

Resultados del cultivo en diferentes estaciones dentro del invernadero cerrado Watergy

D. Buendía, G. Zaragoza, J.C. Gázquez y J. Pérez-Parra

Fundación Cajamar, Estación Experimental, Las Palmerillas, Autovía del Mediterráneo km 416, El Ejido, 04710, Almería

Palabras clave: invernadero cerrado, control de clima, ahorro de agua, *Abelmoschus Esculentus*, *Phaseolus Vulgaris*.

Resumen

Watergy es un prototipo de invernadero cerrado que permite recuperar la evapotranspiración del cultivo. El sistema de climatización tiene un mínimo consumo energético, al estar basado en la circulación por convección natural del aire húmedo hacia un intercambiador de calor cuya capacidad de enfriamiento se regenera de manera pasiva gracias a la menor temperatura ambiente nocturna. Esto permite cultivar en un sistema cerrado sin necesidad de aplicar tratamientos fitosanitarios y con un enriquecimiento carbónico eficaz del aire interior.

Durante la evaluación del prototipo en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar se han llevado a cabo diversos ciclos de cultivo, demostrando que es posible mantener un cultivo sano dentro del invernadero durante todo el año. En las condiciones de menor radiación se han cultivado judías de mata baja (*Phaseolus Vulgaris*) y durante las épocas de mayor calor okra (*Abelmoschus Esculentus*). Las producciones han sido muy aceptables y la recuperación del agua de riego en forma de condensación recogida ha estado en una media del 75%.

INTRODUCCIÓN

El futuro de la sostenibilidad en la horticultura intensiva pasa por el cultivo en invernaderos cerrados (Opdam y col., 2005). A las ventajas sanitarias por la limitación de entrada de insectos y por tanto de uso de pesticidas, se une la posibilidad de realizar un enriquecimiento carbónico eficaz que permita utilizar el invernadero como sumidero para excedentes de emisiones de CO₂. Ambos aspectos contribuyen a una mejora en la calidad y en la cantidad de la producción, respectivamente. Además, el invernadero cerrado permite cerrar el ciclo del agua, minimizando por tanto las necesidades hídricas, lo cual es imprescindible en climas mediterráneos. No obstante, precisamente en estas latitudes resulta muy difícil mantener un clima óptimo durante las épocas más cálidas del año dentro del invernadero cerrado. Por lo general se requiere un sistema de climatización basado en ventilación mecánica y bombas de calor, con elevado consumo de energía.

El prototipo de invernadero cerrado Watergy está diseñado para minimizar ese consumo energético (Buchholz y Zaragoza, 2004), utilizando un sistema pasivo de enfriamiento regenerado a partir del descenso de temperatura ambiental por la noche (Buchholz y col. 2005). Se han realizado diferentes ciclos de cultivo durante su evaluación, siempre en condiciones de invernadero cerrado. Este trabajo presenta los resultados obtenidos hasta la fecha, tanto de producción como de eficiencia en el uso del agua.

MATERIAL Y MÉTODOS

Invernadero cerrado con control de clima

El invernadero cerrado Watergy se construyó en la Estación Experimental de la Fundación de Cajamar (El-Ejido, Almería) a finales de verano de 2004. Cubre un área de 200 m² de enarenado estándar, impermeabilizado en la base para recoger todo el drenaje. La estructura es de acero galvanizado con una cubierta de polietileno de alta densidad (tricapa antigoteo), y consta de una torre central recubierta de policarbonato con una altura de 10 m. En el interior de ésta hay un intercambiador de calor compuesto de finos capilares de polipropileno, que extraen el calor a un acumulador exterior formado por 4 depósitos de agua de 5 m³ cada uno. La zona de cultivo está separada de la zona superior de la torre por una lámina de EVA, que obliga que el aire frío que baja de la torre atraviese todo el cultivo hasta los extremos del invernadero antes de volver a ascender calentado. Al enfriarse el aire, condensa sobre el intercambiador la humedad que contiene, lo cual permite recuperar la evapotranspiración de la zona de cultivo para volver a utilizarla en el riego. El calor absorbido durante el día se libera por la noche en el mismo intercambiador, regenerando el refrigerante para el día siguiente.

El sistema tiene una monitorización continua de temperatura y humedad del aire en distintos puntos. Además, se mide el riego aplicado, el drenaje y la condensación recogida.

Ciclos de cultivos

Se han llevado a cabo varios ciclos de cultivo en el invernadero cerrado. Primeramente en condiciones de menor radiación, con un cultivo de judía de mata baja (cv “*Parker*”) sembrado el 30 de septiembre de 2005 y arrancado el 23 de enero de 2006. Posteriormente, se realizó un cultivo en *interplanting*, iniciado el 24 de febrero de 2006 con la siembra de judía de mata baja (cv “*Strike*”) y continuado dos semanas después con la siembra en líneas alternas de distintas variedades de okra (“*Cajun Delight*”, “*Red Burgundy*”, “*Green Velvet*”, “*Star of David*”, “*Clemson Spineless*” y una variedad no identificada proveniente de Asia). La elección de esta última planta, fotosintéticamente C4, se hizo con vistas al verano, cuando la temperatura exterior es tan elevada que resulta imposible evitar picos de temperatura superiores a 33 °C, letales para las flores de especies C3. El 1 de junio de 2006 finalizó el cultivo de judía debido a una ola de calor que afectó la reproducción floral. La okra continuó su producción sin graves afecciones, hasta que el 17 de julio de 2006 se realizó una poda de rejuvenecimiento con objeto de analizar su capacidad de regeneración. El propósito era comparar la regeneración de la producción de las plantas mantenidas con la de un nuevo cultivo sembrado dos semanas después. En este último caso la disponibilidad de variedades fue inferior (únicamente “*Cajun Delight*”, “*Red Burgundy*” y la no identificada proveniente de Asia).

En todos los casos se mantuvo dentro del invernadero cerrado, mediante inyección, una concentración de CO₂ en torno a 1100 p.p.m. durante las horas diurnas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas mantenidas dentro del invernadero cerrado permitieron un desarrollo saludable de los cultivos a lo largo de distintas estaciones del año, incluso durante el verano, cuando ni siquiera se suele cultivar dentro de los invernaderos abiertos en la zona (Zaragoza y col., 2006). En ningún caso fue necesario utilizar medidas fitosanitarias, ya que la penetración de insectos y la aparición de enfermedades fue nula.

La recuperación del agua de riego se cifró en una media del 75% del total. Del resto, parte es la que fijan las plantas en su desarrollo y la demás se perdió por defectos de diseño en el sistema de recogida de condensación a partir del plástico de cubierta (Zaragoza y col., 2007).

En la tabla 1 se resume la producción obtenida en los cultivos de judía. En el ciclo de otoño se cosecharon 2 kg/m² del cultivar “Parker”. Esta cifra, muy aceptable en el entorno productivo de invernaderos abiertos para esas fechas, tiene más relevancia si se tiene en cuenta que, durante el periodo del ciclo de cultivo, el invernadero cerrado tuvo una transmisividad de radiación solar en torno al 50%. Esto fue debido al deterioro de la propiedad antigoteo del plástico, lo que supone la formación de gotas en el interior de la cubierta por efecto de la condensación, que reflejan gran parte de la radiación solar. El siguiente ciclo de judía (cv “Strike”), ya con un plástico nuevo (transmisividad en torno al 80%), también tuvo una producción aceptable comparativamente para ese cultivar, a pesar de que se abortó la fase productiva prematuramente debido a un repentino aumento de la temperatura exterior en Junio.

Los valores de la productividad del agua (PW), expresados en producción de frutos por cantidad de agua consumida, son considerablemente elevados, sobre todo en el primer caso, que supone 5 veces más que en los cultivos en invernaderos abiertos (Orgaz y col., 2005). Esto es debido, naturalmente, a la recuperación de la evapotranspiración. En el ciclo de primavera el consumo efectivo de agua fue algo superior, aunque todavía menos de la mitad que en un invernadero estándar.

La tabla 2 indica las producciones de cada variedad de okra en cada uno de los ciclos. El cultivo entró en fase productiva a finales de Mayo y continuó produciendo durante un mes y medio. Tras la poda de regeneración, fue capaz de volver a entrar en producción, aunque la nueva siembra dio mejores resultados. Las dos variedades más productivas fueron “Cajun Delight” y “Red Burgundy” en todos los casos. “Clemson Spineless” y la de origen asiático parecen adaptadas sólo a condiciones de menor temperatura.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el V Programa Marco de la Comisión Europea a través del proyecto NNE5-2001-683, en el que participan también la Universidad Técnica de Berlín, la Universidad de Wageningen y Plant Research Internacional.

Referencias

- Opdam, J.J.G, Schoonderbeek, G.G., Heller, E.M.B. and De Gelder, A. 2005. Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Horticulturae*. 691:517-524.
- Buchholz, M. and Zaragoza, G. 2004. A closed greenhouse for energy, water and food supply. *Habitation*. 9 (3/4):116.
- Buchholz, M., Jochum, P. and Zaragoza, G. 2005. Basic water, heat and food supply from a closed greenhouse – The Watery project. *Acta Horticulturae*. 691:509-516.
- Zaragoza, G., Buendía, D. y Pérez-Parra, J. 2006. Resultados preliminares del control de temperatura en verano dentro del invernadero cerrado Watery. *Actas de Horticultura*. 46:13-16.
- Zaragoza, G., Buchholz, M., Jochum, P. and Pérez-Parra, J. 2007. Watery project: towards a rational use of water in greenhouse horticulture and sustainable architecture. *Desalination*. 211:296-303.

Orgaz, F., Fernández, M.D., Bonachela, S., Gallardo, M., Federes, E. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*. 72 (2):81-96.

Tabla 1. Producción de judía de mata baja en cada uno de los dos ciclos de cultivo realizados, se indica el valor total de la producción de frutos, así como el valor de la productividad del agua (PW, expresada en kg de frutos por m³ de agua consumida).

Ciclo de cultivo (desde siembra a arranque)	Variedad	Producción	PW
30/9/05 - 23/1/06	“Parker”	2 kg/m ²	100 kg/m ³
24/2/06 - 1/6/06	“Strike”	1,2 kg/m ²	51 kg/m ³ (40 - 54 kg/m ³) (*)

(*) durante el *interplanting*, el valor del drenaje se ha repartido de manera ponderada entre las dos especies (teniendo en cuenta su desarrollo); no obstante, se indican también los valores extremos de la productividad en el caso de asignar todo o nada del drenaje a la judía.

Tabla 2. Producción de cada una de las variedades de okra en los distintos ciclos de cultivo, junto con el porcentaje de frutos de primera categoría de cada una.

Ciclo de cultivo	Variedad	Producción	1ª categoría
9/03/06 - 16/07/06 (primer cultivo)	“Cajun Delight”	0,9 kg/m ²	45%
	“Red Burgundy”	0,7 kg/m ²	82%
	“Green Velvet”	0,5 kg/m ²	63%
	“Star of David”	0,3 kg/m ²	80%
	“Clemson Spineless”	0,1 kg/m ²	40%
	no identificada (<i>Asia</i>)	0,2 kg/m ²	11%
25/08/06(*) - 11/12/06 (continuación del primer cultivo)	“Cajun Delight”	1,7 kg/m ²	78%
	“Red Burgundy”	1,8 kg/m ²	75%
	“Green Velvet”	1,0 kg/m ²	52%
	“Star of David”	1,0 kg/m ²	70%
	“Clemson Spineless”	1,5 kg/m ²	57%
	no identificada (<i>Asia</i>)	1,7 kg/m ²	61%
31/07/06 - 11/12/06 (nueva siembra)	“Cajun Delight”	2,4 kg/m ²	82%
	“Red Burgundy”	2,3 kg/m ²	74%
	no identificada (<i>Asia</i>)	1,0 kg/m ²	63%

(*) puesto que se trata de una continuación del cultivo tras la poda, se indica la fecha de reanudación de la cosecha.