



**Slutrapport ”LED-teknikens potential för energibesparing och
växtstyrning vid produktion av prydnadsväxter och grönsaker i
växthus” SLF Dnr H0956011**

Hartmut K. Schüssler & Karl-Johan Bergstrand
SLU Hortikultur, Box 103, 230 53 Alnarp
Karl-Johan.Bergstrand@slu.se

Innehåll

Bakgrund	2
Material & Metoder	2
Resultat.....	4
Diskussion	8
Publikationer.....	9
Övrig resultatförmedling till näringen	9
Referenser.....	10

Bakgrund

Inom hortikulturell växtproduktion används artificiell belysning på tre sätt; 1: Assimilationsljus som tillskott till naturligt solljus, 2: Fotoperiodiskt ljus för blomningsreglering av dagslängdsberoende växtslag, samt 3: Som enda ljuskälla i slutna utrymmen (Canham, 1966). Under de senaste decennierna har assimilationsljus vanligtvis producerats med högintensiva urladdningslampor av högtrycksnatrium- eller metallhalogentyp. För fotoperiodiskt ljus har ofta glödlampor använts medan lysrör varit vanligt förekommande vid odling i slutna utrymmen. Under de senaste åren har flera saker som påverkar valet av ljuskälla förändrats. Stigande elpriser och ökande miljömedvetenhet har lett till önskemål om mer effektiva belysningslösningar. Glödlampor och kvicksilverlampor är under gradvis utfasning. Minskad tillgång till kemiska tillväxtretardenter har lett till önskemål om förfinade alternativa retarderingsmetoder, där ljusrelaterade faktorer som fotoperiod samt ljusets styrka och kvalitet har en påverkan på växternas morfologi. Samtidigt har en snabb teknikutveckling lett till att nya och förbättrade typer av ljuskällor introducerats på marknaden. Den alternativa källa som först väckte intresse var LED-tekniken, med attraktiva fördelar i form av hög energieffektivitet, lång livslängd, möjlighet till styrning både i fråga om intensitet och kvalitet hos ljuset samt stor frihet gällande utformning och placering av armaturer (Morrow, 2008). Andra ljuskällor som kan tänkas komma i fråga för hortikulturella ändamål är keramiska metallhalogenlampor, plasmalampor, induktionslampor och fältemissionslampor (Schüssler & Bergstrand, 2011). Bakgrunden till det aktuella projektet var att undersöka primärt LED-teknikens användbarhet inom hortikulturella applikationer, samt även undersöka andra potentiella alternativ till de hittills använda teknologierna. Projektet hade många beröringspunkter med SLF Dnr H0856460 "LED-teknik för assimilationsbelysning: energibesparing och växtstyrning.

Material & Metoder

Försök har genomförts inom de tre huvudområdena för hortikulturell växtbelysning; Tillskott till naturligt ljus, fotoperiodiskt ljus samt odlingskammare utan tillträde för naturligt ljus.

LED som dagsförlängning (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 $30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Dygnet delades in i tre zoner om vardera åtta timmar: mörker, naturligt dagsljus, LED-belysning. Tre växtslag användes i försöket; *Solanum lycopersicum* 'Aromata' (Tomat), *Petunia* hybr. 'Raspberry blast' (Petunia) samt *Pelargonium zonale* 'Americana light pink splash' (Pelargon). Varje vecka mättes tillväxten hos huvudskottet, samt plantornas utveckling bedömdes visuellt. Vid försöksavslutning registrerades planthöjd, plantbredd bred/smäl, antal sidoskott, antal noder, antal blomknoppar, internodiellängd, stamdiameter samt frisk- och torrsvikt. Pelargonerna knoppades ur vid tre tillfällen under försökets gång. Målet med detta försök var att utvärdera LED-belysningens användbarhet för blomningsreglering, samt påverkan på tillväxt och utveckling hos dagsneutrala växtslag. Försöket utfördes under våren 2010, med upprepning under våren 2011.

LED som tillskottsbelysning (försök 2:1)

Plantor odlades i en växthuskammare under perioden augusti till december. Tre olika växtslag ingick; *Krysanthemum x morifolium* 'Token' (krukkrysanthemum), *Kalanchoë blossfeldiana* 'Simone' (Höstglöd) samt *Euphorbia pulcherrima* 'Novia' (Julstjärna). Plantorna utsattes för naturligt dagslängd, där tillskottbelysning gavs med 16 h/dygn fram till vecka 38, därefter 8 h per dygn för blominduktion. Fyra olika behandlingar fanns i samma kammare, sinsemellan avskärmade med svart-vit opak plastfolie, vilken även avskärmade för direkt solljus. Tillskottsljuset utgjordes av LED-armaturer (Röd/blå 350 W, LightGrow, Råå, Sverige), vit LED (4*90 W, Broham Invest AB, Norsjö, Sverige), 4*90 W röd/blå LED samt 1*250 W Högtrycksnatrium. Tillskott gavs med $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Försöket började vecka 34 och avslutades vecka 44 (krysanthemum) 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. Utöver plantmätningar loggades kontinuerligt temperatur och relativ luftfuktighet i plantskiktet på resp. behandling. Dessutom utfördes fotosyntesmätningar (LC Pro+, ACD BioScientific Ltd, Storbritannien). Målet med försöket var att se om LED-belysningens mer avpassade spektrum leder till lägre ökad tillväxt, samt huruvida växternas morfologiska utveckling samt utvecklingshastighet påverkas. Försöket utfördes under hösten 2010, med en upprepning hösten 2011.

LED som tillskottsbelysning (försök 2:2)

Under våren 2012 genomfördes en jämförande studie med olika typer av ny teknik för växthusbelysning. Försöksupställningen liknade i stort den som beskrivits under försök 2:1, med sex olika ljuskällor; Vit LED, Röd/blå LED, Plasmabelysning, Induktionslampa, Keramisk metallhalogen, samt Högtrycksnatrium. Tillskottsbelysning gavs med $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ och belysning gavs med 8 h efter en period av naturligt ljus om 8 h (totalt 16 h fotoperiod). De växter som odlades i försöket var kryddor (*Mentha x villosa*, *Salvia elegans* och *Salvia*

officinalis) samt utplanteringsväxterna *Petunia* hybr. 'Raspberry blast' och *Pelargonium* zonale 'Americana light pink splash'.

LED som enda ljuskälla (försök 3:1)

Växtslagen *Solanum lycopersicum* 'Aromata', och *Petunia* hybr. 'Raspberry blast' användes i försöken. 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 90 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 erhöi ca 60 µmolm⁻²s⁻¹. Belysning gavs med 18 h dygn⁻¹. Varje vecka mättes skottlängden. Vid slutskörd utfördes samma biometriska analyser som i försöken ovan. Som komplement utfördes även fotosyntesmätningar som beskrivits under försök 2. Målet med försöket var att utvärdera de enskilda vågländernas inverkan på planttillväxt och fotosyntes. Försöket utfördes under våren 2010, med en upprepning under våren 2011.

Under våren 2012 utfördes motsvarande försök med *Helianthus*, med tonvikt på analys av ljuskvalitets inverkan på bladets fotosynteskapacitet (försök 3:2).

Data från försöken bearbetades statistiskt med ANOVA+Tukey-test och två-vägs T-test, p<0.05 ansett som signifikant (Minitab 16).

Resultat

Resultat från försök 1

När tomatplantor odlades med fotoperioden förlängd med hjälp av LED blev sträckningstillväxten starkast om dagförlängningen gavs med blått eller gult ljus, medan grönt ljus hämmade sträckningen jämfört med övriga behandlingar. Liknande resultat erhöi även med petunia som försöksväxt, här var det vitt och blått ljus som gav de största internodiellängderna medan den blev lägst i rött ljus. Även stamdiameter och antal knopp blev högst i vitt och blått ljus, medan friskvikten var högst i blått och grönt ljus. För torrvikten fanns emellertid inga skillnader mellan behandlingarna. För pelargonerna blev skillnaden mellan de olika behandlingarna generellt mindre än vad den blev med tomato och petunia, men samma trender var synliga; sträckningen av huvudskottet blev störst hos de plantor som fått blått ljus, och därmed också plantbredden på grund av plantornas delvis "krypande" växtsätt. Vidare hade plantor som fått dagförlängningen med grönt ljus något färre sidoskott, medan antalet producerade blomknoppar inte skilde mellan behandlingarna. För frisk och torrvikter fanns inga skillnader mellan behandlingarna.



Bild 1: Pelargonier 'Americana light pink splash' odlade med 8 h naturligt ljus med åtföljande period om 8 h LED-ljus, i färgerna vitt (CV), gult (YE), rött (RE), grönt (GR) och blått (BL). Foto: H.K. Schüssler.

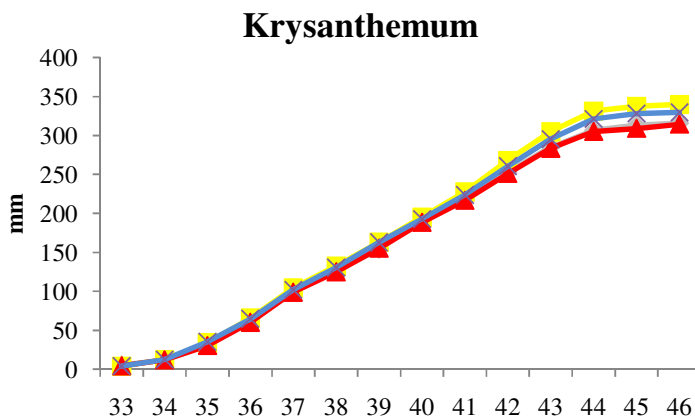


Bild 2: Petunia som fått dagförlängning med 8 h LED-ljus, fr. v. vitt, gult, rött, grönt och blått. Foto: H.K. Schüssler.

Resultat från försök 2:1

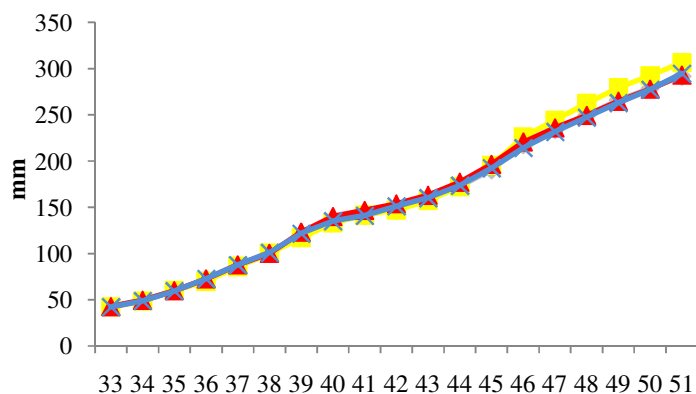
Såväl friskvikten som antalet blomknoppar hos Krysanthemum blev störst då tilläggslyset utgjordes av högtrycksnatriumlampor, och lägre hos behandlingarna med röd/blå LED. Torrvikten blev högst hos plantor som fått vitt LED-ljus eller högtrycksnatriumljus. För Kalanchoë blev den totala planthöjden högst under högtrycksnatriumlampor, liksom stamdiametern. Däremot fanns inga skillnader i internodiellängden. För friskvikten fanns inga skillnader, medan torrvikten däremot var högst hos plantor som odlats med vitt LED-ljus. Plantbredd och antal sidoskott skilde inte heller mellan behandlingarna.

För julstjärna blev planthöjden överlägset högst när de odlats med ljus från högtrycksnatriumlampor. Även torrvikt, stamdiameter samt antal cyathier och braktéer blev högst då högtrycksnatriumlampor användes. Plantornas bredd blev lägre då röda/blå LED användes. Uppmätt lufttemperatur i plantskiktet var c:a 1°C högre hos plantor som belystes med högtrycksnatriumlampor, jämfört med övriga behandlingar. Samtidigt var den relativa luftfuktigheten något lägre. Sammantaget ledde detta till en högre avdunstning och snabbare utveckling hos under högtrycksnatriumlamporna. Kalanchoe nådde anthesis fyra dagar då de odlades med högtrycksnatriumlampor. De plantor (krysanthemum) som vuxit under vita LED hade högre fotosynteskapacitet ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ bladyta s}^{-1}$) jämfört med övriga behandlingar.

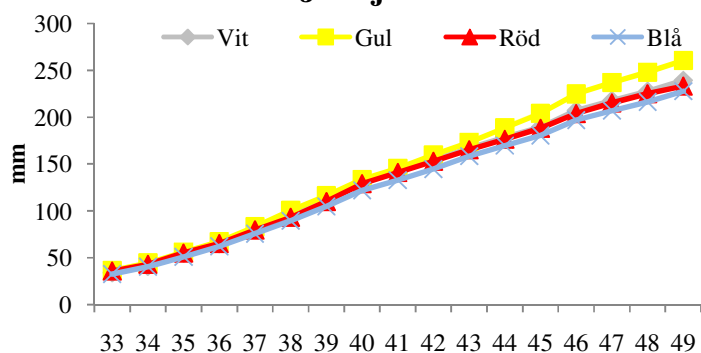


Figur 1: Huvudskottets längd hos krysanthemum, kalanchoe och julstjärna som odlats med vita LED (Vit), Högtrycksnatrium (Gul), Röda/blå LED 350 W (Röd) eller röda/blå LED 4*90 W (Blå) från augusti till december. Data från två upprepningar med vardera 10 plantor.

Kalanchoe



Julstjärna



Tabell 1: Temperatur, luftfuktighet och ljusintensitet i plantskiktet i de olika behandlingarna under den mörka resp. ljus delen av dygnet.

Ljusa delen av dygnet	Vit LED	HPS	Röd/blå LED I	Röd/blå LED II
Temp °C	21.4	22.2	21.0	21.2
Rh %	57.9	55.3	61.5	59.5
Mörka delen av dygnet	Vit LED	HPS	Röd/blå LED I	Röd/blå LED II
Temp °C	17.7	17.9	17.7	17.8
Rh %	68.3	68.4	71.3	70.6

Resultat från försök 2:2

För *Mentha* var internodielängden högst hos de plantor som fått ljus från keramisk metallhalogenlampa, och lägst hos de som fått rött/blått LED-ljus. Även de som fått vitt ljus hade förhållandevis låg internodielängd. För antalet sidoskott fanns inga skillnader, däremot skiljde blomutvecklingen kraftigt. Hos de plantor som inte fått något tillskottsljus fanns inga blommor, medan de som fått HPS-ljus hade i genomsnitt 4.7 blommande skott per planta, vilket var högst antalet, därefter i fallande skala CMH, Röd/blå LED, vit LED och induktionslampa. För friskvikten fanns inga skillnader mellan behandlingarna, medan torrvikten var lägst hos obelysta- samt induktionsbelysta plantor. Torrvikten var högst hos de plantor som fått HPS-belysning. Torrvikstens procentuella andel av friskvikten följde samma mönster. För *Salvia elegans* var total planthöjd signifikant högre hos de plantor som vuxit i

CMH-ljus, jämfört med alla andra behandlingar. Även internodielängden var högst i CMH-behandlingen och lägst i de obelysta plantorna, liksom stamdiametern. Antalet skott var högst hos HPS-belysta plantor, och lägst för CMH-belysta plantor. Även de obelysta plantorna var skottrika. Friskvikten var högst i den behandling som fått vitt LED-ljus och lägst i obelyst behandling. Torr vikten däremot var högst i HPS-behandlingen. Torrsubstanshalten i % av friskvikt var högst i HPS- och Röd/blå LED behandlingarna och lägst i obelyst behandling.

I *Salvia officinalis* var total planthöjd lägst hos obelysta plantor, men skiljde sig inte mellan de belysta behandlingarna. Internodielängden var högst hos HPS- och induktionsbelysta plantor, och i särklass lägst i obelysta plantor. Antalet skott var också högre i alla de belysta behandlingarna, jämfört med obelysta plantor. Även stamdiametern var lägst i obelyst behandling. Såväl frisk- som torr vikt var högst i HPS-belysta och lägst i obelysta plantor.

Resultat från försök 3:1

Vid odling i klimatkammare med enbart artificiell belysning skilde sig reaktionerna hos de två växtslagen i försöket. Tomatplantor uppvisade en kraftig sträckningstillväxt i gult och grönt ljus, medan växtsättet blev kompaktare i vitt och framför allt rött ljus. Däremot påverkades inte internodielängden eller friskvikten. För Petunia däremot förekom en väldigt kraftig sträckning i blått ljus, vilket ledde till att plantbredd och internodielängd blev signifikant högre i blått ljus, jämfört med alla andra behandlingar. Däremot blev plantorna mindre förgrenade i blått ljus, medan de plantor som odlats i rött ljus blev mycket starkt förgrenade. I blått ljus uppkom en rik knoppsättning, medan plantor som vuxit i vitt ljus hade något mindre knoppar, och de som vuxit i gult, rött eller grönt ljus saknade helt synliga knoppar vid tiden för försöksavslutning (bild 3).

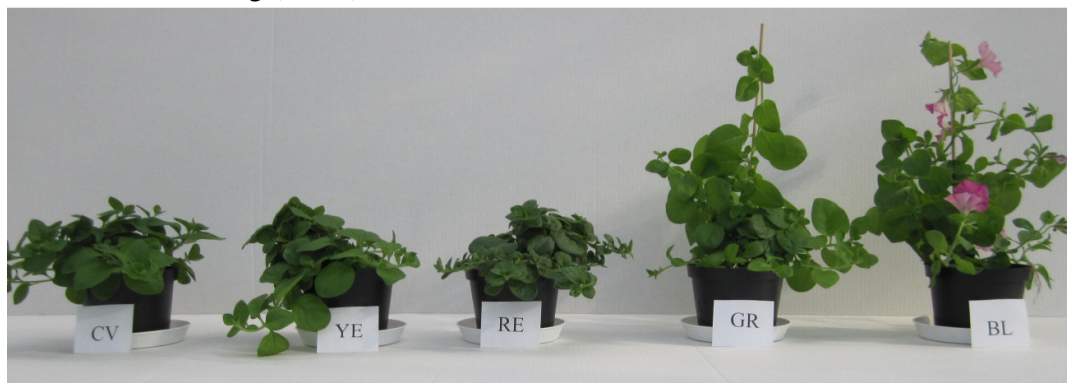
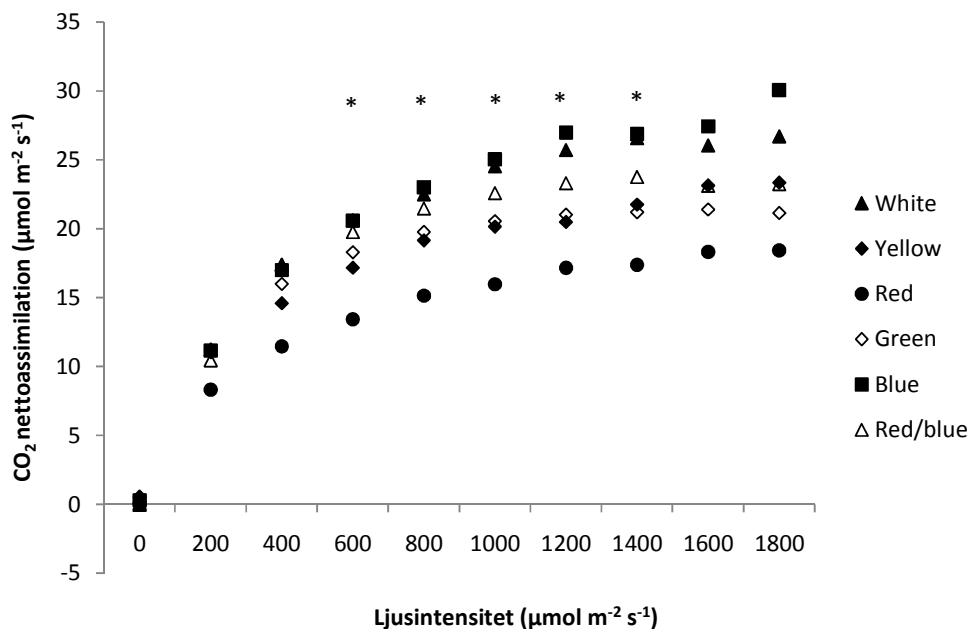


Bild 3: Petunia som odlats i klimatkammare med enbart LED-ljus, $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, fr. v. vitt, gult, rött, grönt och blått ljus. Foto: H.K. Schüssler.

Resultat från försök 3:2

Helianthus i konstantrummet avslutades 2012-06-07, då de flesta blommor nått anthesis. Internodielängden var i särklass högst hos de plantor som vuxit i blått ljus (bild 7). Friskvikten blev högre i rött och blått/rött ljus än i övriga behandlingar, liksom friskvikten. Lägst frisk- och torr vikt uppnåddes med grönt ljus. Medeltemperaturen i konstantrummet under odlingsperioden var 20.7°C . Fotosyntesen mättes med fotosyntesmätare LC pro vid 10 olika ljusintensiteter (figur 9). Vid fem av mätpunkterna fanns statistiska skillnader, där

plantor som växte i rött ljus hade den lägsta fotosyntesen och de plantor som växte i blått ljus hade den högsta fotosyntesen.



Figur 9: Fotosyntesen hos *Helianthus* i klimatkammar, mätt vid 10 olika ljusintensiteter.

* markerar statistisk skillnad (ANOVA, $p < 0.05$).

Diskussion

Resultaten från försöken som utfördes i klimatkammar visar på mycket stora möjligheter att påverka växtens utseende genom förändring av ljuskvalitén. Att kommersiellt odla växter i helt monokromatiskt ljus är inte relevant annat än i extrema fall såsom mikroförökning eller framtagande av en väldigt specifik slutprodukt, men resultaten ger en god vägledning om hur ljuset kan användas för tillväxtreglerande ändamål och på så sätt reducera behovet av kemiska tillväxtretardenter. Möjligheten att påverka växterna genom dagförlängning med ljus av en speciell kvalitet har större potential att bli ett allmänt använt förfaringsätt. I tidigare försök har kortdagsväxter möjligheten att förhindra blomning hos kortdagsväxter genom dagförlängning med svagt LED-ljus visat att blått ljus är mindre effektivt när det gäller att påverka växternas dagslängdsrespons, samtidigt som det i flera fall ökar sträckningstillväxten (Bergstrand & Schüssler, 2009). I de försök som presenteras i denna rapport har dagförlängning på liknande sätt använts i långdags- resp. dagslängdsneutrala växtslag. Potentialen hos denna metod visar sig i dessa försök vara tillräcklig för att metoden ska vara intressant för vidare utveckling, vilket kommer att ske i två projekt som beviljats medel från SLF 2010 resp. 2011.

Resultaten från försöken där tillskottsljus gavs tillsammans med naturligt dagsljus var givande sett ur ett tillväxtregleringsperspektiv då stäckningstillväxten generellt blev lägre vid användning av LED-ljus. Däremot blev utfallet i fråga om biomassaproduktion och fotosyntes något av en besvikelse med beaktande av LED-ljuskällornas bättre balanserade spektra,

jämför med högtrycksnatriumlampor. Den något försenade utvecklingen hos plantor som odlades under LED-ljus beror troligen på den avsevärt mindre mängd värme- (IR-) strålning som LED-lamporna avger. Detta framhålls ofta som en fördel med tekniken och det kan det vara då lamporna placeras nära kulturen t.ex. vid odling i flera plan eller vid ”interlighting” i upprättväxande grönsakskulturer, medan det vid odling av krukodlade kulturer närmast är en nackdel med lägre bladtemperatur och fördröjd utveckling som följd. Kompensering med hjälp av höjd lufttemperatur är en möjlig väg, men med ökat energibehov för uppvärmning som följd. Sammantaget har LED-tekniken potential för att bli ett verktyg i växtstyrning och tillväxtreglering, men här behövs mer forskning och utveckling innan detta når kommersiellt stadium. Däremot är inte LED-belysningens verkningsgrad som sådan i dagsläget bättre än den dominerande HPS-tekniken, trots ofta förekommande utfästelser i den vägen från leverantörer av utrustning. Slutsatsen blir att man beträffar assimilationsbelysning för ökad tillväxt bör avvaka med installation av LED-utrustning; höga kostnader, utebliven ökning av tillväxten trots optimerat spektrum samt fördröjningen av kulturen på grund av lägre IR-strålning hos LED-lamporna leder till att högtrycksnatriumlampan alltså bedöms vara det bästa alternativet för assimilationsbelysning.

Publikationer

Bergstrand, K.-J., Schüssler, H.K. Growth and photosynthesis of ornamental plants cultivated under different light sources. *Acta Horticulturae* 956:141-147

Bergstrand, K.-J., Schüssler, H.K., 2012
Recent progresses on the application of LEDs in the horticultural production
Acta Horticulturae 927:529-534

Bergstrand, K.-J., Schüssler, H.K.
Monochromatic LED-light and its influence on development and flowering of *Petunia* hybr. and *Lycopersicon esculentum*. Poster, GreenSys 2011, Halkidiki, Grekland, Juni 2011

Karl-Johan Bergstrand, Hartmut K. Schüssler, 2012. Nya tekniker inom växthusbelysning. LTJ-fakultetens faktablad 2012:26

Hartmut K. Schüssler, Håkan Asp, Karl-Johan Bergstrand 2012. Ljuset styr växterna i framtidens växthus. *Viola* nr. 5, 15-17

Övrig resultatförmedling till näringen

Referensgruppen för projektet sammanträdde 2012-11-06 på Alnarp. Muntlig information om projektet vid odlarträffar i Munka-Ljungby 2011-03-31 samt på Alnarp 2011-05-12 och 2012-03-29. Direktsänd radiointervju (ca 7 minuter) om projektet i P4 Radio Malmöhus, 2011-01-12. En artikel om projektet publicerades i tidningen ”City” 2010-12-27. Muntliga föredrag med presentation av resultat från projektet hölls på Alnarps trädgårdskonferens (2011-01-26), samt på Jordbruks & Trädgårdskonferensen på Alnarp (2011-03-03). En artikel skriven av Marianne Persson publicerades på atl.nu 2011-04-04. Radioinslag i ”Odlar med P1” 2012-04-09. Informerande odlarbesök har gjorts hos Orto Novo AB, Ekerö, Alverbäcks blomsterproduktion, Ekerö, Swedeponic, Påarp, Björkebo gård, Mörarp, Orevads handelsträdgård, Hörby, Steglinge gård, Nyhamnsläge, Lödde handelsträdgård, Löddeköpinge, Jacobssons eftr., Gluggstorp, Vä handelsträdgård, Kristianstad samt Kabbarps

handelsträdgård, Åkarp. Ett stort antal e-postmeddelanden och telefonsamtal från näring och allmänhet har besvarats.

Tack till:

Syngenta, Kabbarps trädgård, Lödde handelsträdgård, Tågerups trädgård, Hörnhems handelsträdgård

Referenser

- Bergstrand, K.-J. & Schüssler, H.K. (2009). Prospects on LED Lighting for Growth Regulation and Energy Saving in Pot Plant Production. *Acta Hort.* 893:269-274.
- Canham, A.E. (1966). *Artificial Light in Horticulture*. Eindhoven: Centrex Publishing Company.
- Morrow, R.C. (2008). LED Lighting in Horticulture. *HortScience* 43(7), 1947-1950.
- Schüssler, H.K. & Bergstrand, K.J. (2011). Snabb utveckling inom växthusbelysning. *Viola* 115(4), 21-22.