

# LED-ljusets inverkan på tillväxt och utveckling hos tomatplantor, *Solanum lycopersicum* L.

Light impact on growth and development of *Solanum lycopersicum* L.

*Stina Månsson*



Tomatplantor som fått växa under belysning med olika färger av monokromatiskt ljus. F.v referensplanta, vitt ljus, gult ljus, rött ljus, grönt ljus och blått ljus.

## **LED-ljusets inverkan på tillväxt och utveckling hos tomatplantor, *Solanum lycopersicum* L.**

Light impact on growth and development of tomato, *Solanum lycopersicum* L.

*Stina Månsson*

**Handledare:** Karl-Johan Bergstrand, SLU

Område Hortikultur

**Btr handledare:** Hartmut K. Schüssler, SLU

Område Hortikultur

**Examinator:** Helena Karlén, SLU

Område Hortikultur

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grund C

**Kurstitel:** Examensarbete inom Hortonomprogrammet

**Kurskod:** EX0369

**Program:** Hortonomprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2010

**Omslagsbild:** Stina Månsson

**Serietitel:** Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten

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

**Nyckelord:** LED, monokromatiskt ljus, tomat



Sveriges lantbruksuniversitet  
LTJ-fakulteten  
Område Hortikultur

## SAMMANFATTNING

För att driva fotosyntesen krävs energi som kommer från ljuset. I Norden räcker inte solljuset till för odling året runt i växthus. Därför krävs någon form av belysning. Val av belysning bör anpassas till växtslag och önskat resultat. De senaste åren har intresset för LED (light emitting diodes) ökat allt mer i takt med att priserna på tekniken sjunker. Fördelar med LED är att de har en lång livslängd och att armaturer kan skraddarsys med önskade våglängder. För att få ut det mesta av tekniken inom odlingen behövs kunskap om interaktionen mellan LED ljuset och tillväxtreaktioner hos olika växtslag.

I försöket användes LED-armaturer med monokromatiskt ljus i fyra olika färger, blått, rött, grönt och gult samt en armatur med ett polykromatiskt vitt ljus. LED-armaturerna placerades över vagnar med tomatplantor för att undersöka hur olika ljuskvalité från LED-belysning påverkade tillväxten och utvecklingen. Avståndet mellan plantorna och armaturerna var justerade så att alla behandlingar fick samma ljusmängd. Under fem veckor mättes tillväxten på höjden och därefter gjordes en slutavläsning. Resultatet visade att plantorna i det blå ljuset fick ett högt betyg vid helhetsbedömningen men blommade sist och hade mycket dålig rottillväxt. Plantorna i det gröna och gula ljuset visade stark sträckningstillväxt och hade stor bladyta. Det röda ljuset gav mest rottillväxt och tidigast blomning. Det senare kan bero på att det röda ljuset stimulerade fytokromet.

## **ABSTRACT**

In order to drive photosynthesis the plant requires energy generated by the sun in the shape of photons. The plants have different photoreceptors, which react to different light qualities.

Since the natural sunlight in the Nordic countries is not sufficient enough for year around cultivation in greenhouses, light is an important part, both from a quality point of view but also from an economic aspect. In the past few years the interest in LED-lighting has increased as the price of the technology drops. The technology is appreciated for its longevity and the lack of ultraviolet and infrared radiation, but also because the technology gives the possibility to get light with very narrow spectra.

In this experiment light emitting diodes of four different colors were used, blue (460 nm), green (525 nm), red (620 nm) and yellow (585 nm) and a polychromatic white light (430-730 nm). Experiments were carried out to examine the impact of the different light qualities on tomato plants and all the plants got the same amount of irradiance. During five weeks the growth was measured and then a final reading was performed. The results showed that plant in the blue light got high grades in the total assessment, but were the latest to bloom and had very poor root growth. The plants in the green and yellow light had a strong stem elongation probably as a result of poor light quality. They also had the greatest leaf area. The red light gave the best root growth and an early flowering, which may be an affect of red light stimulating the phytochrome in the plant.

## **TACK**

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Karl-Johan Bergstrand som varit hjälpsam och snabb på att ge respons, vilket har varit mycket uppskattat och underlättat arbetet. Jag vill också tacka min biträdande handledare Hartmut K. Schüssler som frikostigt delat med sig av all sin kunskap och positiva energi. Tack också till Malin Nyrén som hjälpt till med skötsel och fungerat som bollplank.

Lund den 6 augusti 2010

Stina Månsson

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1 INTRODUKTION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Syfte och upplägg.....	1
1.2 Frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
1.4 Teoretisk bakgrund.....	2
1.4.1 Vad är ljus?.....	2
1.4.2 Att mäta ljus .....	4
1.4.3 Fotosyntes.....	4
1.4.4 Växtens respons på ljus.....	6
1.4.5 Växthusbelysning .....	7
1.4.6 LED-teknik .....	8
1.4.7 Tomat.....	10
<b>2 MATERIAL OCH METOD</b> .....	<b>12</b>
2.1 Material.....	12
2.1.1 Växtmaterial.....	12
2.1.2 Växtplats.....	12
2.1.3 Belysningsarmatur .....	12
2.2 Metod.....	13
2.3 Mätningar.....	13
2.3.1 Veckovis mätning .....	13
2.3.2 Slutavläsning.....	13
2.4 Statistiska analyser.....	14
<b>3 RESULTAT</b> .....	<b>15</b>
3.1 Höjd.....	16
3.2 Vikt .....	18
3.3 Blommor.....	19
3.4 Blad .....	19
3.5 Stam .....	20
3.6 Rötter.....	21
<b>4 DISKUSSION</b> .....	<b>23</b>
4.1 Diskussion av resultat .....	23
4.2 Slutsatser.....	25
4.3 Förbättringar och förslag till fortsatta studier inom området .....	25
<b>5 REFERENSER</b> .....	<b>26</b>

# 1 INTRODUKTION

Belysning är en viktig aspekt vid växthusodling då klimatet i Norden inte erbjuder tillräckligt med ljus för odling av grönsaker året runt (Bjelland, O. 1984). Främst används belysning i form av tillskottsbelysning då odlare i största möjliga utsträckning vill utnyttja dagsljuset, av ekonomiska skäl. Det finns en rad olika typer av belysning med olika egenskaper. På senare år har det blivit allt mer intressant att använda LED som belysning. LED står för Light Emitting Diode, ljus emitterande dioder och är en belysningsteknik som utvecklades redan på 60-talet. Hittills har de höga kostnaderna begränsat dess användningsområde. Lysdioderna används bland annat i bilar, trafikljus, fasadbelysningar, fontänbelysningar och datorer (Starby, L. 2006), men allt eftersom priserna på tekniken sjunker öppnas nu möjligheterna upp för användning inom andra områden, däribland växthusodlingen.

LED-teknikens främsta fördelar är att den har lång livslängd, avger monokromatiskt ljus utan IR- och UV-strålning och den snabbt kan slås till och från. Tekniken skiljer sig från dagens växthusbelysning där främst högtrycksnatriumlampor (HPS) och lysrör används. Detta gör att sättet att odla måste anpassas och därför krävs kunskap om hur olika växtslag reagerar på olika ljuskvalitet från LED. Sådan kunskap kan i sin tur öppna upp för konstruktion av armaturer skräddarsydda för olika växtslag och ändamål.

## 1.1 Syfte och upplägg

Syftet med arbetet var att undersöka hur tomatplantor reagerar morfologiskt när de odlas under monokromatiskt ljus från LED av olika färger samt ett polykromatiskt vitt ljus. Polykromatiskt ljus innebär att ljuset består av flera olika våglängder medan monokromatiskt ljus är ljus som bara innehåller en våglängd. Arbetet består av en teoretisk del samt en försöksdel. I den teoretiska delen behandlas ljus, LED-teknik, dess användning inom växthussektorn och hur olika ljuskvalitet påverkar växten. I försöksdelen har tomatplantor odlats under LED för att se om olika våglängder av ljus, det vill säga ljuskvalitén, påverkade tomatplantans morfologi. Resultatet utvärderades sedan och eventuella skillnader mellan plantorna och möjliga förklaringar till detta diskuteras.

## 1.2 Frågeställning

- Hur reagerar tomatplantor morfologiskt på olika monokromatiskt ljus från LED?
- Hur kan dessa eventuella skillnader förklaras och hur kan kunskapen om detta tillämpas praktiskt inom odlingen?

## 1.3 Avgränsningar

Ljus ingår i ett komplext samspel mellan en rad faktorer som påverkar växter på olika sätt. Jag har valt att fokusera arbetet kring ljuskvalité och dess inverkan på tillväxt och utveckling hos tomatplantor under fem veckor från grodd till planta.

I huvudsak behandlar arbetet LED som ljuskälla men jag har också valt att jämföra med HPS lampor och lysrör eftersom de är vanliga vid växthusodling. Diskussionen är koncentrerad till anledningar att olika ljuskvalitet ger olika tillväxtrespons samt LEDs för- och nackdelar och dess potentiella användningsområde inom växthusodling. Jag har inte titta på ekonomin då prisbilden förändras snabbt i takt med att tekniken utvecklas.

## 1.4 Teoretisk bakgrund

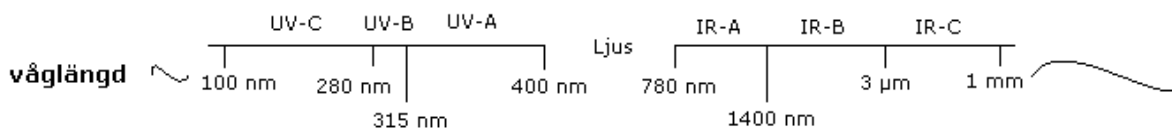
### 1.4.1 Vad är ljus?

Ljus är elektromagnetisk strålning och motsvarar de våglängder som finns mellan 380 och 780 nm (nanometer,  $10^{-9}$  m), det vill säga våglängder som ögat kan uppfatta (Starby, L. 2006). Elektromagnetisk strålning uppstår när exciterade atomer ger ifrån sig sin överskottsenergi och det innefattar allt från mycket kortvågig kosmisk strålning till radiovågor som kan vara flera kilometer långa.

Det enda som skiljer ljus från annan elektromagnetisk strålning är våglängden, men det speciella med ljus är att det kan beskrivas på två sätt, dels som en vågrörelse men också som en ström av partiklar, fotoner (Starby, L. 2006). Ju längre våglängd desto mindre energi innehåller varje foton. Med andra ord behövs fler fotoner för att uppnå samma energimängd om ljuskällan har en längre våglängd. Ljusets färg avgörs av vågens längd. Färgerna i ljuset blir synliga för ögat när det vita ljuset bryts och delas upp i ett färgspektrum (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992). De kortaste våglängderna är då violetta därefter övergår det i blått, grönt, gult, orange och till sist rött som har den längsta våglängden.



Våglängdsområdet mellan 1 nm och 1 mm brukar benämnas optisk strålning (figur 1) (Starby, L. 2006). Enligt definition innefattar begreppet ljus bara de våglängder som våra ögon tolkar. Våglängder mellan 380 och 780 nm kan tränga in till näthinnan i våra ögon och den elektromagnetiska strålningen omvandlas där till bioelektriska signaler som vår hjärna kan tolka optiska bilder ifrån. I vardagligt tal brukar dock även ultraviolett strålning (UV) och infraröd strålning (IR) innefattas i begreppet ljus (Starby, L. 2006). När ljus träffar växter kan våglängder mellan 380 och 780 nm användas för att driva fotosyntesen och på så sätt binda in energi från solljuset, en process som är livsavgörande för kretsloppet på jorden och där den inbundna energin utgör basen i näringskedjan.



**Figur 1. Den optiska strålningen delas in i olika våglängdsområden. Våglängden är kortast från vänster och ökar mot höger. Mellan 400 och 780 nm finns ljus, den strålning som växter kan tillgodogöra sig för fotosyntes och det mänskliga ögat kan uppfatta (Starby, L. 2006).**

UV-strålning ligger mellan 100 och 400 nm, men våglängder under 295 nm kan normalt sett inte tränga igenom atmosfären (Starby, L. 2006), utan avges endast från specialgjorda lampor. UV-A och UV-B ligger mellan 280 och 400 nm och förekommer i dagsljus och elektriska ljuskällor. I största möjliga mån bör denna strålning undvikas då den har skadliga effekter på levande organismer och olika material. Bland annat kan livslängden hos armaturer förkortas då UV-strålningen missfärgar och bryter ner vissa plastkomponenter.

IR-strålning, 780 nm till 1 mm, är placerad på den andra sidan om det synliga spektrumet och är det som i dagligt tal kallas för värmestrålning (Starby, L. 2006). De våglängder som vi ser som ljus blir värme när det träffar en yta. Några undantag från detta är ljusstrålning som träffar blad och genom fotosyntes blir kemiskt bunden energi i plantan eller elektromagnetisk strålning som fångas upp av solceller och blir elektricitet. Det finns inte några elektriska ljuskällor som endast alstrar ljus utan värme bildas alltid som en biprodukt.

### 1.4.2 Att mäta ljus

Det finns en mängd olika sätt att mäta ljus på och olika enheter används i olika sammanhang eftersom ögat och växterna inte har samma känslighet för samma ljuskvalité. Det mänskliga ögat är mest känsligt för gulgrönt ljus med en våglängd kring 555 nm och ofta mäts ljus utifrån ögats känslighet vid olika våglängder och då används enheten lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) (Ingram, D et al. 2002). Lumen (lm) är enheten för ljusflöde, det vill säga den mängd ljus som en ljuskälla avger i alla riktningar under en viss tid (Sandström, M et al. 2002). Förhållandet mellan ljusflödet och den effekt (W) som en ljuskälla förbrukar kallas ljusutbyte och är beroende av våglängden. En ljuskälla på 1 W har ett ljusflöde på 683 lumen vid våglängden 555 nm, alla andra våglängder har ett lägre ljusflöde och ger ett lägre visuellt intryck. Ljusets mäts ibland också som strålningsenergi per ytenhet ofta i  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , men inte heller detta är optimalt när det gäller växter eftersom det även inkluderar våglängder som inte är användbara för fotosyntes.

I växthussammanhang är det istället intressant att mäta den mängd ljus som är tillgänglig för växtens fotosyntes. Därför bör ljuset mätas i mikromol fotoner per sekund och kvadratmeter inom PAR, Photosyntetic Active Radiation (Taiz, L. & Zeiger E. 2006). För att uttrycka detta används Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) som skrivs i enheten  $\text{mikromol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Joshi, S. 2008). En mol motsvarar Avogardos tal som är  $6,022\times 10^{23}$ , en mikromol blir då  $6,022\times 10^{17}$  det vill säga en PPFD motsvarar  $6,022\times 10^{17}$  fotoner som faller på en kvadratmeter på en sekund. En solig dag ligger solens instrålning på omkring  $2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , motsvarande energi är  $900 \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  (Taiz, L. & Zeiger E. 2006).

En spektroradiometer är ett instrument som används för att mäta fördelningen av energin i elektromagnetisk strålning (Joshi, S. 2008). Olika ljuskällor har olika fördelning av fotoner inom området 400-700 nm och spektroradiometern mäter mängden fotoner inom de olika våglängderna.

### 1.4.3 Fotosyntes

Växter behöver energi för att driva fotosyntesen, denna energi kommer från ljus i form av fotoner som absorberas av växtens gröna delar. De våglängder som växten kan använda till fotosyntesen ligger mellan 380-780 nm, alltså samma våglängder som ögat uppfattar som ljus. Detta område kallas för Photosyntetic Active Radiation (PAR) (Taiz, L. & Zeiger E. 2006). Däremot betyder inte det att en ljuskälla som är bra för det

männliga seendet också är optimal för växten (Starby, L. 2006). Det synliga ljuset från solen har en våglängdspik kring 500 nm och en solig dag kan strålningen inom PAR ligga på omkring  $425 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Atwell, B. et al. 1999).

Fotosyntesen är lokaliserad till kloroplasterna hos växten (Ingram, D et al. 2002). Här finns fotosystem som består av pigment och proteiner. De viktigaste pigmenten är klorofyll a och b. Dessa pigment absorberar ljus i det blå och röda området av spektrumet medan det gröna ljuset i stor utsträckning reflekteras och ger växterna dess gröna färg. När fotoner i ljuset träffar klorofyllmolekylerna exciteras dessa och energin i ljuset binds i växten. Denna energi används sedan till en rad olika processer och överbliven energi användas till att binda in socker och bygga upp plantan. Processen kräver, förutom energi,  $\text{CO}_2$  som tas från luften och vatten (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992). Gränsen då mängden förbrukad energi hos plantan är lika stor som mängden energi som binds in via fotosyntesen kallas för kompensationspunkten. Över kompensationspunkten ökar plantans fotosyntes med ökad ljusintensiteten till dess att andra begränsningar sätter stopp. Ljus som ger en maximal fotosyntes måste inte alltid vara det optimala inom odling eftersom det många gånger efterfrågas andra kvalitéer hos plantan än hög torrmasa.

Förutom klorofyll deltar också karotenoider i fotosyntesen som så kallade hjälppigment (Ingram, D et al. 2002). Dessa delas in i karotener som ger en orange färg och xantophyller som ger en mer gulaktig färg. Absorptionstopparna, alltså de våglängdsområden som absorberas, skiljer sig åt mellan karotenoider och klorofyller.

Enligt Starby (Starby, L. 2006) är rött ljus effektivast för att driva fotosyntesen ur energisynpunkt, fotonerna i blått ljus har så hög energi att mycket omvandlas till värme när ljuset absorberas av klorofyllmolekylerna. Enligt Baevre & Gisleröd (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992) är rött (675 nm) och blått ljus (435 nm) de mest effektiva våglängderna för att driva fotosyntesen. Grönt ljus antas ofta vara oanvändbart för växter eftersom klorofyll har mycket låg absorption inom dessa våglängder. Däremot visar aktionsspektra för fotosyntesen hos högre plantor att grönt ljus kan användas för att driva fotosyntesen (Kim, H.H. et al. 2006). Detta kan bero på att här innefattas andra pigment än klorofyll, så som karotenoider. Karotenoiderna absorberar ljuset och förflyttar energin till reaktionscentren i fotosyntesen och på så sätt blir även det gröna ljuset användbart.

#### 1.4.4 Växtens respons på ljus

Begreppet ljuskvalité avser de våglängder som ljuset består av (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992) och kan påverka plantans tillväxt av rötter, blad och stam men ljuskvalitén påverkar också plantans utveckling så som blomningstidpunkt och fruktsättning (Runkle, E. S. & Heins, R.D. 2006). Det är viktigt att skilja på reaktioner hos växten till följd av ljuskvalité, ljusmängd och fotoperiod. Tillväxten påverkas av ljuskvalitén och ljusmängden då fotosyntesen ökar med ökad ljusinstrålning och kan då binda in mer CO<sub>2</sub>. Utvecklingen av plantan påverkas av ljuskvalité och fotoperiodism.

Växten känner av ljuskvalitén via fotoreceptorer och de tre mest kända grupperna av fotoreceptorer är fytokromer, kryptokromer och UV-ljus receptorer. De olika typerna av fotoreceptorer har sina absorptionstoppar inom olika våglängdsområden.

Fytokromet finns i två former och absorberar huvudsakligen våglängder inom det röda (red, R), området av spektrumet denna form kallas P<sub>r</sub>, och det långvågigt röda (far red, FR), denna form kallas P<sub>fr</sub> (Runkle, E. S. & Heins, R.D. 2006). Fytokromet påverkar en rad olika processer i växten så som rotinitiering, blomning och sträckningstillväxt (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992). Ju högre relativ mängd FR-ljus desto mer stimuleras växtens apikal dominans (Ingram, D et al. 2002). De största mängderna fytokrom återfinns i celler som delar sig, tillväxtpunkter (Jaakkonen, A-K. & Vuollet, A. 1996).

Kryptokromer, fototropiner och zeaxanthin absorberar ljus av de blå våglängderna (Taiz, L. & Zeiger E. 2006). Blått ljus har visat sig inhibera sträckningstillväxt hos vissa växtslag (Runkle, E. S. & Heins, R.D. 2006; Gregory, P.J. et al. 2008). Studier indikerar att zeaxanthin spelar en viktig roll vid stimulering av stomataöppning (Taiz, L. & Zeiger E. 2006), bland annat för att zeaxanthinets absorptionsområde överensstämmer väl med aktionsområdet för stimulering av stomataöppning. Enligt Ménard (Ménard, C. et al. 2006) kan stimulering av stomata öppning resultera i en ökad fotosyntes med upp till 24-30% beroende på vilket växtslag det rör sig om. Blått ljus kan därigenom öka biomassan och stimulera klorofyllbildning. I samspel med detta har grönt ljus visat sig ha en motsatt effekt. Enligt Taiz & Zeiger (Taiz, L. & Zeiger E. 2006) motverkas stimulering av stomata öppningarna när blått ljuset efterföljs av grönt ljus.

Fotoperiodism är ett begrepp som innebär att växten reagerar på förhållandet mellan ljus och mörker under ett dygn (Raven, P.H. et al. 2005). Vissa växter går inte i blom förutsatt att den sammanhängande mörkerperioden under ett dygn inte uppnår en viss längd. Dessa plantor kallas kortdagsplantor (SDP). I motsats till dessa finns

långdagsplantor (LDP) som bara blommar när mörkerperioden är tillräckligt kort. Obligata plantor är plantor som har ett absolut krav på antingen kort eller lång natt medan fakultativa plantor kan blomma under båda förutsättningarna men gynnas av det ena (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992). Dagsneutrala plantor kan blomma oavsett dagslängd.

Brist på ljus orsakar etiolering, sträckningstillväxt hos växten. Växten blir då klen och långsträckt och ljus i färgen på grund av lägre klorofyllinnehåll (Jaakkonen, A-K. & Vuollet, A. 1996).

Ljus som filtrerats genom bladverk innehåller mycket gult och grönt ljus och ger ofta höga plantor med tunn stam i situationer då ljuskrävande växter hamnar i skuggan av andra växter (Gregory, P.J. et al. 2008). Liknande effekt kan också reducering av den totala mängden ljus ge och i detta fall blir bladen ofta tunna och stora, men reaktioner på ljusmängd varierar mellan växter beroende på om de är anpassade för skugga, halvskugga eller sol.

Rötterna är en viktig del av plantan och motsvarar cirka hälften av den totala vikten (Bjelland, O. 1984). Den optimala ljuskvaliteten för rötterna skiljer sig ofta från den optimala ljuskvaliteten för de ovanjordiska delarna på grund av att ljuskvalitén stimulerar processer i växten som leder till produktion av olika hormoner och dessa kan i sin tur ha skilda effekter på ovanjordiska delar och rötter.

#### **1.4.5 Växthusbelysning**

I växthus används ofta assimilationsbelysning som komplement. Den huvudsakliga effekten av tillskottsbelysning är att öka fotosyntes hos plantorna (Ingram, D. et al. 2002), men belysning kan också användas i syfte att forma plantan och reglera dess utveckling. Vid valet av belysning bör flera aspekter beaktas, exempelvis hur mycket ljus som behövs, vilken kvalitet ljuset skall ha och hur lång livslängd armaturen har, det vill säga hur många timmar armaturen kan lysa innan ljusflödet försämrats så mycket att armaturen inte längre ger önskad effekt.

I dag är den mest använda typen av växthusbelysning högtrycksnatriumlampor (High Pressure Sodium, HPS-lampor) (Ménard, C. et al. 2006). De har en verkningsgrad på omkring 30%, en livslängd på upp till 10 000 timmar samt avger ett lämpligt ljusspektrum för fotosyntes, dock innehåller det ganska lite blått ljus jämfört med naturligt solljus.

Glödlampor har en livslängd på omkring 2500 timmar och innehåller en stor andel mörkrött ljus vilket resulterar i långsträckta plantor (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992). De har också en mycket låg verkningsgrad, endast 7% av den tillförda energin blir synligt ljus och denna typ av belysning används inte längre som växthusbelysning.

Lysrör finns i flera olika färger och har en lång livslängd på upp till 15 000 timmar. De är energieffektiva och kan nå ett ljusutbyte på 100 lm/W, men de innehåller kvicksilver vilket missgynnar miljön (Sandström, M. et al. 2002). En fördel är att de inte blir särskilt varma och kan därför hängas upp på ett lågt avstånd ovanför plantorna (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992), men armaturerna skuggar samtidigt plantorna från det naturliga ljuset. Vita lysrör innehåller ljus med toppar kring blått och grönt ljus (Schüssler, H.K. & Bergstrand, K-J. 2009).

Belysning används inte bara som assimilationsbelysning utan kan också användas som ett verktyg för att forma plantan. Detta kallas fotomorfogenes (Jaakkonen, A-K. & Vuollet, A. 1996). Främst är det då förhållandet mellan mängden rött ljus och långvågigt rött ljus som är viktigt, men också mängden blått ljus kan spela roll. Dagsljuset innehåller ungefär lika mycket rött som långroött ljus, men kvoten varierar med solhöjden.

Mängden solljus som är tillgängligt för plantor inne i ett växthus kan vara upp till 60% lägre än utanför på grund av att materialet och konstruktionen hos växthuset hindrar ljusinsläppet (Runkle, E. S. & Heins, R.D. 2006). Det är därför viktigt att tänka på designen hos armaturerna så att de inte skymmer för mycket solinstrålning på dagen. Lika så är effekten hos armaturen viktig eftersom den avgör hur många armaturer som krävs.

#### **1.4.6 LED-teknik**

En lysdiod är tillverkad av ett halvledarmaterial som exempelvis galliumarsenid eller indiumfosfid, färgen på ljuset som alstras beror på vilka material halvledaren är komponerad av (Ljuskultur 2009). Genom att tillsätta små mängder av ett annat ämne (så kallat doping) till halvledarmaterialet bildas ett n-område och ett p-område. Vid n-området har ett ämne som har fler elektroner än halvledarmaterialet använts och vid p-området ett ämne med färre elektroner. Ljus uppstår när elektronbalansen jämnas ut när ström kopplas till.

En lysdiod har en livslängd på 50 000 timmar (Ljuskultur 2009) och enligt Starby ända upp till 100 000 timmar, men Jenkins och Oy (Jenkins, D & Oy, P. 2010) menar att det är viktigt att skilja på livslängden hos en enskild diod och hos armaturen. Det är därför väsentligt, vid jämförelse av olika produkter, att titta på dess nyttoförbränningsålder som är den ålder då det inte längre är rimligt att använda armaturen till följd av för stor ljusflödesnedgång. Lysdioder avger varken IR eller UV-strålning (Starby, L. 2006), men värme alstras ändå i lampsockeln (Kosunen, M. 2008) och därför krävs någon typ av kylning eftersom temperaturen påverkar armaturens nyttoförbränningsålder som sjunker med stigande temperatur (Ljuskultur 2009).

Utvecklingen av tekniken går fort framåt och i nuläget kan de bästa LED-armaturerna ersätta lysrör och inom en snar framtid troligtvis också den traditionella högtrycksnatriumlampan på 250 W (Jenkins, D & Oy, P. 2010). Däremot producerar LED fortfarande lika mycket värme som högtrycksnatrium, bara 30% av energin blir ljus och 70% blir värme (Jenkins, D & Oy, P. 2010), men med lämplig kylningsmetod kan värmen tas till vara och sedan spridas jämnt i växthuset (Kosunen, M. 2008). De två vanligaste teknikerna för att kyla armaturen är fläktkylning eller en platta av aluminium som leder bort värmen. Problemet med fläktkylning är att fläktarna ofta har kortare livslängd än lysdioderna och att de drar in damm i armaturen. Troligen kommer vattenkylning att bli vanligt vid större växthusanläggningar i framtiden eftersom det är ett effektivt sätt att ta vara på och cirkulera överskottsvärmen (Bergstrand, K.-J., muntligen 2010).

De främsta fördelarna med LED inom odling är att armaturer kan skräddarsys med utvalda våglängder, ljuset innehåller ingen UV-strålning, med rätt kylteknik kan överskottsvärmen tas till vara på, dioderna har en lång hållbarhet, är energisnåla och innehåller inget kvicksilver vilket ger en rad miljömässiga fördelar jämfört med lysrör, glödlampor och HPS lampor.

Inom yrkesodlingen eftersträvas ofta kompakta plantor men vid grönsaksodling är retarderingsmedel förbjudna. Som ett alternativ kan ljusstyrning användas och här kan lysdioder bli viktiga. Ett annat aktuellt användningsområde är som mellanbelysning, belysning som är placerad inne i plantbeståndet, mellan raderna, i växthusodling (Torre, S et al. 2009). I ett försök från 2009 testades blå och röda LED som mellanbelysning i gurka. Resultatet hos den skördade gurkorna visade att det var en signifikant skillnad på innehållet av socker och C-vitamin hos de gurkor som fått blå mellanbelysning jämfört med de andra behandlingarna. Det visade sig också att en kombination av blått och rött

ljus resulterade i den högsta klorofyllhalten hos gurkorna två och fyra veckor efter skörd och att gurkorna som fått mellanbelysning hade bättre hållbarhet. Tidigare försök med lysrör som mellanbelysning hade visats sig ge bättre yttre kvalitetsegenskaper men inte ha så stor effekt på lagringsdugligheten (Torre, S et al. 2009).

Armaturer med LED kan användas i konstljuskammare där inte något naturligt ljus används eftersom de kan hängas nära plantorna vilket gör att odling kan ske i många lager i höjddled för att maximalt utnyttja ytan i lokalen (Jenkins, D & Oy, P. 2010).

I en artikel från 2006 påpekar Ménard (Ménard, C. et al. 2006) att LED är intressant för användning vid växthusodling på grund av att den går snabbt att slå till och från, har lång livslängd, hög verkningsgrad och kan avge monokromatiskt ljus som kan kombineras på olika sätt. LED är också intressant för NASA eftersom den är platsbesparande och energisnål (Kim, H.H. et al. 2006). Detta gör tekniken intressant vid utveckling av odlingssystem som skall hjälpa till att försörja besättningar ombord på rymdfarkoster.

Allt är inte positivt med LED. Eftersom dioderna inte avger strålningsvärme till växten blir temperaturen i bladen lägre vilket minskar transpirationen. I normala fall kan detta vara positivt för växten då tillgången på vatten är begränsad men i växthusodling är det snarare negativt då det kan påverka näringsupptaget eftersom en del näringsämnen tas upp passivt i växten med vattnet. Likaså blir luftfuktigheten i växthuset lägre, då växterna transpirerar mindre. Varje diod är liten med låg massa och ett problem är att också energin hos varje diod är liten och det krävs därför många armaturer, vilket i växthus skymmer solinstrålning.

#### **1.4.7 Tomat**

Det botaniska namnet för tomat är *Solanum lycopersicum* L. (Svensk Kulturväxtdatabas) och den tillhör familjen Solanaceae, potatisväxter (Aldén, B et al. 1999). Till familjen hör bland annat också släktena, *Petunia*, *Capsicum* och *Nicotiana*. Tomat kan konsumeras rå men också processad på en mängd olika vis och är rik på C- och A-vitamin samt antioxidanten lykopen (Benton Jones Jr, J. 1998).

Tomaten har sitt ursprung i Sydamerika och är en flerårig ört men den odlas ofta som ettårig kulturväxt på friland eller i växthus (Aldén, B et al. 1999). Den är dagsneutral och mycket ljuskrävande. Under groningen bör en konstant temperatur hållas på 22°C och därefter något lägre dagtid och mellan 16-18°C under natten (Bjelland, O.



1984). Det tar mellan 7 och 8 veckor från uppkomst till att de första blommorna öppnar sig, förutsatt att det sker under rekommenderade förhållanden (Bjelland, O. 1984).

Roten är i början formad som en pålrot men övergår successivt till formen av en hjärtrot (Bjelland, O. 1984). Plantor med god tillväxt kan, om utrymme finns, få mycket kraftiga rotsystem med upp till en meter djupa rötter men, de flesta förgreningarna tycks ofta komma högt upp mellan 5 och 35 cm ned på roten. Stammen avslutas med en blomklase och sedan växer ett sidoskott ut vilket gör att det ser ut som att blomklasen växer ut från stammen. Normalt bildas blommor efter 7-11 blad, men detta påverkas starkt av temperatur- och ljusförhållandena. Hög temperatur och lite ljus ger en senare blomning och större sträckningstillväxt (Bjelland, O. 1984).

Tomatodling i växthus kräver stora mängder ljus eftersom tomat är ljuskrävande, men belysning vid odling av tomater och belysning vid plantupptragning för tomatodlingen är två skilda saker. Vid tomatodling är ljusmängden viktig för att få en hög avkastning medan vid plantupptragning ljuskvalitén är viktigare för att få plantor som kan transporteras och lätt etableras i växthusen. Det är därför viktigt med kompakta plantor som har bra rötter.

Effektiviteten hos fotosyntesen påverkas främst av lufttemperaturen, tillgången på vatten och CO<sub>2</sub> och mängden ljus samt dess kvalité (Benton Jones Jr, J. 1998). Den fotosyntetiska mättnadspunkten för tomat ligger mellan 600-800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## 2 MATERIAL OCH METOD

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Växtmaterial

I försöket användes tomatplantor av sorten *Solanum lycopersicum* cv. Aromata (Rijk Zwaan, De Lier, Nederländerna). Tomatfrön såddes i K-jord (Hasselfors Garden, Perstorp, Sverige) i brätten och fick gro i växthus med naturligt ljus under 14 dagar i en inställd temperatur på 18°C. Därefter planterades plantorna om i krukor, fyllda med K-jod, med en diameter på 12 cm.

#### 2.1.2 Växtplats

Armaturen var placerad i en klimatkammare vid SLU Alnarp. Inställd temperatur var 20°C. Referensplantorna placerades i växthus utan tillskottsbelysning, med en inställd temperatur på 18°C och luftning vid +2 °, temperaturen loggades med HOB0 (HO8, Onset computer corporation, Bourne, USA) var 30:e minut under perioden 23 april till 31 maj 2010 på respektive växtplats.

#### 2.1.3 Belysningsarmatur

LED-armaturen (Trädgårdsteknik AB, Ängelholm, Sverige) var placerad på olika avstånd ovanför plantorna för att ge alla en ljusstyrka på  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Alla lampor hade en angiven effekt på 90 W men mätning visade att de olika armaturerna hade olika effekt (tabell 1). Energiförbrukningen hos dioderna är inte direkt korrelerad med energiinnehållet hos de olika våglängderna utan beror på konstruktionen hos dioderna. Dioderna med färgerna blått, grönt, gult och rött ljus bestod alla av monokromatiskt ljus vilket innebär att ljuset har en och samma våglängd, medan den vita var polykromatisk och bestod av flera olika våglängder.

**Tabell 1. Den uppmätta effekten hos de fem olika LED-armaturerna.**

Ljusfärg	Vit	Gul	Röd	Grön	Blå
Effekt	120W	82W	80W	89W	88W

## 2.2 Metod

Fem armaturer med olika ljusfärger användes i försöket, blått (460 nm), grönt (525 nm), rött (620 nm), gult (585 nm) och vitt (430-730 nm). Varje armatur var upphängd över en hyllvagn (0,5 x 0,5 m) och belysningen var tillslagen 18 timmar/dygn. För att förhindra spridning av ljus till intilliggande behandlingar var vagnarna omslutna med plast, svart på utsidan och vit på insidan för maximal reflektion. På varje vagn placerades tre tomatplantor som var 17 dagar gamla och som slumpats ut genom lottning. Totalt innefattade försöket 20 tomatplantor, tre plantor för varje behandling och fem referensplantor. Plantorna vattnades efter behov. Olika plantor fick olika mycket vatten eftersom storlek och transpirationshastighet skiljde sig åt. En gång i veckan fick alla plantorna 100 ml näringslösning tillsatt ovanifrån i krukan. Näringslösningen hade EC 2,3 och bestod av 60 ml Superba (14-4-21) och 60 ml kalciumnitrat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), (Yara AB, Landskrona, Sverige) som späts med vatten upp till en liter.

## 2.3 Mätningar

### 2.3.1 Veckovis mätning

Mätningarna startade vid försöksstarten den 23 april 2010 och avslutades med slutavläsning den 31 maj 2010. Varje vecka mättes skottlängden hos huvudskottet från jordytan till tillväxtpunkten.

### 2.3.2 Slutavläsning

För att få en så komplex bild som möjligt och för att kunna jämföra resultat med varandra och dra slutsatser utifrån dem, mättes flera olika saker vid slutavläsningen. En helhetsbedömning av plantans ovanjordiska delar gjordes på en skala mellan 1-10 (Bergstrand, muntligen 2010). Skottlängd mättes hos huvudskottet och plantbredd i två motsatta riktningar över plantan, stamtjocklek mättes med skjutmått på det tjockaste stället mitt mellan två noder. Antal noder och blomknoppar räknades och bladytan mättes med hjälp av en bladyteräknare (Li-Cor LI-3100, Lincoln, USA). Bladen matades ett och ett in i maskinen som registrerade dess yta och sedan samlades bladen upp i en tom papperspåse vars vikt noterats. Stammen klipptes av en halv centimeter ovanför jordytan och lades i papperspåsen. Påsarna vägdes och efter torkningen (2 dygn, 75°C) vägdes påsarna på samma våg igen för att få fram torrvikten. Rötterna bedömdes på en

skala mellan 1-10 (Bergstrand, muntligen 2010), där ett inte var några synliga rötter alls och tio helt genomrotad. Alla plantor inom en behandling tilldelades ett gemensamt betyg.

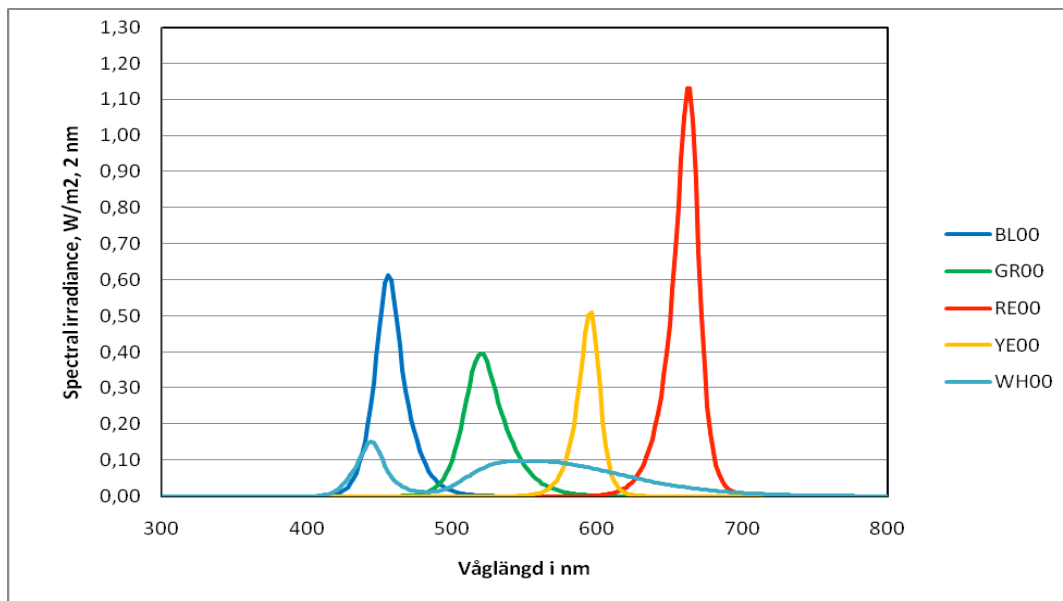
## **2.4 Statistiska analyser**

Variationsanalys genomfördes med ANOVA-test för att se om det fanns någon skillnad mellan behandlingarna på signifikansnivån 0,05. Därefter användes Tukey-test för att se vilka behandlingar som skiljde sig åt. Analyserna genomfördes i Minitab 15 (Minitab Inc, State Collage, USA).

### 3 RESULTAT

Medeltemperaturen under försöksperioden var i klimatkammaren 20,7°C och i växthuset 21°C.

Spektralmätning visade inom vilka våglängdsområden de olika LED-armaturerna hade sina toppar (figur 2). Mätningarna genomfördes med spektralmätare (Li-Cor Li-1800, Lincoln, USA) av Göran Nilsson, Biotronen, SLU Alnarp. Det vita ljuset hade en topp med blå våglängder samt innehöll en del gul-grönt ljus.



**Figur 2.** Våglängdsfördelningen hos de fem olika LED-armaturerna som användes i försöket. BL00 = blå armatur, GR00=grön armatur, RE00=röd armatur, YE00=gul armatur och WH00=vit armatur.

Utseendet hos tomatplantorna (bild 1) skiljde sig åt mellan de olika ljusfärgerna, dels i höjd och vikt men också i färg, stamtjocklek och blomning. Vid helhetsbedömningen fick blått och rött ljus högst betyg med ett medelvärde strax över fem, tätt följt av vit behandling med ett medelvärde på fem. Plantorna i det gröna och gula ljuset gav ett sämre helhetsintryck och fick ett medelvärde strax under tre.

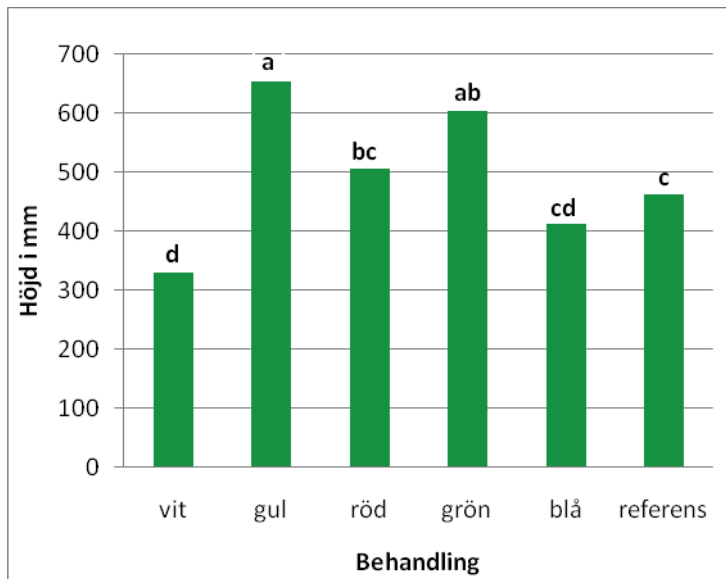


**Bild 1.** Foto från slutavläsningen, en tomatplanta från respektive ljusbehandling. Från vänster, referensplanta sen vitt ljus, gult ljus, rött ljus, grönt ljus och blått ljus.

Alla medelvärden i resultaten är baserade på tre mätdata, för det blå ljuset har endast två mätdata använts på grund av att en planta uteslöts ur försöket. Referensvärdet är baserat på fem plantor.

### **3.1 Höjd**

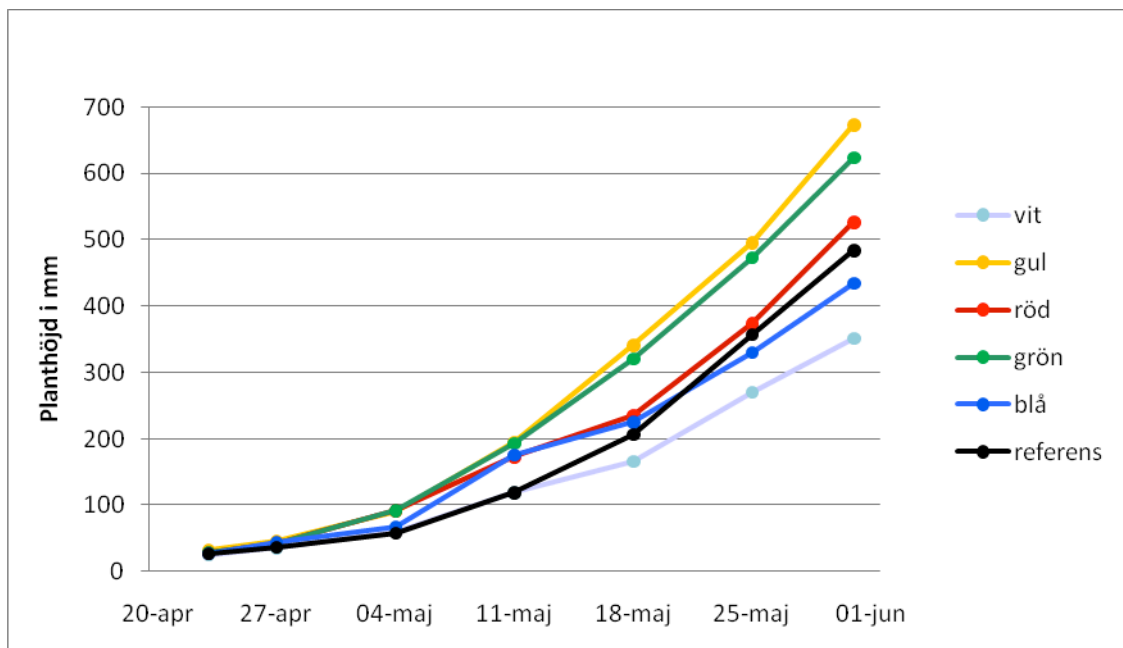
Resultatet av de veckovisa höjdmätningarna (figur 4) visade att det gula ljuset gav mest sträckningstillväxt och det vita ljuset minst (bild 2). Grönt ljus gav också kraftig sträckningstillväxt. Sträckningstillväxten av blått och rött ljus liknade referensplantorna. Standardavvikelsen (figur 5) visar att variationen inom varje behandling var ganska liten för de flesta behandlingarna. Resultatet från slutavläsningen (figur 3) visar att ingen behandling avviker helt från de andra, men plantorna i det vita och blå ljuset var kortare än plantorna i det gula och gröna ljuset och skiljde sig signifikant från dessa. Resultatet för medelvärdet av internodielängden (figur 6) visade att plantorna i det vita ljuset hade kortast internodielängd och att det gula ljuset gav längst internodielängd. Resultatet för referensplantorna och i rött och blått ljus liknade varandra.



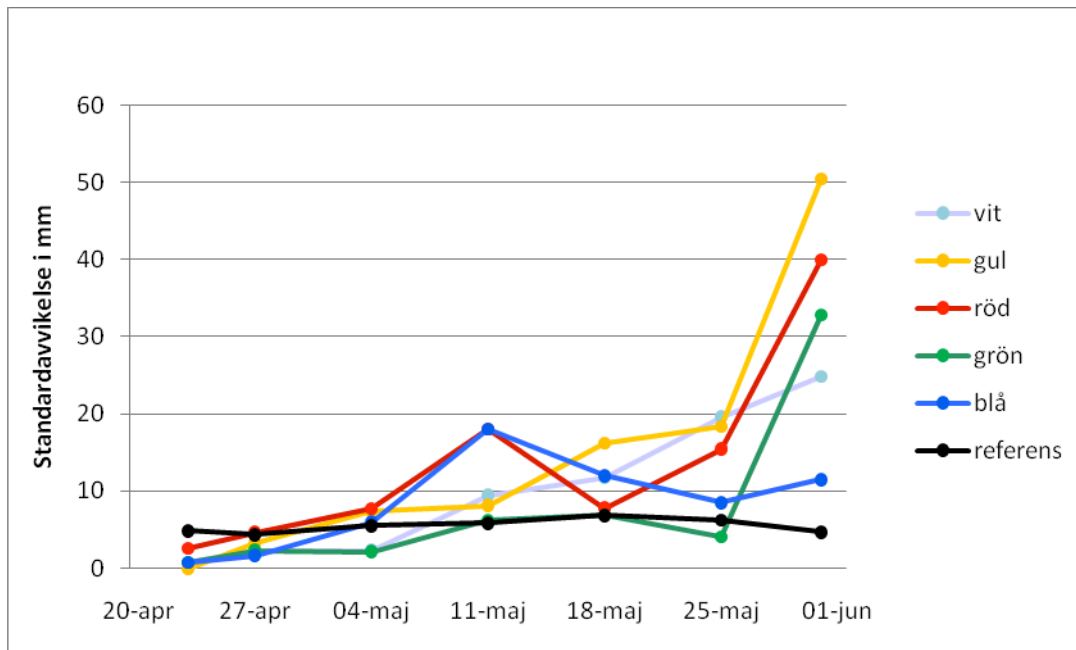
Figur 3. Medelvärdet av höjden vid slutavläsningen hos de fem olika behandlingarna och referensen.



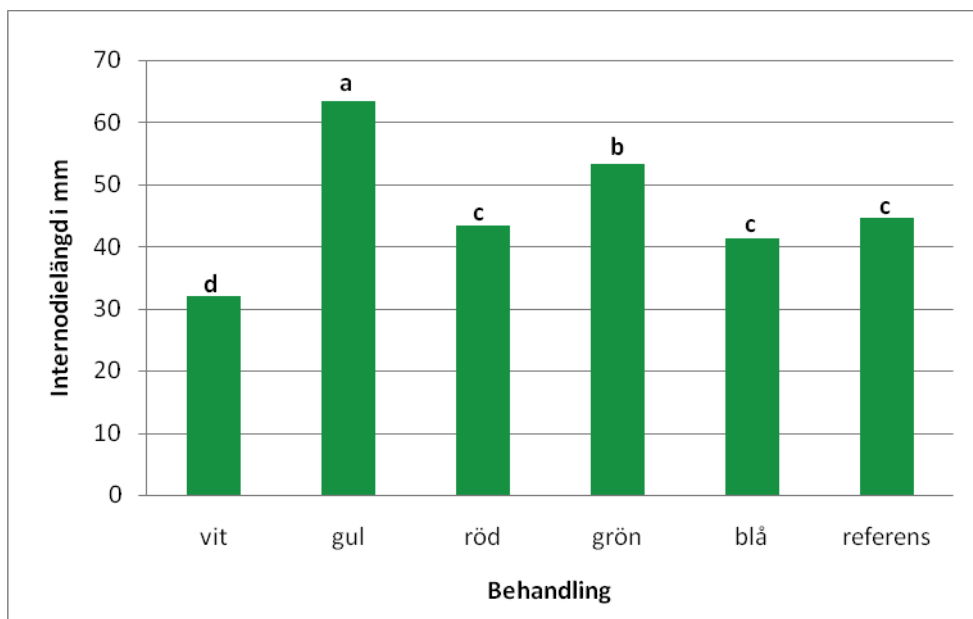
Bild 2. Jämförelse av resultatet vid slutavläsningen mellan planta från gult ljus (vänster) och vitt ljus (höger).



Figur 4. Genomsnittlig tillväxt i höjdlid hos tomatplantorna baserat på mätningar vid sju olika tillfällen. Varje linje representerar en behandling.



Figur 5. Standardavvikelsen för planthöjden vid varje mättillfälle.

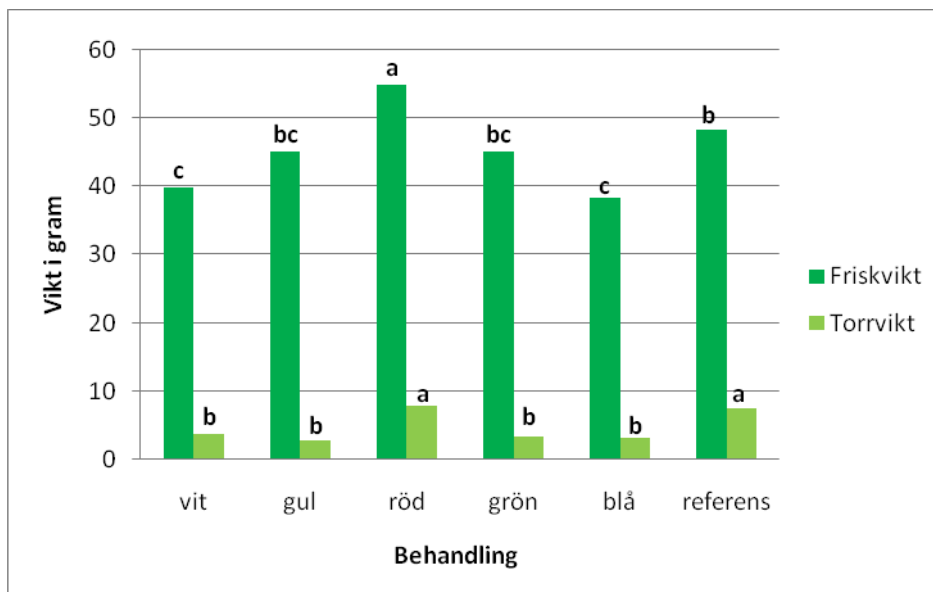


Figur 6. Medelvärdet för internodielängden hos repektive behandling och referensen.

### 3.2 Vikt

Högst frisk- och torrsvikt (figur 7) hade plantorna i det röda ljuset och dessa skiljde sig signifikant från de andra. Rött ljus gav också, näst efter referensenplantorna, högst torrsvikt i förhållande till friskvikten. Plantorna i blått ljus hade den minsta friskvikten men lika hög torrsvikt som plantorna i gult och grönt ljus trots att de hade en högre frisksvikt.





Figur 7. Frisk- och torrsvikt hos de fem behandlingarna och referensplantorna.

### 3.3 Blommor

De plantor som belystes med blått ljus tog längst tid på sig att utveckla knoppar och att gå i blom. Dag 33 noteras synliga blomknoppar hos försökets samtliga tomatplantor bortsett från den blå behandlingen. Vid slutavläsningen hade plantorna i det röda ljuset flest blomknoppar och skiljde sig signifikant från plantorna i vitt och blått ljus.

Resultaten från referensplantorna, det vita, gröna och gula ljuset liknade varandra och ingen av dessa skiljde sig signifikant åt. Endast plantorna i det röda ljuset och referensplantorna hade utslagna blommor vid slutavläsningen (tabell 2). Resultatet från blått ljus skiljde sig signifikant från alla utom vitt ljus.

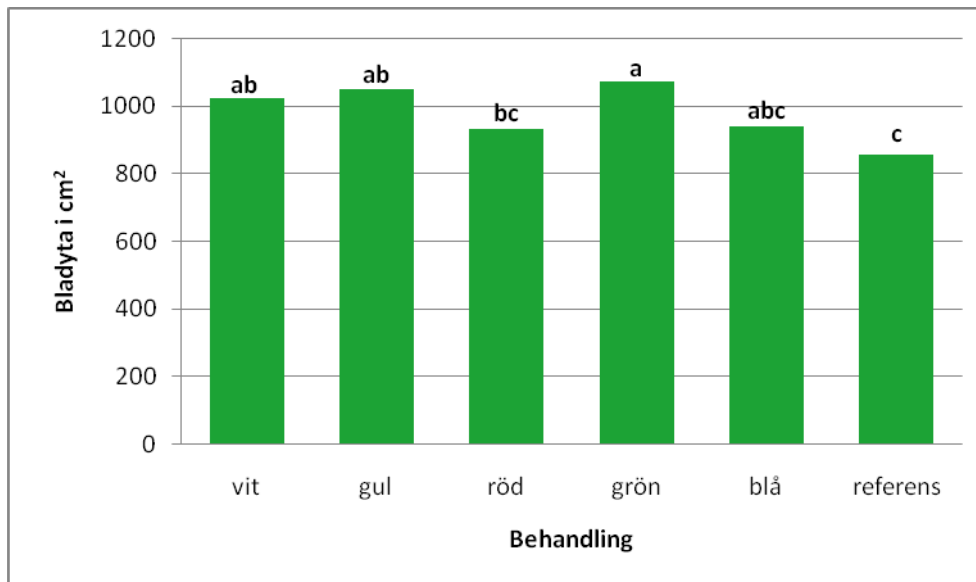
Tabell 2. Medelvärdet av antalet utslagna blommor respektive blomknoppar i de fem olika behandlingarna och referensen, observerat vid slutavläsningen den 31 maj 2010.

Behandling	Vit	Gul	Röd	Grön	Blå	Referens
Blomknoppar	8	9,7	12,3	9,7	5,5	11
Utslagna blommor	0	0	3,7	0	0	1,6

### 3.4 Blad

Bladytan var störst hos de plantor som belysts med grönt ljus och minst hos referensplantorna som haft en större total ljusmängd då de stått i växthus med naturligt ljus (figur 8). Bladen i behandlingarna där grönt och gult ljus använts upplevdes som tunnare, men detta har ej mätts. Plantorna i gult ljus hade fått gulgröna partier på en del

blad (bild 3). I det röda ljuset upplevdes plantorna ha kraftiga blad med mörk färg och lätt rödfärgning på bladundersidan. Även referensplantorna hade en rödfärgad bladundersida. I det gröna ljuset hade bladen fått nekrotiska fläckar (bild 3).



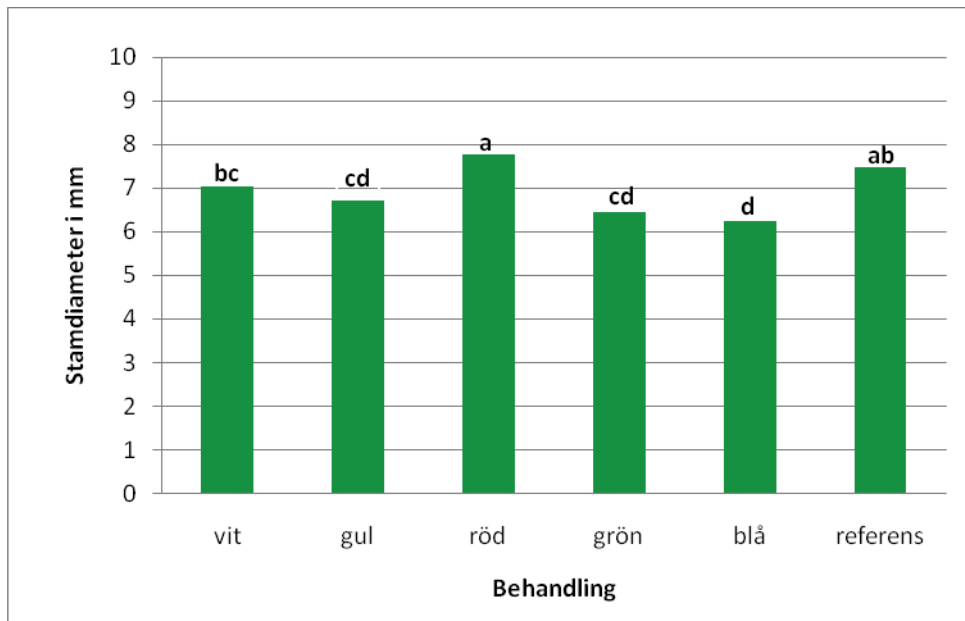
**Figur 8. Medelvärde av den totala bladytan för de fem olika behandlingarna och referensplantorna. Plantorna i grönt och gult ljus hade störst bladyta och referensplantorna hade minsta bladytan.**



**Bild 3. Nekrotiska partier fanns på vissa blad hos plantorna i det gröna ljuset (vänster). I det gula ljuset hade en del plantor ljusgröna partier på bladen (höger).**

### 3.5 Stam

Stamdiametern (figur 9) var störst hos plantorna i det röda ljuset och skiljde sig signifikant från övriga behandlingar men inte från referensplantorna. Plantorna i blått ljus hade den minsta stamdiametern men skiljde sig inte signifikant åt från plantorna i gult och grönt ljus som också hade en liten stamdiameter.



Figur 9. Medelvärde för stamdiametern hos de fem behandlingarna och referensplantorna.

### 3.6 Rötter

Bedömningen av rötter gjordes på en skala mellan 1-10. Plantorna i rött ljus hade mycket synliga rötter och i gult, grönt och blått ljus fanns minst synliga rötter (tabell 3) (bild 4).

Tabell 3. Bedömning av rötterna på en skala mellan 1-10. Bäst rottillväxt hade plantorna i rött ljus och sämst betyg fick plantorna i gult, grönt och blått ljus.

Behandling	Röd	Referens	Vit	Gul	Grön	Blå
Betyg, 1-10	7	6	5	4	4	4



**Bild 4. Översiktsfoto av rötterna hos plantorna från de fem olika behandlingarna och referensplantorna. Från vänster, blått ljus, grönt ljus, rött ljus, gult ljus, vitt ljus och referensen.**

## 4 DISKUSSION

### 4.1 Diskussion av resultat

Växterna har under evolutionens gång fått anpassa sig till det solljus som nått marken, men det betyder inte att fördelningen i detta spektrum är det mest optimala vid odling, utan vissa våglängder kan visa sig vara mer gynnsamma än andra. Sådan kunskap är användbar i arbetet att forma plantor och kan minska mängden ljus/energi som går till spillo då inte växten kan ta till vara på det.

Resultaten från försöket visade att olika ljuskvaliteter från LED gav olika utveckling och tillväxt hos tomatplantor. Skillnader i utveckling syntes dels på rottillväxten som var svag i det blå ljuset och kraftig i det röda ljuset, dels i skillnad vid bildningen av blomknoppar som kom senare i det blå ljuset än i övriga ljusfärger. Skillnader i tillväxt och sträckningstillväxt syntes vid vägningen av frisk- och torrsvikt. Plantorna i det gula ljuset hade den högsta höjden men låg torrsvikt jämfört med frisksvikt vilket tyder på sträckningstillväxt, där cellen inte delat sig utan tagit upp vatten. Plantorna i det röda ljuset däremot hade en hög frisk- och torrsvikt vilket kan bero på tillväxt, alltså celldelning på grund av att de röda våglängderna var gynnsamma för fotosyntesen.

Ljushöjden på  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  som användes i försöket var relativt liten jämfört med den fotosyntetiska mättnadspunkten för tomat som ligger mellan  $600\text{-}800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Det visar på att det krävs små mängder ljus för att påverka utveckling och morfologi.

Parallellt med mitt försök genomfördes ett motsvarande försök på två sorters basilika (Nyrén, M 2010). Medan det gröna och gula ljuset gav långsträckta tomatplantor hade basilikan svårt att överleva i dessa ljusfärger. Intressant är också att i ett tidigare försök genomfört på *Petunia* av Schüssler & Bergstrand (Schüssler, H.K. & Bergstrand, K-J. 2010), där samma armaturer och ljushöjden användes, skiljde sig resultatet från denna studie. Trots att tomat och *Petunia* tillhör samma släkte, påverkades de mycket olika av det blå ljuset. Hos *Petunia* gav den blå ljusbehandlingen långsträckta plantor och den tidigaste blomningen medan den hos tomaten gav den senaste blomningen och en ganska lite sträckningstillväxt. Det kan bero på att de har olika krav på fotoperiod eftersom *Petunia* är långdagsplanta och tomat är dagsneutral. Detta pekar på hur viktigt det är att skaffa sig kännedom om hur olika växtslag reagerar på olika typer av ljuskvalité från LED för att kunna anpassa odlingen för varje enskilt växtslag.

Plantorna som belysts med blått ljus fick ett högt betyg vid helhetsbedömningen av de ovanjordiska delarna, men plantorna hade svag rottillväxt och blommade sist av alla behandlingar. Dessa resultat återfinns också i det parallella försöket på basilika (Nyrén, M 2010). Tomatplantorna i det blå ljuset hade också minst stamdiameter och näst minsta höjd vid slutavläsningen. I litteratur (Runkle, E. S. & Heins, R.D. 2006) återfinns att blått ljus kan inhibera sträckningstillväxten vilket kan överensstämna med detta försök då tomatplantorna i det blå ljuset hade den näst lägsta höjden (figur 3). Bara plantorna i det vita ljuset hade en lägre sträckningstillväxt, men enligt spektralmätningen (figur 2) har det vita ljuset en topp i det blå våglängdsområdet, vilket kan vara en del av förklaringen. Jag hade förväntat mig en högre friskvikt hos plantorna i det blå ljuset till följd av en ökad fotosyntes på grund av det höga energiinnehållet hos blått ljus (Taiz, L. & Zeiger E. 2006), alternativt att blått ljus stimulerat stomata öppning vilket gynnar gasutbytet och driver fotosyntes. Detta bygger på att det finns tillgång på överflödigt CO<sub>2</sub> i luften kring plantan och att plantorna har tillgång på vatten. Vilket inte borde ha varit något problem i detta försök då både luftcirkulationen och tillgången på vatten var bra. Däremot kan vatten och näringsupptaget ha varit begränsat i det blå ljuset till följd av den dåliga rottillväxten.

Att plantorna i det röda ljuset blommade tidigt kan vara en del av förklaringen till att de inte hade så stor skottillväxt eftersom resurserna tidigt omfördelades till blomning och rottillväxt. Det kan också bero på att mängden långvärd strålning var mycket liten. Anledningen till att plantorna blommade först i det röda ljuset skulle kunna bero på att det röda ljuset stimulerade fytokromet som inducerar blomrelaterade gener (Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. 1992).

Resultatet för plantorna i grönt och gult ljus skiljde sig inte signifikant åt på någon punkt och deras tillväxtkurvor över tiden var mycket lika varandra, vilket tyder på att växten inte är känslig för skillnader i våglängder inom det gul-gröna området. Även här har liknande resultat noterats i försöket på basilika (Nyrén, M 2010). Plantorna i det gula och gröna ljuset hade störst bladyta och störst höjd men inte störst frisk eller torrsvikt. Det kan förklaras av att stamdiameteren var liten och bladen tunna. Den ljusa färgen på bladen kan ha berott på en låg koncentration av klorofyll jämfört med bladen i det röda, vita och blå ljuset som var mörkgröna i färgen.

Referensplantorna stod i växthus med naturligt ljus och hade därför helt andra förhållande än övriga plantor. Jämförelser med referensplantorna bör därför inte göras.

Även om medeltemperaturerna för klimatkammaren och växthuset var snarlika under försöksperioden så pendlade temperaturen mer i växthuset och ljusinstrålningen var högre så resultatet behöver därför inte vara en effekt av ljuskvalité utan kan även bero på temperatur och inte minst ljusmängd.

## 4.2 Slutsatser

- Ljuskvalitén påverkar bland annat rotutveckling, inducering av blombildning, vekningsgraden hos fotosyntesen, sträckningstillväxt och internodielängd hos tomatplantor.
- Förklaringen till detta är att olika fotokänsliga system i växten påverkas av olika våglängder och kunskap om detta kan användas i odling för att styra till exempel yttre kvalité som blomning och internodielängd men också inre kvalité som smak och hållbarhet.
- När endast en ljusfärg används är rött ljus att föredra eftersom det ger en tomatplanta med välutvecklat rotsystem, tidig blomning och kraftig stam, men en kombination av flera olika ljusfärger kan vara mer optimalt.
- Gult och grönt ljus som enda ljuskälla är inte lämpligt eftersom det ger plantor med kraftig sträckningstillväxt.
- LED-tekniken lämpar sig för växthusodling främst eftersom ljusspektrat kan skräddarsys, ljuset inte innehåller UV- och IR-strålning och dioderna har lång livslängd.

## 4.3 Förbättringar och förslag till fortsatta studier inom området

Groningen skedde i växthus med naturligt ljus vilket kan ha påverkat resultaten från ljusbehandlingarna. Det går därför inte helt säkert att skilja på egenskaper som förvärvats de första två veckorna från de som är direkt orsakade av ljuskvalitén under försöket. Fröna borde istället ha grott i respektive ljusfärg från början. Den ackumulerade mängden vatten som tillfördes plantan borde ha mätts och noterats noggrannare så att jämförelser kunnat göras mellan till exempel tillväxt och vattenförbrukning.

Vid fortsatta försök vore det intressant att kombinera våglängder på olika sätt för att undersöka påverkan på sträckningstillväxt och skotttillväxt eller möjligheten att med ljuskvalitetens hjälp inducera alternativt förskjuta blomning.

## 5 REFERENSER

- Aldén, B., Engstrand, L., Iwarsson, M., Jonsson, L., Nilsson, Ö., Ryman S. (1998). *Kulturväxtlexikon*. Lund: Natur och Kultur/LTs förlag
- Atwell, B., Kriedemann, P. & Turnbull, C. (1999). *Plants in Action*. South Yarra: Macmillan education Australia Pty Ltd
- Baevre, O.A. & Gisleröd, H.R. (1992). *Plantedyrkning i regulert klima*. Oslo: Landbruksforlaget
- Bergstrand, K-J., muntligen (2010-10-08)
- Benton Jones Jr, J. (1998). *Tomato Plant Culture,- In the Field, Greenhouse and Home Garden*. Boca Raton: CRC Press
- Bjelland, O. (1984). *Grönsaksodling i växthus*. Stockholm: LTs förlag
- Gregory, P.J., Ingram, D.S., Vince-Prue, D. (2008) *Science and the Garden*. Oxford: Blackwell Publishing
- Ingram, D., Vince-Prue, D. & Gregory, P. (2002). *Science and the garden*. Oxford: Blackwell Science Ltd
- Jaakkonen, A-K. & Vuollet, A. (1996). *Effektiv Växthusodling*. Vanda: Tummavuoren kirjapaino Oy-Dark
- Jenkins, D & Oy, P. (2010). *LED i växthusbelysning – fakta eller fiktion?*. Trädgårdsnytt. 2. 30-31.
- Kim, H.H., Wheeler, R.M., Sager, J.C., Goins, G.D. & Norikane, J. H. (2006). *Evaluation of growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment – a review of research at Kennedy space center*. Acta Horticulturae. 711. 111-119.
- Kozai, T., Ohyama, K. & Chun, C. (2006). *Commercialized closed system with artificial lighting for plant produktion*. Acta Horticulturae. 711. 61-70.
- Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T. & Gosselin, A. (2006). *Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light*. Acta Horticulturae. 711. 291-296.
- Nyrén, M. (2010). Opublicerad data.
- Raven, P.H., Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. (2005). *Biology of plants*. 7:e uppl. New York: W. H. Freeman and Company
- Runkle, E. S. & Heins, R.D. (2006). *Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants*. Acta Horticulturae. 711. 51-59.



Schüssler, H.K. & Bergstrand, K-J. (2010). Opublicerade data.

Schüssler, H.K. & Bergstrand, K-J. (2009). *Lysdioder - framtidens växthusbelysning?* Fakta från Tillväxt Trädgård, info nr 7.

Starby, L. (2006). *En bok om belysning*. 3:e uppl. Stockholm: Ljuskultur

Taiz, L. & Zeiger E. (2006). *Plant Physiology*. 4:e uppl. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.

Torre, S., Le Benn, G., Wold, A.B. & Gislerød, H.R. (2009). *Blått och rött LED-ljus påverkar kvalitet och lagringsegenskaper hos gurka*. Trädgårdsnytt. 11. 28-29.

## Elektroniska referenser

Ljuskultur. Hemsida. [online](05-2009) Tillgänglig: [http://www.ljuskultur.se/files/Teknik\\_Miljo/Teknik/Vart\\_att\\_veta\\_om\\_LED.pdf](http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Vart_att_veta_om_LED.pdf) [2010-07-30]

Joshi, S. *Facts of Light*. (2008). Reefkeeping Magazine [online] Tillgänglig: <http://reefkeeping.com/issues/2006-03/sj/index.php> [2010-06-17]

Sandström, M., Bergqvist, U., Küller, R., Laike, T., Ottosson, A. & Wibom, R. (2002). *Belysning och hälsa – en kunskapsöversikt med fokus på ljusets modulation, spektralfördelning och dess kronobiologiska betydelse*. [online]. Tillgänglig: [http://www.medgbg.net/flak/period8/ah2002\\_04.pdf](http://www.medgbg.net/flak/period8/ah2002_04.pdf) [2010-08-06]

Svensk Kulturväxtdatabas. Hemsida. [online](2010) Tillgänglig: [www.skud.se](http://www.skud.se) [2010-08-12]