con diferentes estrategias: evaluación de plásticos antigoteo, incorporación de deshumidificadores actuando por el método clásico de aireación y calor o nuevos métodos a base de bombas de calor o materiales absorbentes. El control de una higrometría excesiva en el interior de las estructuras de cultivo es un método de prevención de enfermedades criptogámicas, a la vez que tiende a evitar desordenes fisiológicos, como la deficiencia de calcio inducida en hojas jóvenes en expansión que puede producirse cuan-

do se desarrollan a bajos déficits de presión de vapor, inferiores a 0.1 KPa. Este problema está relacionado con una restricción en la transpiración y en el transporte de calcio, y puede también originarse como consecuencia de una conductividad eléctrica alta en el entorno radicular o un elevado DPV ambiental que da lugar a una disminución en la tasa de transpiración.

La concentración de CO₂ ambiental es uno de los principales determinantes de la producción. La actual concentración atmosférica es infra-óptima para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Hasta el presente los resultados experimentales indican que la concentración de dióxido de carbono se sitúa en la zona no saturante de la relación fotosíntesis/concentración de CO₂, lo que explica la respuesta positiva que se obtiene en la mayor parte de las experiencias donde se ha incorporado enriquecimiento carbónico. La respuesta es va-



Estudios sobre la eficacia energética en invernaderos para el área mediterránea sugieren el valor de 12°C como límite inferior nocturno, por de bajo del cual sería necesaria la calefacción.

riable, se describen aumentos productivos que van desde el 14 hasta el 61% (Kimball, B.A., 1983). Las causas de ésta variación son diversas, entre ellas deben indicarse: las condiciones de cultivo, la técnica de enriquecimiento carbónico utilizada (fuente, concentración y régimen o estrategia de aplicación), la aclimatación del cultivo, la relación fuente-sumidero, la vía de transporte de asimilados al sumidero, etc.

Las bajas tasas de renovación de aire interior, a la vez que proporcionan excesos térmicos impiden restablecer la composición del aire exterior (Lorenzo, P., 1994); siendo habitual obtener concentraciones de CO₂ de un 20% inferiores a las del exterior, aún cuando las ventanas permanecen abiertas, especialmente cuando la velocidad del viento en el exterior es baja (menos de 1.5 m.s⁻¹). La amplitud del incremento productivo, en las experiencias donde hemos aplicado enriquecimiento carbónico, oscila entre el 15 y 25%. Estas experiencias se han desarrollado dentro de las estructuras

lado del sistema de calefacción, sin embargo, desafortunadamente debido al precio en nuestro país de esta fuente debe cuestionarse su utilización a pesar de los incrementos productivos obtenidos con su aplicación. Las fuentes procedentes de combustibles fósiles son más competitivas, aunque debe ajustarse con mucha precisión la combustión para evitar la producción de gases tóxicos como el monóxido de carbono, etileno y otros hidrocarburos insaturados, también es necesario que tengan un bajo contenido en azufre.

La introducción de los diferentes parámetros físicos y fisiológicos en el control climático como variables de

ben considerarse en relación a la obtención de una alta y buena calidad en la producción en el tiempo adecuado, a un coste razonable y con riesgos aceptables. Estos criterios a menudo entran en conflicto y es el agricultor quien en función de la estrategia que ha seleccionado debe hacer su elección. El cultivo intensivo está sujeto a un cambio continuo mediatizado por el desarrollo táctico hortícola, social, etc., por lo que el invernadero del futuro probablemente no es el actual. En la orientación de los cambios influirá el desarrollo técnico y deberá considerarse la protección del medio ambiente.



Con bajas tasas de renovación de aire interior, se obtienen concentraciones de CO₂ un 20% inferiores a los del exterior.

producción en el cultivo intensivo ha requerido el desarrollo e incorporación de tecnología que ha facilitado una comprensión más minuciosa de los factores que controlan el crecimiento y desarrollo de la planta. Los diferentes procesos que tienen lugar en la planta, el estudio del desarrollo y las variaciones climáticas hacen suponer que el nivel óptimo de los factores climáticos varían dentro del día y entre días por lo que la optimización climática debe ser dinámica, es decir que permita maximizar continuamente la diferencia entre la tasa de producción y la tasa de consumo energético, para lo que es necesario ajustar los puntos de control en función del resultado económico. La táctica de control climático no debe perder de vista que los requerimientos climáticos de-

Los requerimientos climáticos deben considerarse en relación a la obtención de una alta y buena calidad de producción en el tiempo adecuado, a un coste razonable y riesgos aceptables

tradicionales de la zona tipo parral-almeriense (Sánchez-Guerrero, M.C. et al, 1995) y también invernaderos más herméticos tipo multitúnel con tasas de infiltración más reducidas en torno a 0.5 renovaciones a la hora. Se ha aplicado una estrategia dinámica relacionada con la ventilación y el régimen de viento, consistente en enriquecer al doble de la concentración exterior (700 vpm) cuando las ventanas permanecen cerradas y a la concentración de dióxido de carbono ambiental (350 vpm) cuando opera la ventilación, ya sea por exceso térmico o higrométrico, con objeto de reducir el gradiente interior/externo y evitar pérdidas innecesarias. El CO₂ líquido se considera la fuente ideal para el enriquecimiento carbónico, pues permite un suministro en cualquier momento del día a la dosis deseada y desvincu-

P. Lorenzo⁽¹⁾, M.C. Sánchez-Guerrero⁽¹⁾
E. Medrano⁽¹⁾, I. Escobar⁽²⁾, M. García⁽³⁾

(1) C.I.D.H. Apdo. 91. El Ejido. Almería

(2) F. Exp. La Nacla. Caja Rural Granada. Motril.

(3) Cultivos Hidropónicos S.L. Aguadulce. Almería

BIBLIOGRAFIA

- Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observation. *Agro. J.* 75: 779-788.
- Lorenzo, P. 1994. Intercepción de luz, Bioproductividad e Intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernadero de *Cucumis sativus* L. en Almería. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 220 pp.
- Martínez, X. 1990. Interrelacions del processos de bescanvi de gasos de les plantes y llur ambient radicular: Bescanvi de gasos sota diverses condicions d'stress radicular de curta durada en *Dianthus caryophyllus* L. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. pp 256.
- Montero, J.I.; Castilla, N.; Gutiérrez de Ravé, E.; Bretones, F. 1985. Climate under plastic in the Almería area. *Acta Horticulturae* 170: 227-234.
- 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.
- Verlodt, H. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. *Greenhouses in Cyprus.* FAO.
- Zabeltitz, C.von. 1992. Energy-efficient greenhouse designs for Mediterranean countries. *Plasticulture.* 96:6-16.