



Slutrapport ”LED-teknik för assimilationsbelysning: Energibesparing och växtstyrning”

SLF Dnr H0856460

Hartmut K. Schüssler, Karl-Johan Bergstrand
SLU, Område Hortikultur
Box 103
230 53 Alnarp

Innehåll

Slutrapport ”LED-teknik för assimilationsbelysning: Energibesparing och växtstyrning”	1
Bakgrund	3
Material och metoder.....	4
Resultat.....	5
Diskussion	9
Publikationer	9
Övrig resultatförmedling till näringen.....	10
Litteratur.....	10

Bakgrund

Assimilationsbelysning används sedan länge i Sverige inom prydnadsväxt- och småplantproduktion i växthus för att öka tillväxten, förbättra kvaliteten samt möjliggöra produktion under tider på året då den naturliga ljusinstrålningen är för låg för att stödja en god tillväxt.

Traditionellt används högtrycksnatriumlampor (HPS) i effekter på 400-1000 W per armatur med en installerad effekt om c:a 30-100 W m⁻². Under senare år har dock belysningsteknik baserad på LED (Light Emitting Diode, lysdiod) utvecklats med avseende på belysningens styrka och effektivitet samtidigt som inköpspriset har sjunkit. LED-tekniken har flera fördelar som lång livslängd, hög verkningsgrad och styrbarhet med avseende på ljusstyrka och spektral sammansättning. Den skiljer sig också från konventionella ljuskällor genom låg värme- (IR-) strålning samt moduluppbyggnaden som ger stor frihet i utformningen av armaturerna. Sammantaget innebär detta att assimilationsbelysning baserad på LED-teknik har börjat bli kommersiellt intressant.

De typer av ljuskällor som hittills använts för assimilationsbelysning har avgett ett brett och fast ljusspektrum. LED-tekniken möjliggör belysning med monokromatiskt ljus i flera färger. Det är sedan tidigare känt att belysning med monokromatiskt ljus i vissa våglängder kan påverka växternas morfologiska utveckling. Tidigare har det ansetts, att tillskott av blått ljus ger kortare internoder, det har även visats att tillskott av rött och blått ljus ökar knoppbildningen i t.ex. cyklamen (Shimizu *et al.*, 2005; Wook Heo *et al.*, 2003; Appelgren, 1991). De första försöken med LED vid SLU Alnarp genomfördes redan under 80-talet, där man fann att dagförlängning med rött ljus (660 nm) hade starkt hämmande inverkan på plantornas sträckningstillväxt jämfört med glödlampsljus (Schüssler, 1989). Försöken avbröts då bland annat på grund av att tekniken vid det tillfället ställde sig alltför dyr. Litteraturstudier och preliminära försök, utförda med finansiering av Tillväxt Trädgård, ger vid handen att monokromatiskt ljus har stark inverkan på växternas tillväxt, med möjlig applikation inom tillväxtreglering av prydnadsväxter och grönsakssmåplantor.

Möjligheten att optimera spektralfördelningen efter växternas fotosyntes anses kunna innebära en energibesparing, eftersom våglängder med mindre eller ingen fotosyntesaktiv effekt kan utelämnas (Pinho, 2008). Detta skulle teoretiskt sett kunna innebära en besparing på 20-30% i insatt elektrisk energi (Pinho, 2008). De praktiska effekterna av ett sådant förfaringsätt är ännu ej utredda. Plantornas utveckling med avseende på morfologi och blombildning kan påverkas även av våglängder utanför det spektrum som är optimalt för fotosyntesen, något som är särskilt viktigt vid produktion av prydnadsväxter.

Avsikten med det sökta projektet var att undersöka växternas reaktion på LED-belysning, antingen monokromatiskt eller i ett definierat spektrum, och därav följande möjlig reduktion i energiåtgång och/eller behov av kemisk retardering.

Föreliggande rapport är att betrakta som en mellanrapport avseende resultat från projektets första år. Projektet söktes ursprungligen som ett tvåårigt projekt men beviljades endast medel till ett år. Vissa av de resultat som presenteras i denna rapport behöver upprepas, och är i dagsläget att betrakta som preliminära. Hösten 2009 beviljades medel för ytterligare drygt ett år varför fullständig slutrapport kommer att avges under 2012.

Material och metoder

Odlingsförsök har bedrivits i växthus och i klimatkammare. I växthus utfördes försök där LED gavs som dagförlängning, samt som tillskottsbelysning. I klimatkammare gavs LED som enda ljuskälla utan tillträde av naturligt ljus.

LED som dagförlängning (försök 1)

För försöken med dagsförlängning utnyttjades en växthusavdelning med en kortdagskammare bestående av fem fack med möjlighet till individuella inställningar för dagslängd. I kortdagskammaren monterades LED-armaturer (22 w, TRG components, Arboga, Sverige) i de distinkta våglängderna 585 nm (gult), 620 nm (rött), 525 nm (grönt), 460 nm (blått) samt det polykromatiska vita ljuset (430-730 nm). Ljusstyrkan i planthöjd låg på 6-39 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Dygnet delades in i tre zoner om vardera åtta timmar: mörker, naturligt dagsljus, LED-belysning. Tre växtslag användes i försöket; *Chrysanthemum x morifolium* 'Token', krukkrysanthemum, *Kalanchoë x blossfeldiana* 'Whiper', höstglöd, samt *Euphorbia pulcherrima* 'Novia', julstjärna. Varje vecka mättes tillväxten hos huvudskottet, samt plantornas utveckling bedömdes visuellt. Försöket avslutades i december och då registrerades planthöjd, plantbredd bred/smal, antal sidoskott, antal noder, antal blomknoppar, internodiellängd, stamdiameter samt frisk- och torrsvikt. Målet med detta försök var att utvärdera LED-belysningens användbarhet för blomningsreglering.

LED som tillskottsbelysning (försök 2)

Samma växtslag som i försök 1 ingick. Plantorna odlades naturlig dagslängd med tillskottsljus dagligen 8:00-16:00 normalt看. Tillskottsljuset utgjordes av LED-armaturer (2*100 w, NordicLed, Varberg, Sverige), alternativt 1*400W HPS. Ljusbelysning en mulen dag med 129 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ bakgrundsstrålning gav resultatet att under LED-belysningen var ljusstyrkan 137-154 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, medan under HPS-belysningen var ljusstyrkan 205-263 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Försöket började vecka 34 och avslutades vecka 44 (krysantemum) alt. vecka 51 (höstglöd, julstjärna). Varje vecka mättes tillväxten hos huvudskottet samt plantornas utveckling bedömdes visuellt. Försöket avslutades i december och då gjordes samma mätningar som beskrivits ovan under försök 1. Målet med försöket var att se om LED-belysningens mer avpassade spektrum leder till lägre energiåtgång, samt hur det påverkar tillväxten.

LED som enda ljuskälla (försök 3)

Samma växtslag som i försöket ovan användes. Plantorna placerades i små kammare om 0.25 m². Dessa var belägna i en klimatkammare med konstant temperatur (20°C). I vardera kammaren monterades LED-utrustning om 30 W i sex olika behandlingar: vitt, gult, rött, grönt, blått samt en

blandning av rött och blått. Plantornas placering i förhållande till ljuskällan justerades så att samtliga behandlingar erhöll ca $25 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Belysning gavs med 18 h dygn⁻¹. Varje vecka mättes skottlängden. Vid slutskörd (v. 51) utfördes samma biometriska analyser som i försöken ovan. Målet med försöket var att utvärdera de enskilda vågländernas inverkan på planttillväxt (förberedelse inför framtida försök).

Data bearbetades statistiskt med ANOVA+Tukey-test och två-vägs T-test, $p < 0.05$ ansett som signifikant (Minitab 15).

Resultat

Försök 1

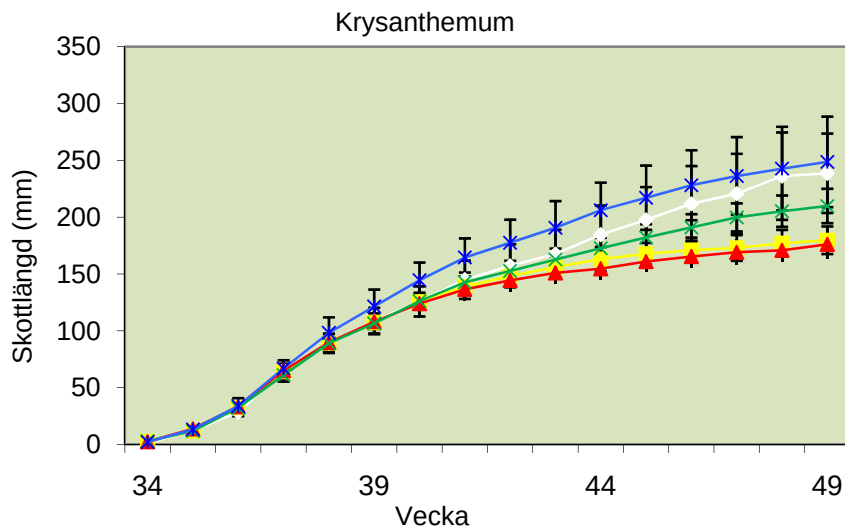
För krysantemum förhindrades blombildningen helt i det vita ljuset. I det blå ljuset inducerades blomning när ljusstyrkan understeg c:a $10 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. I gult och rött ljus bildades blomknoppar, i synnerhet där ljuset var som starkast ($6-10 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), mindre tydligt där ljuset var svagare. Skotttillväxten var kraftigast i det vita och det blå ljuset. Internodiellängden var signifikant större i det blåa ljuset jämfört med alla andra behandlingar. Antalet sidoskott var också lägre i det blå ljuset. För stamdiameter, friskvikt och torrsvikt fanns inga skillnader mellan behandlingarna.

För höstglöd förhindrades blombildningen helt i samtliga behandlingar utom i blått ljus, där blomning liksom för krysantemum inducerades vid ljusnivåer under c:a $10 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Vid slutskörd var total planthöjd lägre i grönt ljus jämfört med alla andra ljusspektra med undantag för rött. Planthöjden i rött ljus var också lägre än i blått ljus. I övrigt inga skillnader.

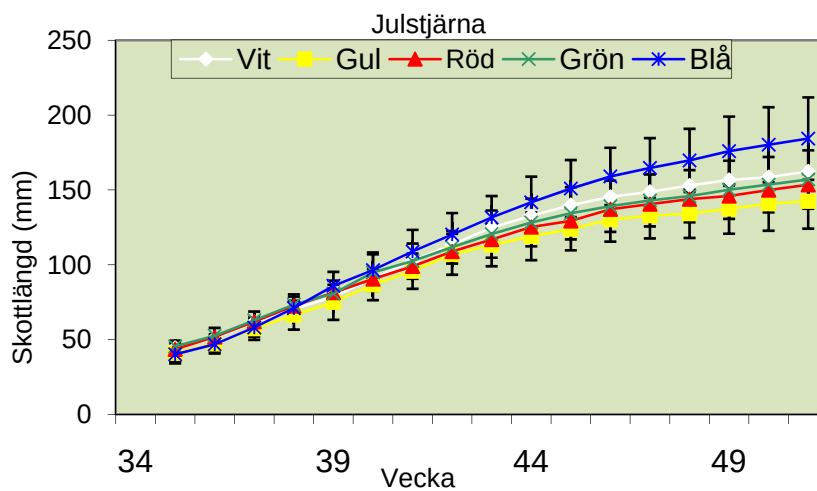
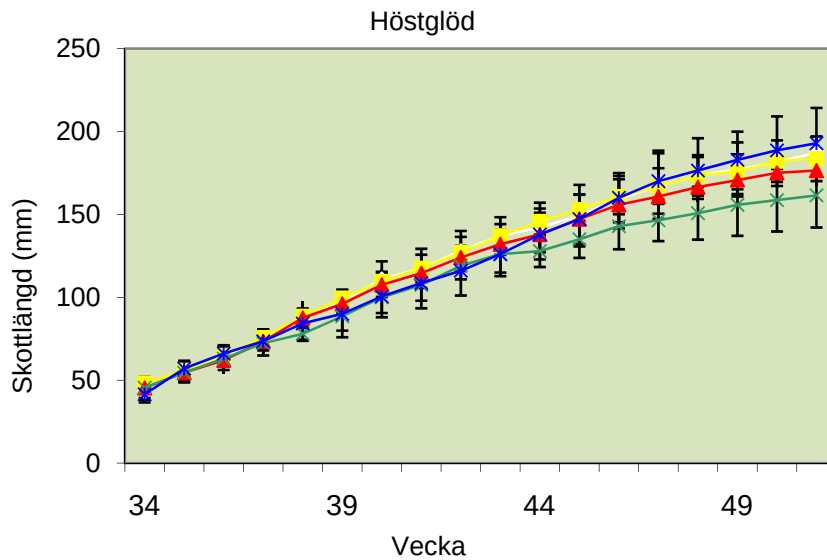
För julstjärna var internodiellängden större i blått ljus jämfört med alla andra behandlingar. Även total planthöjd var högre i blått ljus, förutom i jämförelse med vitt ljus. I övrigt fanns inga entydiga skillnader



Bild 1: Julstjärna odlade med LED som 8 timmars dagförlängning efter 8 timmar naturligt ljus under perioden augusti till december, fr. v. vitt, gult, rött, grönt och blått LED-ljus. Foto: H.K. Schüssler



Figur 1: Kumulativ tillväxt hos huvudskottet hos krysanthemum 'Token', kalanchoë 'Simone' och julstjärna 'Novia' odlad under långdagsförhållanden där dagförlängning med LED-ljus gavs under 8 timmar efter en period med 8 timmars naturligt ljus under perioden augusti-december.



Försök 2

För krysantemum var den enda statistiskt säkerställda skillnaden lägre torrsvikt för LED-belysta plantor. För höstglöd var total planthöjd signifikant lägre vid försökets avslutning, beroende på att blomskaften sträckt sig mindre. HPS-belysta plantor kom till anthesis tre dagar före de LED-belysta plantorna. Internodielängd och torrsvikt var lägre för LED-belysta plantor. I övrigt inga skillnader. För julstjärna var internodielängd, stamdiameter och antal cyathier lägre för de LED-belysta plantorna, medan antalet braktéer var lägre hos de HPS-belysta plantorna. Uppmätt bladtemperatur var c:a 1 grad lägre hos de plantor som belystes med LED, jämfört med de som belystes med HPS.



Bild 2: Kalanchoë odlade med olika sorter tillskottsljus (8 h/dygn) under perioden augusti till december, vänster: Vit LED, höger: SON-T. Foto: H.K. Schüssler

Försök 3

Den låga ljusintensiteten till trots utvecklade sig plantorna i vitt och blått ljus ganska väl, medan det gula ljuset knappast gav någon tillväxt i relation till övriga behandlingar. I blandningen av blått och rött ljus blev plantorna mycket kompakta, men blomning inducerades hos krysantemum.

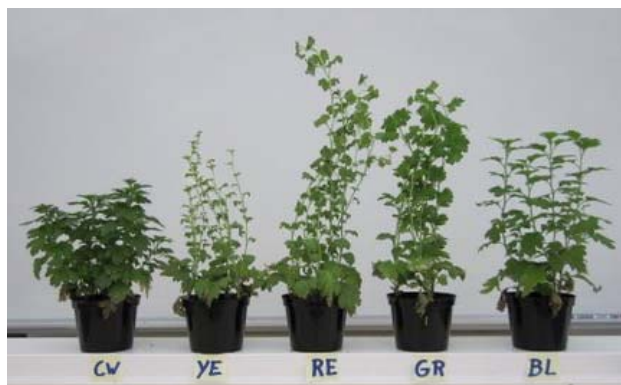
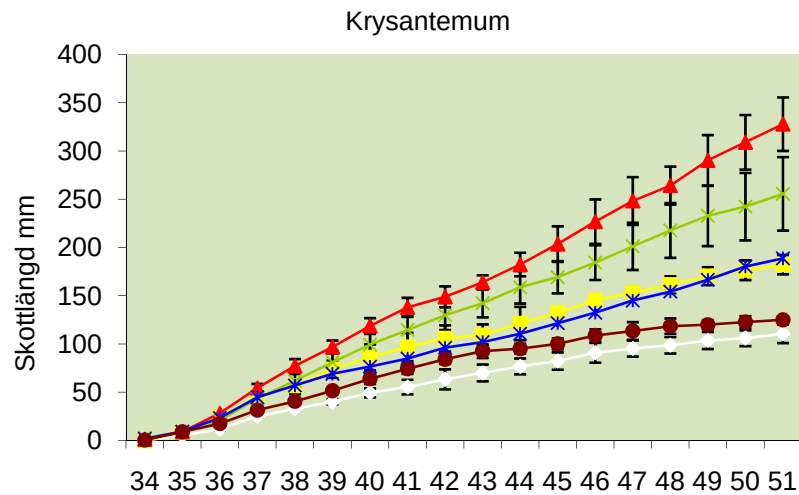
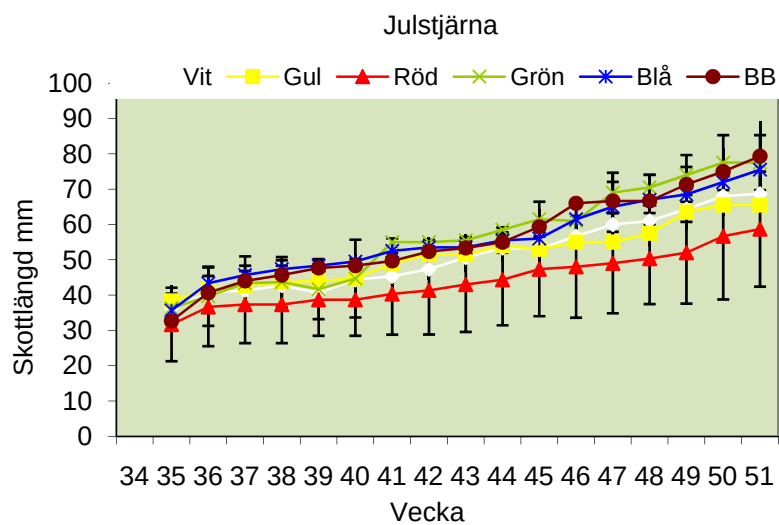
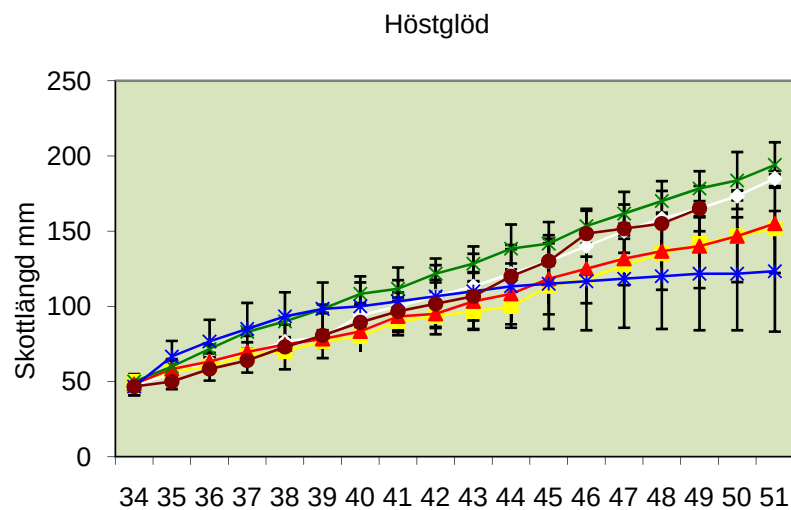


Bild 3: Krysantemum odlade i uteslutande LED-ljus vid $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fr.v. vitt, gult, rött, grönt och blått ljus.



Figur 3: Huvudskottets längd hos krysantemum, höstglöd och julstjärna som odlats i uteslutande LED-ljus (18 tim/dygn, $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) i färgerna vitt, gult, rött, grönt och blått samt blandning av rött och blått (BB) under en period om fyra månader.



Diskussion

Resultaten som presenteras i denna rapport är preliminära och försöken kommer att upprepas eller kompletteras med vidare undersökningar, bl. a. med mera avancerade LED-ljuskällor.

De försök som utförts inom ramen för detta projekt har genomförts med den till buds stående tekniken vid relativt låga ljusstyrkor. Den snabba teknikutvecklingen inom LED-området kommer fram till ständigt starkare ljusstyrkor med bättre fotosyntetiska möjligheter. Mycket av de resultat som framkommit i studien är därför att betrakta som preliminära eller förberedande då den kommersiellt tillgängliga tekniken redan utvecklats förbi det stadium den befann sig på då projektet startades och utrustningen inköptes. Redan nu kan konstateras att blominduktion hos kortdagsväxterna julstjärna, höstglöd och krysantemum kan förhindras genom väl vald LED-belysning och på ett energisnålt sätt ersätta den tidigare använda glödlampstekniken som är under utfasning.

Det mest anmärkningsvärda resultatet från studien är upptäckten att blått LED-ljus inducerar ökad sträckningstillväxt hos flera växtslag, tvärtemot gängse uppfattning och tidigare publicerad litteratur (Shimizu *et al.*, 2005; Wook Heo *et al.*, 2003; Rajapakse & Kelly, 1992; Appelgren, 1991). En tänkbar förklaring är att tidigare försök utförts med spektrala filter istället för den nu tillgängliga LED-tekniken. Spektrala filter ger ett ljus med ”föroreningar” av andra våglängder (Parker *et al.*, 1946), medan LED-tekniken, där ljuset alstras av en bestämd sammansättning av metaller, ger en specifik våglängd med smal bandbredd.

Förhoppningen att LED-ljusets bättre spektralfördelning skulle innebära en möjlighet att sänka ljusstyrkan jämfört med HPS och få en likvärdig utveckling infriades inte helt. Den försenade utvecklingen hos plantor som belysts med LED kan troligen tillskrivas lägre bladtemperatur, på grund av lägre strålningsvärme. LED-teknikens låga strålningsvärme framhålls ofta som en fördel, men påverkar också klimatet i plantskiktet vilket kan behöva kompenseras t.ex. genom ökad lufttemperatur.

Publikationer

Bergstrand, K.-J., Schüssler, H.K. Recent progress on the application of LEDs in horticultural production. *Acta Horticulturae*, in press

Bergstrand, K.-J. 2010. Approaches for Mitigating the Environmental Impact of Greenhouse Horticulture. Doktorsavhandling.

http://diss-epsilon.slu.se:8080/archive/00002408/01/Bergstrand_KJ_101116.pdf

Schüssler, H.K., Bergstrand, K.-J. 2011: Snabb utveckling inom växthusbelysning. Viola nr. 4:21-22.

Övrig resultatförmedling till näringen

Försöken har presenterats för odlare vid Julstjärnevandringen den 12:e november 2009. Resultaten har kontinuerligt förmedlats till odlare vid odlarbesök. Konsulenterna Inger Christensen och Torbjörn Hansson från Grön Kompetens AB, Klara Löfkvist från HIR Malmöhus samt Anna-Karin Johansson, Vendel trädgårdsrådgivning AB har blivit informerade om försöken. Journalistskrivna artiklar har publicerats bl. a. i ATL (nr. 10, nr. 63, 2010). Ett stort antal telefonsamtal och e-postmeddelanden från näring och allmänhet har besvarats.

Litteratur

- Appelgren, M. (1991). Effects of light quality on stem elongation of *Pelargonium* in Vitro. *Scientia Horticulturae* 45, 345-351.
- Parker, M.W., Hendricks, S.B., Borthwick, H.A. & Scully, N.J. (1946). Action spectrum for the photoperiodic control of floral initiation of short-day plants. *Botanical Gazette* 108(1), 1-26.
- Pinho, P. (2008). *Usage and control of solid-state lighting for plant growth*. Diss. Helsinki:Helsinki University of Technology.
- Rajapakse, N.C. & Kelly, J.W. (1992). Regulation of Chrysanthemum Growth by Spectral Filters. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 117(3), 481.
- Schüssler, H.K. (1989). Preliminära resultat från Alnarp: Lysdioden har effekt (inkl. försök, *Asteriscus maritimus*, guldkrage, lysdiod 660 nm). *Viola* (17-18), 6-7.
- Shimizu, H., Ma, Z., Tazawa, S., Douzono, M., Runkle, E. & Heins, R. (2005). The Application of Blue Light as a Growth Regulator. *ASAE Meeting Presentation* 054152.
- Wook Heo, J., Woo Lee, C., Murthy, H.N. & Yoeup Paek, K. (2003). Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. 'Dixie White'. *Plant Growth Regulation* 40, 7-10.