بحث اصلي

إ م الهلال ، إ م المسلم

تأثير التظليل على كفاءة نظام التبريد بالتبخير في البيوت المحمية

المستخلص: تم في هذا البحث، دراسة تأثير التظليل على بيئة البيوت المحمية تحت الظروف المناخية لمدينة الرياض، المملكة العربية السعودية، بقياس درجة الحرارة ونسبة الرطوبة الداخلية ومعدل إستهلاك المياه والكهرباء للتبريد. كانت التجربة على خمسة بيوت محمية، مبردة تبخيرياً بنظام المراوح والوسائد، ومغطاة بطبقة من البوليثيلين. ظللت أربعة منها بتركيب شباك بلاستيكية خضراء اللون، على السطح الخارجي لأغطيتها. بنسبة تظليل: 55% و 65% و 70% و80% على التوالي، مع إستثناء البيت الخامس لغرض المقارنة. تمت التجربة على فترتين، الأولى بتاريخ 1–30 اكتوبر 2000م وهي فترة صيف معتدلة، والثانية خلال فترة صيف حارة من 16–24 يوليو 2001م. بينت النتائج خلال فترة الصيف المعتدلة، أنه ليس للتظليل تأثير معنوي على درجات الحرارة داخل البيوت المحمية (P=0.05)، ولكن التظليل بنسبة 55% و 70% و 80% للثلاثة بيوت الأولى، قد أدى إلى زيادة معنوية في الرطوبة النسبية. أما بالنسبة لفترات الصيف الحارة، فلقد أوضحت النتائج أهمية التظليل في تخفيض درجات الحرارة ورفع نسبة الرطوبة معنويًا داخل البيوت المحمية. كما أدى التظليل أيضاً إلى تخفيض إستهلاك المياه والطاقة الكهربائية خلال فترات الصيف المعتدلة. وكان الإنخفاض في استهلاك المياه معنوياً فقط في البيت المظلل بنسبة 80% والبيت الغير مظلل، بتسجيل إنخفاضاً قدره 16%. أما بالنسبة لإستهلال الطاقة الكهربائية، فكان الإنخفاض معنوياً فقط عند التظليل بنسبة 80% و70%، مقارنةً بالبيت الغير مظلل، والذي كان مقدار الإنخفاض 19.3% و 12.7%، على الترتيب. أما خلال فترة الصيف الحارة فلم يكن للتظليل تأثير على الإستهلاك المائي والكهربائي. كما تبين أن إستهلاك المياه والكهرباء في فترة الصيف الحارة، كان أعلى منه في فترة المعتدل بنسب تراوحت مابين 79% – 112% وبين 12.7% – 36%، على الترتيب.

كلمات مدخلية: بيوت محمية، تظليل، تأثير، كفاءة تبريد، حرارة، رطوبة.

Influence of Shading on the Performance of a Greenhouse Evaporative Cooling System

Ibrahim M. Al-Helal and Ibrahim M. Al-Musalam

Abstract: This research was conducted to study the effect of shading materials on greenhouse environment including inside temperature and relative humidity, and water and electricity consumption for cooling under Riyadh conditions. The study was performed on five greenhouses cooled by the fan and pad evaporative cooling system. The greenhouses were covered with single layer polyethylene. Four greenhouses were shaded with green plastic nets on the outside surfaces of covers. Shading levels were 55%, 65%, 70% and 80% according to the factory specifications. The fifth greenhouse was without shade for the purpose of comparison. Experiments were performed in two perlods: the first period was from October 1 to October 30, 2000 (moderate summer conditions), and the second period was from July 16 to July 24, 2001 (extreme summer conditions). The results indicated that shade had no significant effect on inside air temperature during moderate conditions (P=0.05). But, inside relative humidity with shading levels of 55%, 70% and 80% was significantly higher than that without shade. During extreme summer conditions, shade significantly reduced air temperatures and increased relative humidity. The 80% shade significantly reduced the consumption of water and electricity during moderate conditions by 16% and 19.3%, respectively. The 70% shade significantly reduced the consumption of electricity by 12.7%. Shade had no significant effect on the consumption of water and electricity during extreme conditions (P=0.05). It was shown that water and electricity consumption during extreme conditions were higher than those of moderate conditions. The increase rate of water consumption ranged from 79 to 112%, while consumption of electricity increase ranged from 12.7 to 36%.

Keywords:Greenhouse, shading, influence, performance, cooling System, temperature, humidity.

إبراهيم محمد الهلال و إبراهيم محمد المسلم
قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة الملك سعود
ص.ب. 2460، الرياض 11451
المملكة العربية السعودية

المقدمة

تستخدم البيوت المحمية في المملكة العربية السعودية، لتوفير الظروف البيئية الملائمة لنمو النبات، والتلقيح، وعقد الثمار. حيث يتعذر ذلك في الحقول المكشوفة، وخاصة في فصل الصيف. ويتم عادة التحكم في درجة حرارة الهواء ورطوبته النسبية صيفاً داخل البيوت المحمية، بإستخدام نظام التبريد التبخيري ذو المراوح، ووسادة التبريد (لباد). نظراً لانخفاض كفاءة الوسائل التقليدية (التهوية الطبيعية أو التهوية الميكانيكية بالمراوح فقط). وتعتمد كفاءة التبريد على عوامل، منها معدل التهوية ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية خارج البيت المحمي ووضع اللباد. وتنخفض مع إرتفاع نسبة الرطوبة الخارجية وترسب الأملاح على الوسادة. وعليه من أهم مشاكل التحكم في بيئة البيوت المحمية بالمملكة، إنسداد مجاري الهواء في وسائد التبريد بالأملاح، مما يقلل من كفاءتها في تبريد الهواء. وهذا يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارة الهواء والنباتات، خاصة في فترات النهار والتي يصاحبها دخول كمية كبيرة من الطاقة الشمسية إلى البيت المحمي، وتراكم الحرارة داخله. يؤدي إرتفاع درجة الحرارة إلى عدم قدرة النباتات على إمتصاص الماء من التربة بواسطة الجذور لتعويض الفاقد السريع منه في الأوراق، حتى مع وجود كمية مناسبة من الماء في التربة. مما يؤدي إلى ذبول النبات والحرق السطحي للأوراق. نتيجةً لذلك كان لا بد من وجود وسيلة لتخفيض شدة الإشعاع الشمسي داخل البيوت المحمية، تعمل جنباً إلى جنب مع المراوح واللباد على تخفيض درجة الحرارة الداخلية.

تعد وسيلة تظليل البيوت المحمية من الوسائل الهامة والمساعدة في تخفيض شدة الإشعاع الشمسي الساقط عليها إلى مستويات غير ضارة بالنباتات (Yates, 1989). وعليه يساعد التظليل في تبريد البيت المحمي وبالتالي تخفيض حمل التبريد للبيوت المحمية (1990 Stamps, 1991; Al-Shooshan *et al.*, 1991; Vollebregt, (Goldsberry and Wolnick, 1966; Gary, 1948; . إلا أنه قد يؤدي إلى تخفيض الإشعاع الفعال للتمثيل الضوئي عندما يكون تظليلاً على مستوى عالي. (Bailey, 1991).

تتم عملية تظليل البيوت المحمية بإستخدام أغطية مصنوعة من مواد مسامية، مثل القماش وشبك البلاستيك (Bucklin,1987)، أو برش الجير الأبيض، على السطح الخارجي لغطاء البيت المحمي (1978 Grafaidellis,). أو بإستخدام كريات البولستيرين داخل وخارج قنوات الاكريليك في البيوت المحمية (Short, 1989; Kuack, 1986 Elwell and) . وقد أمكن تخفيض درجة الحرارة القصوى بمقدار 3.5 م عند منتصف النهار بإستخدام مواد التظليل على زجاج البيوت المحمية (Gary, 1948). من جهة أخرى تعتبر المواد البلاستيكية السوداء غير فعالة للتظليل، لأنها تمتص كمية كبيرة من الطاقة الإشعاعية بدلاً من عكسها، مقارنةً بالمواد البيضاء، والتي تعكس أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية (Willits, 1992). أشار (1966) Goldsberry and Wolnick أن مواد التظليل البيضاء تعكس حوالي 83% من أشعة الشمس، حين أن اللون الأخضر يعكس حوالي 43% والأزرق أو البنفسجي حوالي 25% من أشعة الشمس. وعليه، تعتبر المواد ذات اللون الأبيض هي الأفضل للتظليل (Willits, 1992). درس (Bucklin, 1987) العوامل المؤثرة على نسبة التظليل لعدد من مواد التظليل المستخدمة في البيوت المحمية، ووجد أن منها، زاوية سقوط الأشعة الشمسية على تلك المواد، والتركيب الطيفي لتلك الأشعة، ونوع هذه المواد.

أجرى Vladimirova *et al.* (1996) دراسة لتأثير أربعة مستويات تظليل (47%، 63%، 80%، 91%) على درجة حرارة الهواء في أغسطس لعام 1994م، باستخدام أربعة وعشرون هيكلاً نصف دائري، محورها الطولي في اتجاه شمال – جنوب، بقياس 1.85×0.8×0.8 م، ذات تهوية طبيعية. وبينت النتائج أن أعلى درجات حرارة كانت في 80% تظليل، وأن متوسط الفرق بين 63% و 91% تظليل، كان أقل من 1 م، و متوسط الفرق بين 47% و80% تظليل كان 1.4م°. كما أن متوسط درجات الحرارة قد اختلف 1.4 م° أو أقل لكل مستويات التظليل. وفي دراسة تمت بإستخدام هيكلاً بمقياس 6×3×2.4م، أوضح NeSmith *et al.* (1992) بأن التظليل بنسبة 47% أدى إلى تخفيض درجة الحرارة العظمى بمقدار 1.8 م.

قام Al-Shooshan *et al.* (1991)، بدراسة تأثير التظليل على بيئة بيت محمي جمالوني صغير مساحته 7.3 م^2 ، يقع في مدينة ووستر، ولاية أوهايو الأمريكية. البيت الجامولوني المحمي، مغطى بطبقتين من الأكريليك، بينهما كريات البولستيرين، لغرض التظليل لمستويات تتراوح بين صفر إلى 100% بتزايد مقداره 25%. وتم تهوية البيت بإستخدام مروحة تهوية. وقد وجد الباحثون بأن درجة حرارة الورقة للنباتات المظللة، كانت أقل من درجة حرارة الهواء بمقدار 4م، وتعادلها للنباتات الغير مظللة. كما أن التظليل أدي إلى تخفيض معدل التبخر– والنتح للنباتات بحوالي الثلث مقارنةً بالنباتات الغير مظللة.

ناقش Montero *et al.*, (1992) أربعة عوامل تعمل على تبريد البيت المحمي هي: التهوية، التبخر والنتح من النباتات، والتظليل والتبريد التبخيري. وأوضح الباحث بأن تظليل البيت المحمي الغير مبرد، والخالي من النباتات، أدي إلى تخفيض من درجة حرارة الهواء الداخلية، ولكن لم يكن للتظليل أي تأثير على درجة الحرارة عند إستخدام أي مصدر من مصادر تبريد البيت المحمي، مثل التبريد الضبابي.

وجد Ryleski (1986) في دراسة أجراها في صحراء النقب الشمالية الغربية، خلال فصل الصيف، أن إرتفاع النبات، وعدد العقد وحجم الورقة يزداد مع التظليل بنسبة 25%، ومع ذلك فإن التظليل يمنع نمو السيقان الجانبية. ووجد الباحث أن التظليل في فصل الصيف يزيل ضرر حرق الشمس. درس Arabi *etal* (1999) تأثير التظليل على نمو السبانخ في أربعة بيوت محمية مظلله بشبك البلاستيك بنسبة صفر و 30% ، 45% ، 60% في فصل الصيف. وأظهرت النتائج بأن درجة حرارة الهواء والتربة وكمية الإشعاع الشمسي الداخلية قد إنخفضت بزيادة مستوى التظليل. كما أن أفضل معدل لنمو السبانخ خلال شهر يونيو كان بإستخدام نسبة تظليل 45%، وخلال شهري أغسطس وسبتمبر كان باستخدام نسبة تظليل 60%.

إستهدفت معظم الدراسات السابقة دراسة تأثير إستخدام مواد التظليل على درجة الحرارة الداخلية، وعلى نمو وإنتاج المحصول. وتمت معظمها في مناطق معتدلة. ولم تتطرق هذه الدراسات لتأثير التظليل على الاستهلاك المائي والكهربائي أثناء عملية التبريد التبخيري. وبالرغم من أن المناطق الصحراوية من المملكة ذات صيف طويل مع كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي، مما يزيد من حمل تبريد البيوت المحمية، فإن هناك نقص في دراسة وسائل تعمل على تخفيض الإشعاع الشمسي (كمواد التظليل مثلاً) وتأثيرها على بيئة البيوت المحمية. ويعتقد الباحث بأن تخفيض الإشعاع الشمسي يعمل

على تخفيض درجة الحرارة، ورفع الرطوبة النسبية، وبالتالي تخفيض الفترات التي يتم فيها تشغيل نظام التبريد التبخيري ذو وسادة التبريد ومراوح التهوية. وهذا بدورة يؤدي لتخفيض كمية المياه والكهرباء المستهلكة في عملية التبريد التبخيري. وتعتبر كميات المياه المستهلكة في التبريد عالية، في المناطق الصحراوية بسبب زيادة معدل التبخر، نتيجة لإنخفاض الرطوبة النسبية للهواء المراد تبريده. فعلى سبيل المثال، يتم استهلاك 20 لتر/يوم/م^2 من مساحة البيت المحمي باستخدام نظام الوسادة والمراوح تحت الظروف المناخية الجافة (Al-Shooshan, 1996). ولهذا يستهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إستخدام مواد التظليل في كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية، داخل البيت المحمي. وكذلك في الإستهلاك المائي والكهربائي أثناء عملية التبريد التبخيري.

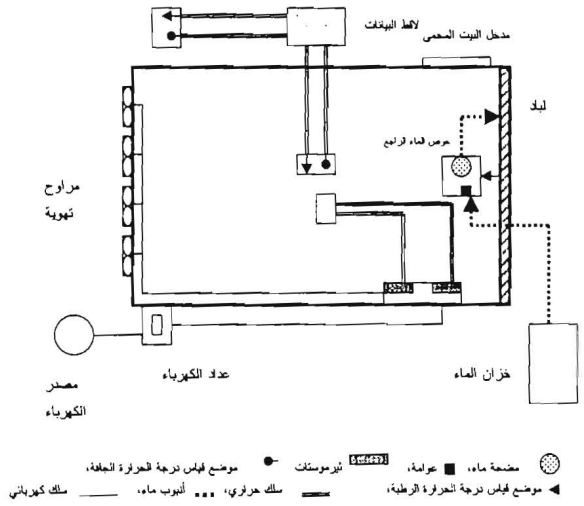
مواد وطرق البحث

تم إنشاء خمسة بيوت محمية ذات شكل جمالوني بمقياس 3.6×2.4×2,6م إتجاه شرق–غرب. مغطاةً بطبقةٍ من البوليثيلين سمك 200 ميكرون. ظللت بشبك البلاستيك الأخضر، فوق الغطاء بنسب تظليل 55%، 65%، 70%، 80% لأربعة من البيوت المحمية، ولم يظلل البيت الخامس أو الأخير. كان نظام التبريد المستخدم في كل بيت، هو نظام المراوح ووسائد التبريد. تم تركيب وسائد من نوع *Celdek* في وضع رأسي في الجهة الشرقية من البيت بطول 2.35م وعرض 1م وسمك 10 سم، وفي الجهة المقابلة (الغربية) تم تركيب أربع مراوح صغيرة نوع *KDK-20ASB* بمعدل تهوية 0.17 م^3/ الثانية لكل مروحة. يصل الماء للوسادة، من خلال قناة مصنوعة من الصاج المجلفن غير قابل للصدأ. على شكل حرف(v) ثبتت أفقياً أعلى الوسادة، بامتداد طولها، ويوجد بها صفين من الثقوب لضمان التوزيع الأمثل للمياه على الوسادة، وجعلها رطبة بصفة مستمرة. المسافة بين الصفين 2 سم والمسافة بين الثقوب في الصف 3 سم. كما يوجد مجرى أسفل الوسادة لتلقي الماء الزائد، والذي ينتقل بعد ذلك إلى حوض صغير أسفل المجرى. وهو الذي يضخ منه الماء إلى أعلى الوسادة، بإستخدام مضخة صغيرة قدرتها ربع حصان. تم تعويض الماء الذي ينقص من الحوض باستمرار من خزان سعته 0.25 م^3 به بيزومتر، وتدريج بدقة 1 مم لأخذ قراءات مستويات الماء في أوقات معينة، لتحديد إستهلاك الماء في كل بيت. كانت جميع الخزانات في الظل، ودفنت الأنابيب بعمق 1م تقريباً، مما يقلل أثر حرارة الإشعاع الشمسي.

تم إستخدام أسلاك إزدواج حرارية *Thermocouples* من نوع *T* لقياس درجات الحرارة الجافة والرطبة، وهذه الأسلاك محمية من أشعة الشمس داخل أنبوب *PVC* أبيض قطره 5 سم وطوله 25 سم. ووضع الأنبوب في داخل صندوق خشبي أبيض، لحماية الأسلاك من تأثير الإشعاع الشمسي. كان القياس الخارجي لدرجة الحرارة الخارجية الجافة والرطبة على إرتفاع 1 م فوق سطح الأرض. ولقياس درجة الحرارة الرطبة، تم وضع فتيلة من القماش المبلل بالماء المقطر على سلك الازدواج الحراري. وتوصيل جميع الأسلاك بمجمع بيانات من نوع (CR10)-Campbell Scientific, Inc.

كانت قراءات أسلاك الازدواج الحراري *Thermocouples* يومياً، بدرجة الحرارة المقاسة بجهاز *Assmann psychrometer*. وتم تحليل جميع البيانات على حاسب آلي شخصي.

تم تركيب عداد كهرباء من نوع Iskra kranj, D35B وربطة بمراوح التهوية ومضخة مياه التبريد، وذلك لحساب الإستهلاك الكهربائي في كل بيت. تعمل المراوح بنظام تحكم لدرجات الحرارة يتكون من عدد 2 ترموستات من نوع Pola, HP-11 تم ضَبطَ الأول منهما على درجة حرارة 23م^o مع توصيله بالمروحتين الجانبيتين، ومضخة إضافة الماء إلى وسائد التبريد. بينما تم ضبط الآخر على درجة حرارة 27م^o مع ربطه بالمروحتين الأخريين. ضبطت درجة الحرارة داخل البيوت المحمية بين 23م^o و 27م^o وهو المدى الأنسب لمحاصيل البيوت المحمية، مثل الخيار والطماطم والخس (Aldrich and Bartok, 1992) وكل ثيرموستات مزود بقاطع للتيار.



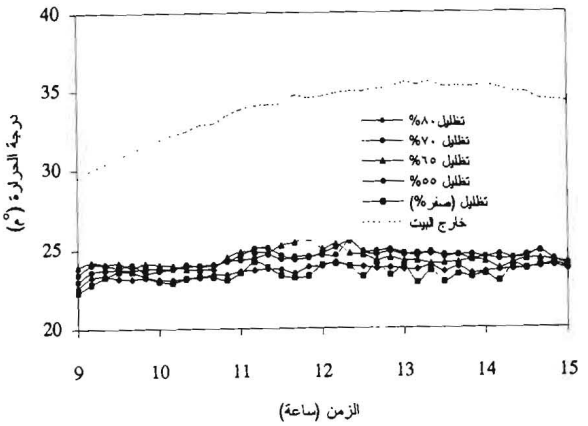
شكل رقم 1: رسم تخطيطي يوضح أجزاء البيت المحمي ومواضع القياس.

أجريت التجربة في المزرعة التعليمية التابعة لجامعة الملك سعود، على فترتين، الأولى من 1–30 اكتوبر 2000م (فترة الصيف المعتدلة) والثانية من 16–24 يوليو 2001م (فترة الصيف الحارة). وزرعت جميع البيوت المحمية بمحصول الطماطم في أصص بقطر 30سم. قيست درجة الحرارة الجافة والرطبة للهواء، خارج وداخل البيوت المحمية، بواسطة الأسلاك الحرارية، كل خمس ثوان وتم أخذ المتوسط لفترة 10 دقائق. تم القياس الداخلي في وسط البيت المحمي، لأن هذا المكان يمثل بيئة البيت المحمي. تم حساب الرطوبة النسبية (%) من بيانات درجات الحرارة الجافة والرطبة (الهلال والتويجري، (2001)). وجدت كمية المياه المستهلكة في عملية التبريد بقياس ارتفاع الماء مم/ساعة في خزان إضافة مياه التبريد في الفترة الزمنية 9ص إلى 15م. كما تم إيجاد الإستهلاك الكهربائي (وات) بتسجيل قراءة عداد الكهرباء كل ساعة في نفس الفترة الزمنية، ومن ثم حسب الفرق على، أنه الإستهلاك الكهربائي. تمت دراسة تأثير التظليل إحصائيًا لتحديد الفروقات المعنوية بين نسب التظليل المستخدمة باستخدام تحليل التباين ANOVA (SAS, 1982).

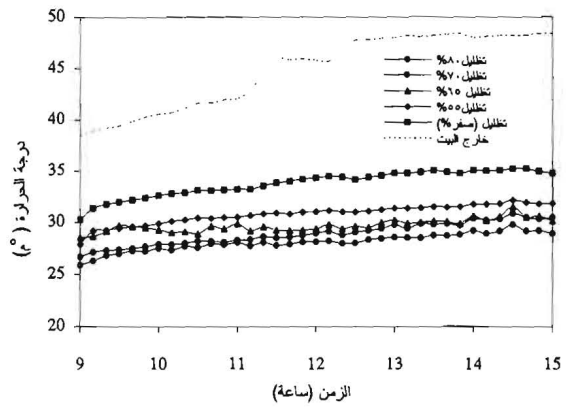
النتائج والمناقشة

(1) درجة الحرارة والرطوبة النسبية:

يوضح الشكلان (2) و(3) درجات حرارة الهواء داخل وخارج البيوت المحمية خلال الفترة الزمنية 9 ص – 5م ليومين: يوم صيف معتدل ويوم صيف حار. كما يوضح الشكلان (4) و(5) الرطوبة النسبية داخل وخارج البيوت المحمية خلال الفترة الزمنية (9ص – 15م) لنفس اليومين. يلاحظ من الشكلين (2) و(3) أن درجات حرارة الهواء الداخلية، كانت أقل من الحرارة الخارجية لجميع مستويات التظليل، كما أن الرطوبة النسبية داخل جميع البيوت المحمية كانت أعلى من الرطوبة النسبية للهواء الخارجي (أنظر الشكلين (4) – (5)).



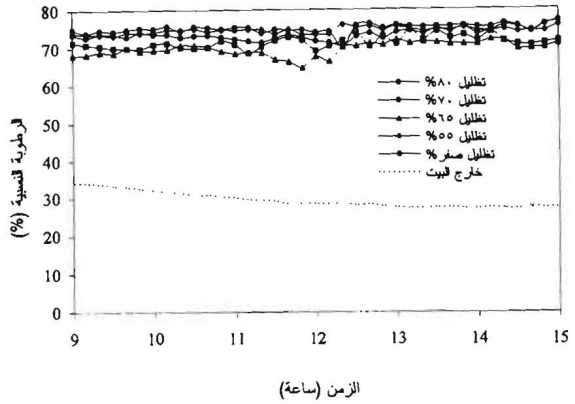
شكل رقم 2: درجات الحرارة داخل وخارج البيوت المحمية للفترة بين 9ص – 15م في 26 أكتوبر 2000م.



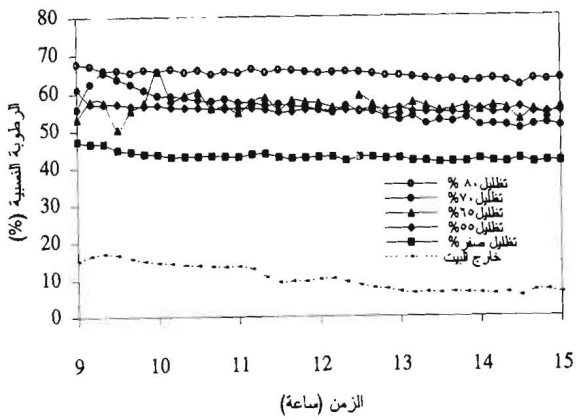
شكل رقم 3 : درجات الحرارة داخل وخارج البيوت المحمية للفترة بين 9ص – 15م في 24 يوليو 2001م.

ويرجع السبب في ذلك إلى أن التبريد التبخيري عمل على تخفيض درجة حرارة الهواء داخل البيت المحمي ورفع محتواه الرطوبي.

تراوحت درجة حرارة الهواء الخارجي في 26 أكتوبر 2000م للفترة من 9ص – 15م بين 29.5م° و 35.5 م°، والرطوبة النسبية بين 27.1% و 34.2%. أما في داخل البيوت المحمية، فيلاحظ التقارب في درجات الحرارة (أنظر شكل رقم (2)). فقد بلغ متوسط درجات الحرارة الداخلية بنسب تظليل صفر و 55%، 65%، 70%، 80% كالتالي 23.4م° و 23.6م° و 24.4م° و 24.3م° و 24.4 م°، على الترتيب. كما كان متوسط الرطوبة النسبية داخل البيوت المحمية ذات نسب تظليل (صفر، 55%، 65%، 70%، 80%) كالتالي 71.4%، 74.4%، 69.9%،



شكل رقم **4**: الرطوبة النسبية داخل وخارج البيوت المحمية للفترة بين 9ص – 15م في 26 أكتوبر 2000م.



شكل رقم 5: الرطوبة النسبية داخل وخارج البيوت المحمية للفترة بين 9ص – 15م في 24 يوليو 2001م.

75%، 73.4%، على التوالي. بينما كان متوسط الرطوبة النسبية للهواء الخارجي 29.5%. أما بالنسبة ليوم الصيف الحار (24 يوليو 2001م) فقد تراوحت درجة الحرارة الخارجية للفترة من 9ص إلى 15م بين 38.4 م° و 48.4 م°، والرطوبة النسبية بين 5.3% و 15%. وفي داخل البيوت المحمية بنسب تظليل صفر و 55%، 65%، 70%، 80%، بلغ متوسط درجة الحرارة كالتالي 28.1م° و 28.9م° و 29.7م° و 30.8م° و 33.8 م°، على الترتيب. وكان متوسط الرطوبة النسبية داخل البيوت المحمية ذات نسب تظليل (صفر، 55%، 65%، 70%، 80%) كالتالي 42.8% ، 55.7% ، 56.3% ، 55.8% ، 64.8%، على الترتيب.

سجل أعلى متوسط لدرجات الحرارة الخارجية خلال فترات الصيف المعتدلة (36.8 م°) في 16 أكتوبر 2000م، وأقل متوسط (29.8 م° في 28 أكتوبر 2000م. وسجل أعلى متوسط لدرجة الحرارة الداخلية (25.9 م) للبيت المظلل بنسبة 65% في 16 أكتوبر 2000م. بينما أقل متوسط لدرجة الحرارة الداخلية كان 20.2 م للبيت المظلل بنسبة 70% في 22 أكتوبر 2000م. أما بالنسبة لفترات الصيف الحارة فقد سجل أعلى متوسط لدرجة الحرارة الخارجية (47.9م°) في 23 يوليو 2001م وأقل متوسط لها (42.2م°) في 16 يوليو 2001م. وسجل أعلى متوسط لدرجة الحرارة الداخلية 35.4 م للبيت الغير مظلل في 18 يوليو 2001م. وأقل متوسط درجة حرارة داخلية كانت 25.8م° للبيت ذو نسبة تظليل 70% في 16 يوليو 2001م.

جدول رقم (1): متوسط درجات الحرارة والرطوبة النسبية خارج و داخل البيوت المحمية لمستويات تظليل مختلفة للفترة ما بين (9-15) خلال فترات الصيف المعتدلة والحارة.

نسبة التظليل	فترة الصيف المعتدلة		فترة الصيف الحارة	
	درجة الحرارة (م°)	الرطوبة النسبية (%)	درجة الحرارة (م °)	الرطوبة النسبية (%)
% 80	23.2 (أ)	74.2 (أ)	28.9 (ج)	64.8 (هـ)
% 70	22.9 (أ)	74.2 (أ)	29.1 (د) (ج)	54.1 (د) (ج)
% 65	23.2 (أ)	68.3 (ب)	30.8 (د)	51.8 (ج)
% 55	23.1 (أ)	73.2 (أ)	30.4 (د) (ج)	59.5 (د)
صفر %	22.7 (أ)	67.6 (ب)	33.2 (هـ)	42.4 (و)
خارج البيت	32.4	27.9	46.1	11.1

جدول رقم (2): متوسط الاستهلاك المائي لمستويات تظليل مختلفة للفترة ما بين (9-15) خلال فترات الصيف المعتدلة والحارة.

نسبة التظليل	متوسط الاستهلاك المائي* (لتر/ساعة لكل م^2 من مساحة اللباد)		متوسط الاستهلاك الكهربائي* (كيلووات)	
	فترة الصيف المعتدلة		فترة الصيف الحارة	
	درجة الحرارة (م°)	الرطوبة النسبية (%)	درجة الحرارة (م °)	الرطوبة النسبية (%)
% 80	4.07 (ب)	8.626 (ج)	0.134 (ب)	0.182 (ج)
% 70	4.28 (أ) (ب)	8.633 (ج)	0.145 (ب)	0.185 (ج)
% 65	4.42 (أ) (ب)	8.650 (ج)	0.148 (أ) (ب)	0.185 (ج)
% 55	4.48 (أ) (ب)	8.661 (ج)	0.152 (أ) (ب)	0.186 (ج)
صفر %	4.84 (أ)	8.666 (ج)	0.166 (أ)	0.187 (ج)

* المتوسطات التي تحمل نفس الأحرف لا تختلف معنويًا (P = 0.05)

يبين الجدول رقم (1) متوسط درجات الحرارة والرطوبة النسبية خارج وداخل البيوت المحمية لمستويات تظليل مختلفة للفترة ما بين 9ص – 15م خلال فترات الصيف المعتدلة والحارة.

عند المقارنة بين تأثير التظليل في درجة الحرارة، أظهرت النتائج أنه ليس للتظليل تأثير معنوي في درجات الحرارة (P= 0.05) خلال فترة الصيف المعتدلة. ويعزى ذلك إلى أنه عند درجة حرارة خارجية معتدلة (29م° – 37م°)، كان نظام التبريد قادرًا على التحكم في درجة الحرارة الداخلية بين 23م° – 27م°، في جميع البيوت المحمية. كما يلاحظ خلال هذا الوقت (9ص – 15م)، أن جهاز التبريد التبخيري لا يعمل باستمرار خلال تلك الفترة، وتعتمد فترة تشغيل الجهاز أو إغلاقه على نسبة التظليل. فكلما زادت نسبة التظليل، كلما إنخفضت فترات التشغيل. أي أن التظليل يخفض الإستهلاك الكهربائي والمائي كما سيتم مناقشته فيما بعد. أما عند المقارنة بين تأثير التظليل في الرطوبة النسبية، أوضحت النتائج، أن متوسطات الرطوبة النسبية عند نسب تظليل 80% و 70% و 55% كانت أعلى معنويًا من البيت الغير مظلل. لاتوجد فروقات معنوية في الرطوبة النسبية بين نسب التظليل 80% و 70% و 55%، وبين البيت بنسبة تظليل 65% والبيت الغير مظلل. كما يلاحظ من الجدول (1) أيضاً، أن أعلى متوسط رطوبة نسبية تم الحصول عليها عند نسبة تظليل 80% وبلغت 74.2 %، أما أقل متوسط للرطوبة النسبية فكانت 67.6 % للبيت الغير مظلل.

أما بالنسبة لفترات الصيف الحارة، فيظهر التأثير الواضح للتظليل في تخفيض درجة حرارة الهواء الداخلية، ورفع رطوبته النسبية. حيث أن إرتفاع درجة حرارة الهواء الخارجي لقيم تصل إلى 48 م° يؤدي إلى عدم مقدرة جهاز التبريد على التحكم في درجة حرارة الهواء الداخلية بين 23 م° و 27 م°، على الرغم من أن جهاز التبريد يعمل باستمرار، في جميع البيوت المحمية، خلال تلك الفترة. لذا يلاحظ الإنخفاض في درجات الحرارة بإستخدام التظليل الناتج عن تخفيض مقدار الإشعاع الشمسي داخل على البيت المحمي. وعند المقارنة بين تأثير مستويات التظليل المختلفة، في درجة الحرارة، أظهرت النتائج أن هناك تأثيراً معنوياً واضحاً بين البيوت المظللة والبيت الغير مظلل في تخفيض درجة الحرارة. وأن هناك تأثيراً معنوياً بين نسبة تظليل 80 % و نسبة تظليل 65 % في تخفيض درجة الحرارة. أما بالنسبة لنسب التظليل الأخرى، فلم يكن هناك اختلافات معنوية فيما بينها في درجات الحرارة. بلغ أقل متوسط لدرجة الحرارة الداخلية 28.9 م بمستوى تظليل 80%، أما أعلى متوسط لدرجة الحرارة الداخلية، فقد يلاحظ في البيت الغير مظلل بقيمة مقدارها 33.2 م° أي أن متوسط الفرق في درجة الحرارة للبيت بدون تظليل والبيت المظلل بنسبة 80% كان 4.3 م°. أوضحت النتائج أن التظليل رفع من الرطوبة النسبية للهواء داخل البيت. حيث توجد فروقات معنوية في متوسطات الرطوبة

النسبية بين جميع نسب التظليل، والبيت الغير مظلل. وقد كان متوسط الرطوبة النسبية لنسبة التظليل 80% أعلى معنويًا من البيوت الأخرى. كما يوجد فرق معنوي بين نسبة تظليل 55% و 65%. ويوضح الجدول (1) أن أعلى قيمة لمتوسط الرطوبة النسبية كانت 64.8% للبيت ذو نسبة تظليل 80% بينما أقل قيمة كانت 42.4% للبيت الغير مظلل. (أنظر جدول (1)).

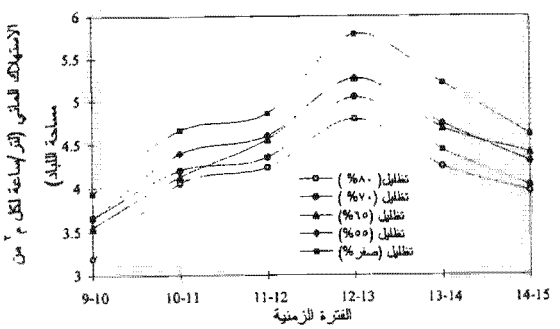
(2) استهلاك المياه و الكهرباء:

يوضح الجدول رقم (2) ، متوسط الإستهلاك المائي والكهربائي، أثناء عملية التبريد التبخيري للبيت المحمي الغير مظلل، وتلك المظللة بنسب 55%، 65%، 70%، 80% للفترة ما بين 9ص – 15م خلال فترتي الصيف المعتدلة (1–30 اكتوبر 2000م) والحارة (16–24 يوليو 2001م) ويلاحظ من الجدول أن التظليل قد أدى إلى تخفيض في كميات المياه و الكهرباء المستهلكة في فترة الصيف المعتدلة. حيث إنخفض كل من متوسط كمية المياه المستهلكة في عملية التبريد من 4.84 لتر/ساعة إلى 4.07 لتر/ساعة لكل م^2 من مساحة اللباد، و متوسط الاستهلاك الكهربائي من 19.2 كيلوات إلى 15.5 كيلوات نتيجة للتظليل بنسبة 80%، مقارنة بالبيت الغير مظلل. ويرجع السبب في ذلك إلى تخفيض كمية الإشعاع الشمسي الداخل إلى البيت المحمي، مما أدى إلى تخفيض حمل التبريد اللازم للبيت المحمي، وبالتالي تخفيض درجة الحرارة الداخلية، وتقليل فترات تشغيل نظام التبريد التبخيري. يلاحظ أيضاً أنه في هذه الفترة (متوسط درجة الحرارة الخارجية 32.4 م°، كان نظام التبريد قادرًا على تخفيض درجات الحرارة إلى ما بين 23 م° و27 م°، بغض النظر عن وجود التظليل من عدمه. وقد أوضحت النتائج أنه يوجد فرق معنوي في متوسطات الإستهلاك المائي بين نسب التظليل 80% وصفر %، ولا توجد فروقات معنوية في بين نسب التظليل الأخرى. أما بالنسبة للاستهلاك الكهربائي، فيوجد فرق معنوي بين نسب التظليل (80% وصفر %) و (70% وصفر%) ولا توجد فروقات معنوية بين نسب التظليل الأخرى.

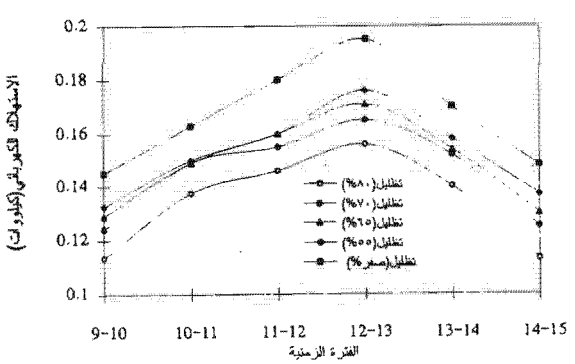
أما بالنسبة لفترة الصيف الحارة (16–24 يوليو 2001م) (أنظر الجدول (1)) لم يكن هناك تأثيراً للتظليل على إستهلاك الكهرباء والمياه أثناء عملية التبريد، حيث أن متوسط الإستهلاك الكهربائي والمائي كان متقارباً جداً لجميع البيوت المحمية. فعلى سبيل المثال، فإن متوسطي إستهلاك المياه والكهرباء بنسبة تظليل 80% كان 8.63 لتر/ساعة/م^2 من مساحة اللباد و 0.182 كيلوات، على التوالي. حين أن المتوسطين بدون تظليل 8.67 لتر/ساعة/م^2 من مساحة اللباد و0.187 كيلوات، على التوالي. هذا التقارب الواضح في استهلاك المياه والكهرباء، خلال فترة الصيف الحارة، يرجع سببه إلى الإرتفاع في درجة حرارة الجو الخارجي خلال هذه الفترة من العام، حيث بلغ متوسط درجة الحرارة للفترة (9ص –15م) 46.1 م. وعند هذا المستوى من درجات الحرارة، كان التحكم في درجات الحرارة الداخلية بين 23 م و 27 م غير ممكناً، حتى مع التبريد بنظام المراوح والوسادة والتظليل.

كما يوضح الجدول (2) (أنظر الجدول (2))، بأن إستهلاك المياه والكهرباء أثناء عملية التبريد في فترة الصيف الحارة كانت أعلى منها في فترة الصيف المعتدلة، وذلك بسبب إرتفاع درجات الحرارة وإنخفاض الرطوبة النسبية للهواء الخارجي المراد تبريده. وقد كانت نسبة الزيادة في إستهلاك المياه كالتالي: 112%، 102%، 96%، 93%، 79% للبيوت المحمية بمستويات تظليل 80%، 70%، 65%، 55%، صفر%، على التوالي. أما نسبة الزيادة في إستهلاك الكهرباء فقد كانت كالتالي: 36%، 28%، 25%، 22,4%، 12,7% للبيوت المحمية بمستويات تظليل 80%، 70%، 65%، 55%،صفر%، على التوالي.

وعند دراسة متوسط إستهلاك المياه والكهرباء من الساعة 9ص وحتى الساعة 15م في فترة الصيف المعتدلة، (الشكل (6) و(7)) وجد أن أعلى معدل لإستهلاك المياه والكهرباء كان بين الساعة 12ظهراً، والساعة 13 بعد الظهراً لجميع البيوت المحمية، بسبب إرتفاع كل من درجة الحرارة الخارجية، والإشعاع الشمسي الساقط خلال تلك الفترة. وزاد هذا من فترة تشغيل مراوح التهوية، ومضخة الماء في نظام التبريد التبخيري، بغرض المحافظة على درجة الحرارة الداخلية بين 23 م – 27 م. حيث أن متوسط كمية المياه المستهلكة في تلك الفترة في البيوت المحمية بنسب تظليل صفر%، 55%، 65%،70%،80% كانت 5.78، 5.26، 5.26، 5.04، 4.78 لتر/ساعة/م^2 من مساحة اللباد على التوالي، بينما كان المتوسط من الساعة 9ص إلى الساعة 10 ص، 3.64,3.93، 3.55، 3.65، 3.19 لتر/ساعة/م من مساحة اللباد وذلك للبيوت المحمية ذات نسب تظليل صفر%، 55%، 65%، 70%، 80%، على التوالي. أي أن معدل إستهلاك مياه التبريد قد إرتفع



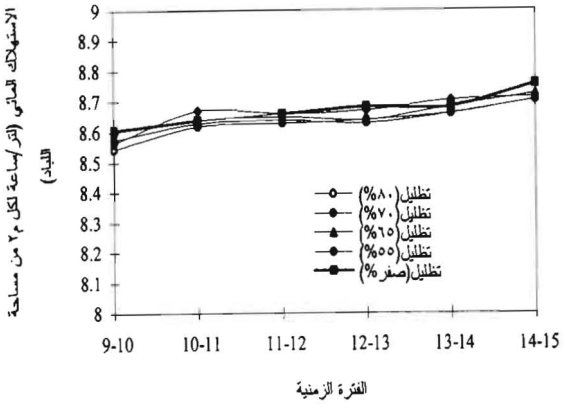
شكل رقم 6: متوسط استهلاك المياه أثناء عملية التبريد التبخيري لمستويات تظليل مختلفة للفترة بين الساعة 9ص – 15م خلال فترة الصيف المعتدلة. (1 – 30 اكتوبر 2000م).



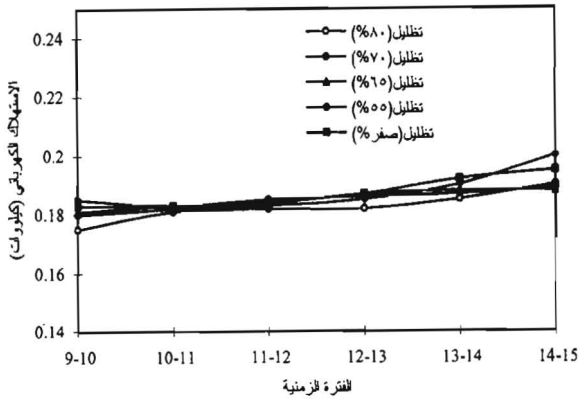
شكل رقم 7 : متوسط استهلاك الكهرباء أثناء عملية التبريد التبخيري لمستويات تظليل مختلفة للفترة بين الساعة 9ص – 15م خلال فترة الصيف المعتدلة. (1 – 30 اكتوبر 2000م).

بنسبة تتراوح بين 48%–50% من الساعة 9ص وحتى الساعة 13م. أما الإستهلاك الكهربائي فقد إرتفع بنسبة تتراوح بين 26%–35%، حيث بلغت القيم القصوى له كالتالي 0.195, 0.176, 0.171, 0.165, 0.156 كيلوات بنسب تظليل صفر%، 55%، 65%، 70%،80%، على التوالي.

أما بالنسبة لفترة الصيف الحارة، (16 – 24 يوليو 2001م) فوجد أن استهلاك المياه والكهرباء يرتفع بمعدل منخفض، مع مرور الوقت بين الساعة 9ص إلى الساعة 15م (شكل 8 و9).



شكل رقم 8: متوسط استهلاك المياه أثناء عملية التبريد التبخيري لمستويات تظليل مختلفة للفترة بين الساعة 9ص – 15م خلال فترة الصيف الحارة. (16 – 24 يوليو 2001م).



شكل رقم 9: متوسط استهلاك الكهرباء أثناء عملية التبريد التبخيري لمستويات تظليل مختلفة للفترة بين الساعة 9ص – 15م خلال فترة الصيف الحارة. (16 – 24 يوليو 2001م).

حيث أن الإرتفاع في درجة الحرارة الخارجية مع مرور الوقت يصحبه إرتفاع في معدل الاستهلاك المائي والكهربائي. كانت كمية المياه المستهلكة للفترة من الساعة 9ص إلى 10ص للبيوت ذات نسب تظليل صفر%، 55%،65%،70%،80% كالتالي 8.60, 8.56, 8.60, 8.57, 8.54 لتر/ساعة/م^2 من مساحة اللباد، على التوالي، وللفترة من الساعة 14م إلى 15م ولنفس البيوت المحمية 8.75, 8.71, 8.72, 8.70, 8.70 لتر/ساعة/ م^2، على التوالي. أي أن معدل إستهلاك مياه التبريد قد إرتفع بنسبة ضئيلة تتراوح بين 1.3% – 1.8% من الساعة 9ص – 15م. أما الإستهلاك الكهربائي فقد إرتفع بنسبة تتراوح بين 2.2% إلى 11.1%، حيث كان معدل الإستهلاك الكهربائي للبيوت ذات نسب تظليل صفر%، 55%، 65%، 70% ،80% للفترة من الساعة 9 ص – 10ص كالتالي 0.183, 0.18, 0.181, 0.185, 0.175, كيلوات، على التوالي. بينما كان هذا المعدل للفترة من الساعة 14م – 15م كالتالي 0.195, 0.2, 0.188, 0.189, 0.19, كيلوات على التوالي.

الخلاصة والتوصيات

تمت دراسة تأثير تظليل البيوت المحمية بشبك البلاستيك الأخضر في كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية داخل البيت المحمي، وكذلك في الاستهلاك المائي والكهربائي أثناء عملية التبريد التبخيري. لم يكن للتظليل تأثير معنوي (P=0.05) على درجات الحرارة داخل البيوت المحمية خلال فترات الصيف المعتدلة، لكن الرطوبة النسبية في البيوت المحمية المظللة بنسب 80%، 70%، 55% أعلى منها في البيت الغير مظلل. أما بالنسبة لفترات الصيف الحارة فلقد أوضحت النتائج أهمية التظليل في تخفيض درجات الحرارة، ورفع الرطوبة النسبية داخل البيوت المحمية. أوضحت نتائج الدراسة خلال فترات الصيف المعتدلة، أن للتظليل القدرة على خفض معدل إستهلاك المياه والكهرباء. أوضحت أيضاً وجود فرق معنوي فقط بين البيت المظلل بنسبة 80 % والبيت الغير مظلل. أما بالنسبة للطاقة الكهربائية المستهلكة فيوجد فرق معنوي فقط بين البيوت بنسبة تظليل 80 %،70% والبيت الغير مظلل. وفي خلال فترة الصيف الحارة، فليس للتظليل تأثير على الاستهلاك المائي والكهربائي. كما تبين من البحث أن استهلاك المياه أثناء عملية التبريد في فترة الصيف الحارة (مقارنة بفترة الصيف المعتدلة) سجل زيادة بنسبة 112%، 102%، 96%، 93%، 79% للبيوت المحمية بمستويات تظليل 80%، 70%، 65%، 55% و صفر%، على التوالي، كما أن الطاقة الكهربائية المستهلكة لنفس البيوت زادت بمقدار 36% و 28%، 25%، 22.4%، 12.7%.

وعلى ضوء النتائج التي تم التوصل إليها فإن تظليل البيوت المحمية مهم جداً خلال فترات الإعتدال الجوي في تخفيض الإستهلاك المائي و الكهربائي أثناء عملية التبريد التبخيري. أما في الأوقات مرتفعة درجة الحرارة من السنة، فيوصى بالتظليل بغرض تخفيض درجة الحرارة، ورفع الرطوبة النسبية وبالتالي تخفيض الإجهاد الحراري على النباتات. ويعني هذا ضرورة إجراء المزيد من الأبحاث على مواد تظليل مختلفة، بحيث تشمل الدراسة تأثيرها على كل من نمو وإنتاجية محاصيل البيوت المحمية، وعلى معدل التبخر والنتح لهذه المحاصيل بالمناطق الجافة.

شكر

يتقدم الباحثان بالشكر والتقدير لعمادة الدراسات العليا ومركز البحوث الزراعية بجامعة الملك سعود على دعمهما لهذا البحث.

المراجع العربية

الهلال، إبراهيم محمد والتويجري، حمود صالح. (2001م) كفاءة التبريد التبخيري لوسائد ليف النخيل والوسائد الورقية ذات الأخاديد المتقاطعة تحت الظروف المناخية الجافة. المجلة المصرية للهندسة الزراعية، الجمعية المصرية للهندسة الزراعية، جامعة الأزهر، **18** (2): 469–483.

Aldrich, R. A. and J. W. Bartok. (1992) Greenhouse engineering. Northeast regional agricultural engineering service, Cooperative extension, Ithaca, NY.

Al-Shooshan, A. (1996) Comparison of different greenhouses cooling systems under arid climate conditions. J of King Saud University, Agricultural Science, Vol. **8**: 37-48.

Al-Shooshan, A., T. H. Short, R. W. McMahon, and R. P. Fynn. (1991) Evapotranspiration measurment and modeling of a greenhouse grown chrysanthemum crop. ASAE paper No. 91-4043. ASAE, St. Joseph, MI. 49085.

Araki, Y. S., K. Inoue, M. L. Murakami, K. Jung, C. Gross, A. E. Watada, and S. K. Lee. (1999) Effect of shading on growth and quality of summer spinach. Acta Horticulturae **484**: 105-110.

Bailey, B. J. (1991) The environment in evaporatively cooled greenhouse. Acta Horticulturae **287**: 59-66.

Bucklin, R. A. (1987) Design of shade structures for plant production.. ASAE paper No. 87-4060. ASAE, St. Joseph, MI. 49085

Elwell, D. L., and T. H. Short. (1989) Control of effects in a polystyrene pellet variable shading greenhouse glazing. Transaction of the ASAE **32**(6): 2117 - 2122.

Gary, H. E. (1948) Summer cooling of greenhouses. N. Y. State Flower Growers Bul. **33**:8.

Goldsberry, K. L., and D. Wolnick. (1966) Evaluation of greenhouse shading compounds. Colorado Flower Growers Assoc. Bul. **190**:1-3.

Grafaidellis, M. (1978) New developments in shading plastic greenhouses. Acta Horticulturae. **76**: 365-368.

Kuack, D. L. (1986) Shading techniques utilize the unusual. Greenhouse Grower (May), pp. 29-30.

Montero, J. I., A Anton, A. Arnijas, C. Biel, and I. Segal. (1992) Natural ventilation in polyethylene greenhouses with and without shading screens. Proceedings of the international seminar and British Israel workshop on greenhouse technology, Bet Dagan, Israel. pp. 65-71.

NeSmith, D. S., P. L. Raymer, M. S. Rao, and D C Briggs (1992). A durable, lightweight structure for conducting field shading experiments. Hortscience **27**(12): 1274-1275.

Oke, T R (1993). Boundary layer climates. Second edition. Routledge, 11 New Fetter lane, London. United Kingdom.

Rebuck, S M, R A Aldrich and J W White (1977). Internal curtains for energy conservation in greenhouses. ASAE. Paper No. 76-4009.

Ryleski, I (1986). Improvement of pepper fruit quality and timing of harvest by shading under high solar radiation conditions. Acta Horticulturae **191**: 221-228.

Short, T H, and S A Shah (1981). A portable polystyrene-pellet insulation system for greenhouses. Transaction of the ASAE **24** (5): 1291-1981.

Stamps, R H (1991). Cold protection of Leatherleaf fern using crop covers and overhead irrigation in shadehouses. HortScience **26** (7): 862-865.

Statistical analysis system institute. (1982) SAS user guide: Statistical SAS Institute, Cary, North Carolina.

Valdimirova, S V, R A Bucklin and D B McConnell (1996). Influence of shade level, wind velocity, and wind direction on interior air temperatures of model shade structures. Transaction of the ASAE **39** (5): 1825-1830

Vollebregt, R (1990). Analysis of greenhouse curtain systems for shading, cooling, and heat retention. Combined proceedings international plant propagators society.

Willits, D H (1992). Greenhouse shading. N.C. Flower Grower's Bulletin **6**: 8-10.

Yates, D J (1989). Shade factors of a range of shadecloth materials. Acta Horticulturae **257**: 201-217.

Ref. 2184
Received 15/07/2002.
In revised form 17/12/2002