

# Påverkan på morfologi hos prydnadsväxten *Calibrachoa* som resultat av belysning underifrån med olika våglängder av ljus

Effects on morphology of *Calibrachoa* in response to intercanopy lighting of different wavelengths

*Olle Lind*



# Påverkan på morfologi hos prydnadsväxten *Calibrachoa* som resultat av belysning underifrån med olika våglängder av ljus

Effects on morphology of *Calibrachoa* in response to intercanopy lighting of different wavelengths

*Olle Lind*

**Handledare:** Karl-Johan Bergstrand, SLU Alnarp,  
Område Hortikultur  
**Btr handledare:** Hartmut K Schüssler, SLU Alnarp,  
Område Hortikultur  
**Examinator:** Helena Karlén, SLU Alnarp,  
Område Hortikultur

Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Kandidatarbete i biologi

**Kurskod:** EX0493

**Program/utbildning:** Hortonomprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2012

**Omslagsbild:** Olle Lind

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** belysning, end-of-day response, krukväxter, LED, monokromatiskt ljus, prydnadsväxter, retardering, växthus

**SLU, Sveriges lantbruksuniversitet**  
**Swedish University of Agricultural Sciences**

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap  
Område Hortikultur

## ABSTRACT

Different wavelengths of light lead to different morphological responses in plants, and the possibility to control spectral output in LED-lighting opens up new applications of artificial light in greenhouse production. One goal of this study was to examine the possibilities to grow compact plants without application of chemical growth retardants, as chemical growth retardants are considered negative from environmental and workers' health perspective.

In this study *Calibrachoa* 'Callie Bright Red' were grown in different wavelengths from light emitting diodes placed below the plants. The idea of placing the light source below the plant was to reduce shade effects from light fixtures, and to benefit from heat delivered from the lamps through convection. As a control, plants were also grown with light from above. LED allows the application of monochromatic light, which is a prerequisite for complete control of spectral composition. The colors used were: white, red, blue, yellow and green. Also treatments with mixed wavelengths were performed.

There were significant differences in internodal length between treatments red and white light from below. No other significant differences were detected, however, visual differences in the appearance of the plants were obvious.

## SAMMANFATTNING

I detta försök har *Calibrachoa* 'Callie Bright Red' odlats i 9 olika behandlingar av LED-belysning underifrån. Samtliga behandlingar utfördes i växthuskammare med ett tredelat dygn på 8 timmar naturligt dagsljus, 8 timmar endast LED-belysning och 8 timmar mörker. Behandlingarna skiljde sig åt med avseende på ljuskvalitet och färgerna vit, röd, blå, gul och grön, samt kombinationer av dessa, användes. Som jämförelse fanns även ett led där vitt ljus gavs ovanifrån på konventionellt sätt.

Fotoreceptorerna fytokrom och blåljusreceptorer i växter påverkar morfologisk utveckling vad gäller ur kulturväxtsammanhang intressanta aspekter som sträckningstillväxt och blomning. I detta försök testades hur ljusbehandling kan påverka en representativ krukodlad prydnadsväxt (*Calibrachoa*), för att eventuellt kunna ersätta eller komplettera kemiska retarderingsmedel i strävan efter att producera kompakta prydnadsväxter med stor biomassa men förhållandevis kort internodiellängd. LED-belysning avger förhållandevis lite infraröd strålning. Däremot uppstår en värmeavgång av den energi som ej omvandlas till ljusenergi.

Armaturerna placerades direkt på odlingsbordet mellan växträderna, så att värme från armaturerna på så vis skulle kunna strömma uppåt mot kulturen och komma växterna till godo. På samma gång undveks skuggeffekter av bladverkets övre skikt på blad längre ner, genom att belysningen skedde underifrån.

Signifikant skillnad vad gäller internodiellängd kunde påvisas i jämförelse mellan plantor som odlats i vitt ljus och plantor som odlats i rött ljus. Ingen signifikant skillnad kunde påvisas vad gäller färsk- och torrsvikt i jämförelser mellan behandlingarna, vilket tyder på att röd behandling ledde till välvuxna men kompaktare plantor och vit behandling till mer

långsträckta. I övrigt var längsta skottlängden lägst hos plantor i blå behandling under försöket och vid försökets avslutande, dock ej med någon signifikant skillnad. Plantor som fått belysning ovanifrån fick mer uppåtriktade skott och något mindre biomassa.

## INTRODUKTION

### LED som växtbelysning

Stora framsteg inom teknologin kring LED (light emitting diode) under 2000-talet har öppnat upp nya möjligheter vad gäller växtbelysning inom produktion av hortikulturella kulturer som exempelvis sallat, gurka, tomat och prydnadsväxter i växthus (Ménard et al. 2006, Morrow 2008, Hirai et al. 2006, Bergstrand och Schüssler 2009). LED-belysningens fördelar i jämförelse med annan belysningsteknik är flera. LED medger belysning med monokromatiskt ljus, har en mycket lång livslängd i jämförelse med exempelvis högtrycksnatriumlampor (HPS-lampor) och har ett högt ljusutbyte (Morrow 2008, Humphreys 2008). Dessutom utgörs LED-belysningssystem av en mängd sammanbyggda mindre komponenter, själva dioderna, vilket ger stor flexibilitet vad gäller hur armaturer kan konstrueras och kopplas samman.

Möjligheten för odlaren eller forskaren att kunna bestämma exakt vilka våglängder eller vilken kombination av våglängder som ska belysa en odling kan utnyttjas både i storskalig produktion och i studier av olika arters växtfysiologiska respons på olika våglängder av ljus (fotomorfo-genesis) (Ménard et al. 2006, Morrow 2008). Vid produktion av prydnadsväxter skulle kemiska retarderingsmedel kunna reduceras eller helt ersättas med behandling med monokromatiskt ljus från LED (Lund et al. 2007, Bergstrand och Schüssler 2009). Möjligheten att belysa växter med monokromatiskt ljus, eller helt kontrollerad spektral sammansättning, är unik för LED-tekniken (Morrow 2008).

Tidigare forskning har visat att olika våglängder av monokromatiskt ljus, eller kombinationer av flera våglängder, ger olika resultat på morfologisk utveckling hos växten, beroende på art. Vid försök med odling av sallat (*Lactuca sativa*) respektive aubergine (*Solanum melongena*) påvisades signifikant ökning av skottlängd under blått ljus hos aubergine, men signifikant inhibering av skottlängd hos sallad vid behandling med samma våglängd (Hirai et al. 2006). Ett flertal andra växtslag har vid försök reagerat på samma sätt som aubergine vid behandling med blått ljus, däribland *Chrysanthemum* och *Euphorbia*, medan exempelvis sojaböna fått minskad skottlängd vid motsvarande behandling (Bergstrand och Schüssler 2009, Dougher och Bugbee 2000).

Vissa våglängder av ljus kan också påverka blomningen hos växter. Blått ljus har visat sig försena blomning hos *Arabidopsis* och vid försök med behandlingar med olika våglängd av LED-ljus har signifikant skillnad beträffande antal blommor och blomknoppar hos *Cyklamen* kunnat påvisas (Wook Heo 2002). *Cyklamen* fick ymnigast blomning under LED-belysning med rött ljus kombinerat med blått ljus, i jämförelse med odling under andra våglängder och ljuskällor (Wook Heo 2002).

Högtrycksnatriumlampor är i dagsläget den dominerande belysningsteknologin inom växthusproduktion och är i flera avseenden olik LED-teknologin (Ménard et al. 2006). Tidigare har poängterats möjligheten med LED-belysning att styra ljuskvalitet med avseende på spektral sammansättning, vilket skiljer LED från HPS och annan belysningsteknologi, där i fallet med HPS-belysning har låga nivåer i avgivandet av bland annat blått och mörkrött ljus (Ménard et al. 2006). En annan skillnad mellan LED och HPS är att LED-ljus vanligtvis inte

innehåller infraröd strålning, medan HPS avger en betydande mängd infraröd strålning som värmer upp blad och andra delar av kulturen som belyses. Den värme som uppkommer i en LED-armatur måste ledas bort via konvektion, eftersom en alltför upphettad LED-armatur förkortar livslängden på dioderna och sänker ljusutbytet (Humphreys 2008).

### **Ansats och syfte i detta försök**

Tre avgörande skillnader mellan LED och HPS har poängterats ovan: LED-teknikens energibesparande aspekter i jämförelse med HPS, möjligheten till växtmorfologisk styrning med hjälp av monokromatisk belysning från LED samt skillnaden i värmeavgivning (infraröd strålning) från LED i jämförelse med HPS. Ljusutbytet hos LED är med dagens LED-teknologi inte nämnvärt större än ljusutbytet hos HPS, men eftersom LED möjliggör en spektral sammansättning som är exakt anpassad till fotosyntes, blir ljusutbytet vad beträffar växtens behov för fotosyntes och morfologisk respons, mer energieffektiv hos LED än hos HPS (Humphreys 2008).

Ansatsen för detta försök är att kombinera möjligheten till monokromatisk styrning hos LED med problematiken kring värmeavgivning hos densamma.

Eftersom värme som bildas i LED-armaturer inte avges som strålning riktad mot den odlade kulturen, strålar denna värme uppåt från LED-armaturer och ej direkt mot bladytan som i fallet med infraröd strålning i belysningen från HPS-armaturer. Då LED-armaturer är fästade ovanför den odlade kulturen sker därför en förlust av den energi som i dioderna omvandlas till värme,. Som en lösning på detta problem har i detta försök belysningsarmaturer placerats mellan växtraderna, direkt på odlingsbordet, så att värme från dioderna strömmar uppåt och kommer växterna till nytta genom att de värms upp.

Ytterligare en hypotetisk fördel med belysning underifrån eller inifrån kulturen, är att skuggeffekter på blad inne i bladverket samt skuggeffekter från armaturer ovanför kulturen, undviks (Trouwborst et al. 2011).

I kombination med denna metod så testades också olika våglängders påverkan på växternas morfologiska utveckling. Syftet med försöket var alltså tudelat, nämligen att reda ut huruvida det sker någon skillnad med avseende på morfologisk utveckling vid odling med LED-ljus underifrån *och* om det sker någon skillnad med avseende på morfologisk utveckling vid behandling med olika våglängder, i jämförelse med odling under LED-ljus ovanifrån med blandat polykromatiskt (vitt) ljus.

## **MATERIAL OCH METODER**

### **Växtslag och odlingsbetingelser**

*Calibrachoa* 'Callie Bright Red' (Syngenta flowers, Malmö) odlades i Hasselfors K-jord i 12C runda plastkrukor placerade i rännor på ett gallerbord. Försöket utfördes i en växthuskammare på 90 m<sup>2</sup> med 10 olika behandlingar med skillnader i ljuskvalitet. Varje behandling utfördes med 8 replikat. Pluggplantor krukades in 13 mars 2012, toppades 16 mars och behandlingarna påbörjades 26 mars. Försöket avslutades den 9 maj 2012.

Växthuskammaren höll en temperatur på 15 °C om natten och luftning aktiverades vid 17 °C. Behandlingarna skuggades från sidan av vertikalt

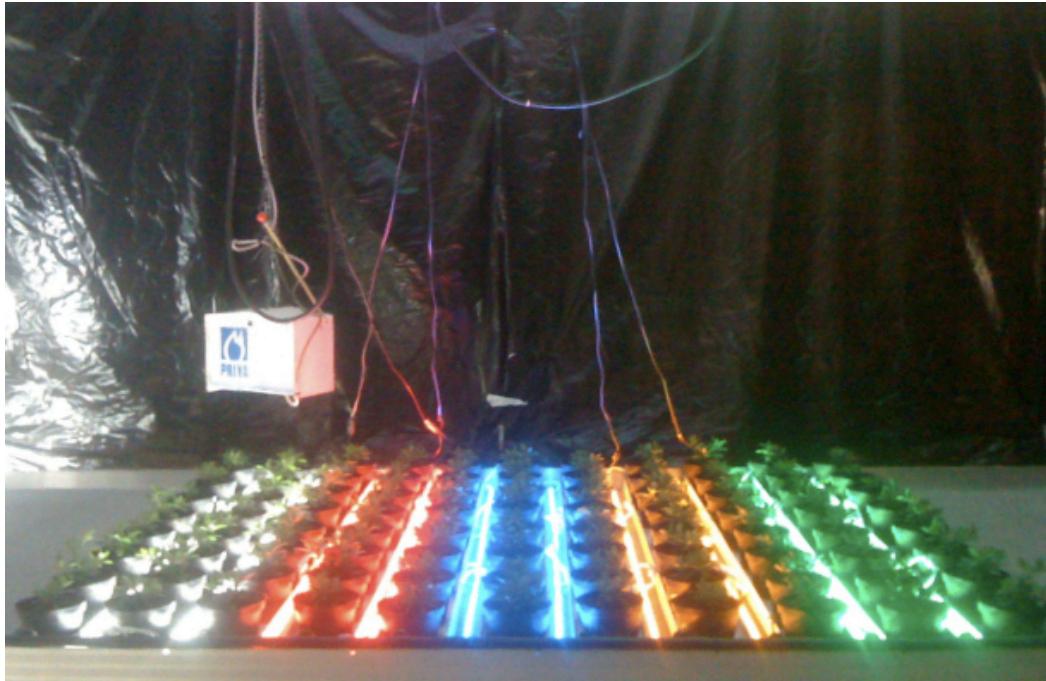
hängande svart plastfolie så att solljus mestadels föll in ovanifrån och jämnt fördelat över replikaten. En vertikalt hängande plastfolie avskilde också plantor med ljus underifrån från plantor med ljus ovanifrån.

Dygnet för samtliga behandlingar delades in i tre perioder med 8 timmar naturligt dagsljus mellan 9.00 och 17.00 (sommartid), 8 timmar LED-belysning mellan 17.00 och 01.00, och därefter 8 timmar mörker. Från 17.00 till 9.00 var växthuskammaren mörklagd av mörkläggningsvävar (ILS revolux, Ludvig Svensson, Kinna, Sverige) så att inget naturligt ljus nådde växterna under LED-ljusbehandling och tidig morgon.

Tio olika ljusbehandlingar tillämpades;, varav 9 bestod av belysning underifrån bladverket i olika våglängder. De färger som användes var: vitt, rött, blått, gult och grönt. Varje behandling ställdes upp med 8 replikat per behandling och krukrad och med smala LED-armaturer mellan dessa rader, monterade på växthusbordet. Därför fick varannan behandling en blandning av två ljuskvaliteter, nämligen vitt plus rött, rött plus blått, blått plus gult och gult plus grönt (se figur 1). Således användes 5 olika färger och 4 kombinationer av dessa färger. En tionde behandling belystes av vitt ljus ovanifrån, som var av samma intensitet som ljuset i behandlingen med vitt ljus underifrån. Kantrader användes för att undvika kanteffekter.

Ljutmätningen i behandlingarna med ljus underifrån mättes vid krukantens höjd (Delta OHM HD 2302.0, probe LP 471, Delta OHM, Padua, Italy). Ljutmängden över behandlingarna skiljde sig beroende på våglängd av ljus (tabell 1). Ljutmängden i vitt ljus ovanifrån kalibrerades in genom att höja respektive sänka armaturen så att ljutmängden i höjd med krukans kant låg på samma nivå som ljutmängden i den vita behandlingen med ljus underifrån,  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Effekten över samtliga behandlingar med ljus underifrån, låg på ca  $51 \text{ W/m}^2$  (se tabell 1).

Plantorna bevattades ovanifrån efter behov med 1 dl vatten per kruka åt gången. Näringsbevattning utfördes 2 gånger i veckan med en näringslösning med NPK 14-4-21 och mikronäringsämnen varannan gång och en kalksalpeterlösning ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) varannan gång. Koncentrationen var 1,5 g gödselmedel per liter bevattningsvatten.



**Figur 1**

Samtliga behandlingar med ljus underifrån. Behandlingarna är från vänster till höger: vitt, vitt plus rött, rött, rött plus blått, blått, blått plus gult, gult, gult plus grönt och grönt. Foto: Olle Lind.

**Tabell 1**

Ljushmängd ( $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ), effekt (W) och effekt per ytenhet ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) för behandlingar med ljus underifrån. Ljushmängden i behandlingen med ljus ovanifrån var densamma som i behandlingen med vitt ljus underifrån. Däremot belyste armaturen i behandling vid ljus ovanifrån en större yta. Därav den höga effekten i behandling med ljus ovanifrån.

Behandling	$\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$	Effekt (W)	Effekt per kvadratmeter (W/kvm)
Ljus underifrån			
vitt:	13,6	18,31	52,02
vitt/rött:	13,0	18,42	52,33
rött:	5,90	18,53	52,64
rött/blått:	4,50	18,42	52,33
blått:	3,80	18,31	52,02
blått/gult:	3,40	18,31	52,02
gult:	2,20	18,31	52,02
gult/grönt:	2,20	18,76	53,30
grönt	6,00	19,21	54,57
Ljus ovanifrån			
vitt:	13,6	100	48,08



## **Mätningar**

Varje vecka mättes längsta skottets längd på varje replikat. Vid försökets avslutande vägdes samtliga replikat för friskvikt och torrsvikt. Dessutom räknades antal skott, och antal noder på längsta skott på vardera replikat. Uträkningar av genomsnittlig internodiellängd och av kvoter mellan vikt och längd gjordes utifrån erhållna mätvärden för att ge representativa värden av plantornas morfologiska utveckling och förhållandet mellan biomassa och sträckningstillväxt. Data från de slutliga mätningarna analyserades med ANOVA-test med efterföljande Tukey-test där ett p-värde  $\leq 0,05$  gällde för signifikans. Statistiska beräkningar utfördes med Minitab 16 (Minitab Inc., State College, USA).

Under försökets gång loggades varje halvtimme temperatur och relativ luftfuktighet i behandlingar med ljus ovanifrån och behandling med ljus underifrån (HOBO U12, Onset computer corp. Pocasset, MA, U.S.A.).

## **RESULTAT**

### **Morfologiska skillnader**

Behandlingen med rött ljus skiljde sig signifikant från behandlingen med vitt ljus vad gäller internodiellängd (se tabell 2). I övrigt kunde ingen signifikant skillnad påvisas i jämförelser av skottlängd och internodiellängd mellan behandlingarna, men generellt gällde att behandlingarna med vitt och vitt plus rött ljus underifrån, samt behandling med vitt ljus ovanifrån, hade längst skott vid försökets avslutande och även vid mätningar under försökets gång (se figur 2 och tabell 2). Vidare kunde också märkas att behandlingarna med rött ljus och rött plus blått ljus hade en genomsnittlig skottlängd som låg lägre än behandlingar med vitt ljus, men högre än behandling med övriga färger (se figur 2 och tabell 2).

Behandlingen med blått ljus hade i genomsnitt kortast längsta skottlängd under hela senare delen av försöket gång och vid försökets avslutande (se figur 2 och tabell 2).

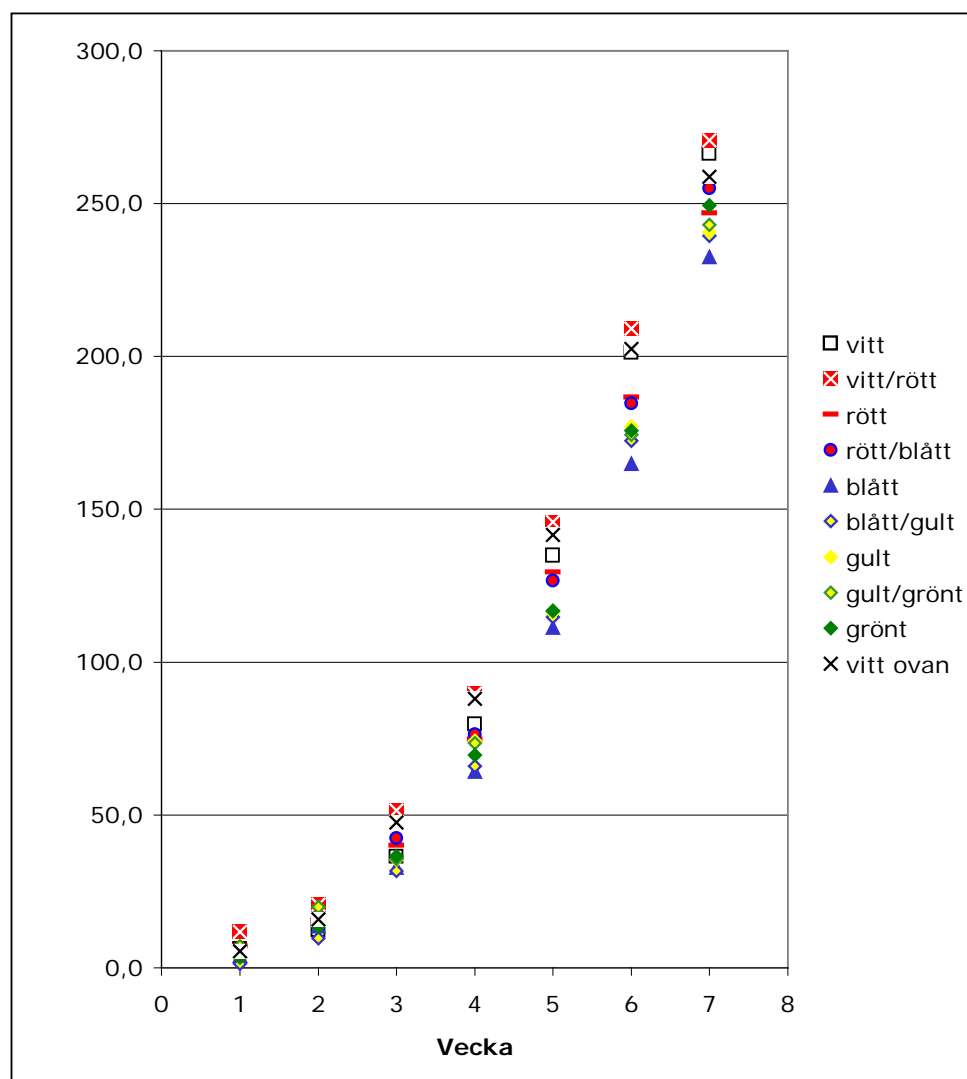
Ingen signifikant skillnad kunde påvisas i jämförelser av torrsvikt och färsksvikt hos behandlingarna. Behandlingen med vitt ljus ovanifrån avviker dock tydligt från samtliga behandlingar med ljus underifrån, med avseende på dessa två viktvariabler (se tabell 2)

Inga temperaturskillnader kunde påvisas i jämförelse mellan behandling med ljus ovanifrån och underifrån. Däremot var den relativa luftfuktigheten 5 procentenheter högre i behandlingar med ljus underifrån, jämfört med behandling med ljus ovanifrån.

**Tabell 2**

Medelvärde av internodielängd, längsta skott, färskvikt och torrsvikt för varje behandling.

	Internodie (mm)	Längsta skott (mm)	Färskvikt (g)	Torrsvikt (g)
vitt	25,1	266	25,9	2,16
vitt/rött	21,8	271	27,5	2,34
rött	17,7	247	25,1	2,15
rött/blått	21,9	255	24,9	2,10
blått	20,8	233	24,0	2,14
blått/gult	20,2	239	24,4	2,15
gult	20,1	241	27,1	2,34
gult/grönt	19,8	243	27,0	2,39
grönt	20,3	249	25,4	2,30
vitt ovan	20,9	259	20,4	1,47

**Figur 2**

Längsta skott i genomsnitt hos respektive behandling (mm) under försökets gång till och med försökets avslutande.

### Skillnader utifrån visuell observation

Vid visuell observation av behandlingarna vid försökets avslutande gav plantor från behandlingarna med ljus underifrån i färgerna vitt, vitt plus rött samt rött, intrycket av att vara mest välvuxna. Plantor i behandlingarna med vitt och vitt plus rött ljus ovanifrån gav också ett något spretigt intryck. Plantor från behandling med ljus ovanifrån gav i jämförelse med nyss nämnda behandlingar ett tanigare och spretigare intryck. Dessutom växte plantor från denna behandling på ett mer uppåtriktat sätt, medan samtliga replikat i behandlingar med ljus underifrån, hade ett mer utbrett växtsätt i jämförelse (se figur 3).

Behandlingar med ljus underifrån i blått, blått plus gult, gult, gult plus grönt, samt grönt gav generellt intrycket av att vara mindre och något mer kompakta än behandlingar med vitt och/eller rött ljus, vid bedömning under försökets gång och vid försökets avslutande (se figur 4 och figur 5).



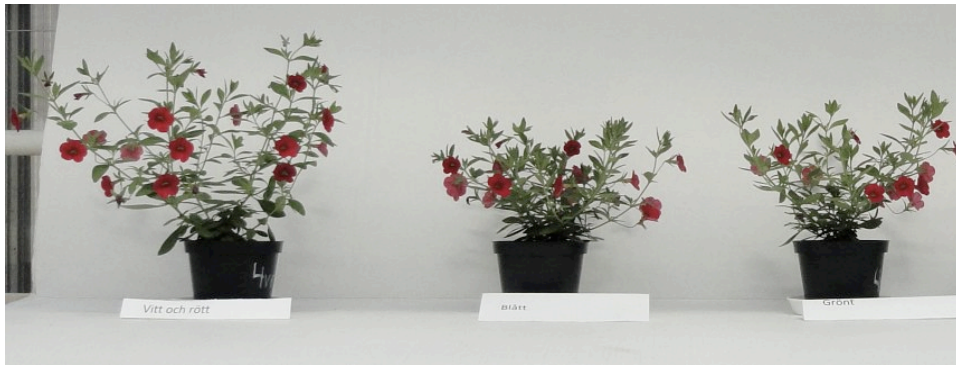
**Figur 3**

Från vänster till höger: replikat från behandling med vitt ljus underifrån och replikat från behandling med vitt ljus ovanifrån. Foto: Olle Lind



**Figur 4**

Från vänster till höger: replikat från behandlingar med monokromatiskt ljus underifrån i ordningen rött, blått, gult och grönt. Foto: Olle Lind



**Figur 5**

Från vänster till höger: replikat från ljus behandlingar med ljus underifrån i ordningen vitt plus rött, blått och grönt. Foto: Olle Lind

## DISKUSSION

### Behandling med olika kvaliteter av ljus

Ansatsen i detta försök har varit att utnyttja LED-teknologins möjligheter till belysning med monokromatiskt ljus för att påverka den morfologiska utvecklingen hos kulturer i växthusproduktion. Det är alltså inte i detta fall fråga om LED som assimilationsljus utan om LED som medel för att styra framförallt sträckningstillväxt. Signifikant skillnad i internodiellängd kunde i försöket påvisas i jämförelse mellan behandling med rött ljus underifrån och vitt ljus underifrån. Detta i kombination med en icke-signifikant skillnad i färsk- eller torrsvikt mellan behandlingarna, tyder på att rött respektive vitt ljus lett till en lika stora ackumulation av biomassa, men en vid användning av rött ljus mindre sträckningstillväxt. Behandling med svag ljusintensitet av rött ljus under 8 timmar som dagförlängning efter den naturliga dagen ledde till signifikant mer kompakt växande plantor.

Fotoreceptorn fytokrom inverkar i många processer i en plantas utveckling och reagerar på relationen rött och mörkrött ljus (Taiz och Zeiger 2010). Denna relation mellan olika kvaliteter av rött ljus i så kallat *end-of-day response* hos växter, har tidigare undersökts med avsikt att hitta nya sätt att begränsa prydnadsväxters sträckningstillväxt, för att kunna hitta ersättningsmetoder eller komplementära metoder till traditionell kemisk retardering (Lund et al. 2007). I detta försök har inte olika former av rött ljus explicit testats, men det är tänkbart att behandlingarna med rött ljus förändrat kvoten rött/långrött så att fytokrom i dessa behandlingar reagerat genom att inhibera sträckningstillväxt i plantan. Tillskott av vitt ljus kan på motsvarande sätt tänkas ha förändrat samma förhållande av mängden rött och långrött ljus, så att fytokrom istället inducerat ökad sträckningstillväxt i plantan.

Vid sidan om rött är det, utifrån vad som tidigare är känt, troligt att blått ljus också skulle ha en växtfysiologisk påverkan på plantorna, på grund av blåljusreceptorernas inblandning i växters fotomorfogenes (Taiz och Zeiger 2010). I detta försök har ingen signifikant påverkan av blått ljus kunnat påvisas, men en tendens till minskad skottlängd har observerats under hela försöket. Blått ljus har i tidigare försök påverkat sträckningstillväxt i båda riktningar, beroende på art och övriga ljusförhållanden (Hirai et al. 2006, Bergstrand och Schüssler 2009, Dougher och Bugbee 2000). Något förvånande är det att blått ljus i detta försök verkar ha haft en inhiberande verkan på sträckningstillväxt eftersom *Solanum melongena* i tidigare försök fått ökad stamelongering vid behandling med blått ljus, och både *S. melongena* och *Calibrachoa* tillhör familjen Solanaceae (Hirai et al. 2006). Hirai et al. (2006) hävdar att olika reaktion på blått respektive rött ljus är artspecifikt, men det kan tyckas förvånande att närbesläktade arter skulle få rakt motsatt reaktion på samma ljusbehandling. Det är möjligt att andra resultat skulle uppnåtts om plantorna behandlats med större ljusmängd blått ljus än i detta försök.

## **Temperatur och luftfuktighet**

En andra ansats med detta försök var att undersöka om värme från LED-armaturerna kunde tas till vara genom att placera armaturerna i nivå med odlingsbordet och så att värmen strömmade uppåt i kulturen. Enligt loggning av lufttemperatur blev ingen skillnad i temperatur mellan behandling med ljus underifrån och ljus ovanifrån. Det kan tänkas att en LED-armaturerna var för små och energiinsatsen för liten för att någon mätbar temperaturskillnad mellan behandlingar med ljus underifrån och ljus ovanifrån, skulle uppstå.

Den relativa luftfuktigheten i behandlingar med ljus underifrån kan antas ha varit högre på grund av att antalet plantor var större i denna avdelning av odlingskammaren, vilket kan förmodas ha lett till en högre total avdunstning från kulturen i jämförelse med kulturen med ljus ovanifrån.

Den högre relativa luftfuktigheten för behandlingarna med ljus underifrån kan också ha bidragit till en lägre lufttemperatur pga en hög transpiration från blad och hög avdunstning från substratytor, varvid värmeenergi åtgått vid förångning.

## **Felkällor**

Behandlingen med ljus ovanifrån hade enligt visuell observation ett mindre ljusinsläpp av naturligt ljus än större delen av plantorna i övriga behandlingar. Detta kan ha lett till svagare och mer långsträckta plantor och påverkat resultatet i detta försök.

Det naturliga ljuset hade en ojämn fördelning över behandlingarna med ljus underifrån. Replikat 1-4 fick överlag mindre naturligt ljus än replikat 5-8. Detta gällde dock jämnt över alla behandlingar, och därför kan detta antas inte ha påverkat försöksresultatet nämnvärt.

Olika våglängder av ljus i dioder ger olika ljusmängd vid samma energiinsats (se tabell 1). Därför har behandlingar med exempelvis blått och gult ljus fått mindre total ljusmängd än behandlingar med vitt och rött ljus.

## KÄLLFÖRTECKNING

Bergstrand K-J I, Schüssler H K. 2009, Prospects on LED Lighting for Growth Regulation and Energy Saving in Pot Plant Production, *Acta Horticulturae* 893

Dougher Tracy A O, Bugbee Bruce. 2000, Differences in the Response of Wheat, Soybean and Lettuce to Reduced Blue Radiation, *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 73, No. 2

Heo Jeong Wook, Lee Chun Woo, Murthy H N, Paek Kee Yoeup. 2002, Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. 'Dixie White', *Plant Growth Regulation*, Vol. 40

Hirai T, Amaki W, Watanabe H. 2006, Action of Blue or Red Monochromatic Light on Stem Internodal Growth Depends on Plant Species, *Acta Horticulturae* 711

Humphreys Colin J. 2008, Solid-State Lighting, *MRS Bulletin*, Vol. 33

Bjerregaard Lund Janni, Blom Theo J, Mazanti Aaslyng Jesper. 2007, End-of-day Lighting with Different Red/Far-red Ratios Using Lightemitting Diodes Affects Plant Growth of *Chrysanthemum · morifolium* Ramat. 'Coral Charm', *HortScience*, Vol. 42

Ménard Claudine, Dorais Martine, Hovi Tiina, Gosselin André. 2006, Developmental and Physiological Responses of Tomato and Cucumber to Additional Blue Light, *Acta Horticulturae* 711

Morrow Robert C. 2008, LED Lighting in Horticulture, *HortScience*, Vol. 43

Taiz Lincoln, Zeiger Eduardo. 2010, *Plant Physiology*, Utgåva 5, Kap.17

Trouwborst Govert, Schapendonk Ad H C M, Rappoldt Kees, Pot Sander, Hogewoning Sander W, van Ieperen Wim. 2011, The effect of intracanopy lighting on cucumber fruit yield—Model analysis, *Scientia Horticulturae*, Vol. 129, No. 2