

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne hovedoppgaven er skrevet ved institutt for plante- og miljø. Forsøk er utført ved Senter for Klimaregulert Planteforskning.

Arbeidet har vært utrolig lærerikt, og ikke minst veldig gøy!

En spesiell takk til min hovedveileder Hans Ragnar Gislerød, for gode råd og tips, og ikke minst for at du lot meg realisere ideene mine.

En spesiell takk til min medveileder Sissel Torre, for uvurderlige tilbakemeldinger, gode diskusjoner og søndagstelefoner.

Hva hadde kvalitet blitt uten deg Anne-Berit Wold? Tusen takk.

Jeg vil også takke alle som har hjulpet med ved Senter for Klimaregulert Planteforskning, med en spesiell takk til Ida Hagen (som fikser alt!), Marit Siira, Dag Wenner, Gry Skjeseth, Kari Grønnerød, Signe Hansen og "C-vitamin Karin".

Ellers takk til;

Simen Myhre som har bistått med plantematerialet.

Lars Martin Færseth for selskap i veksthuset.

Til alle mine venner; Det finns ikke bedre!

Til alle de jeg har glemt (Går i trykken om 59m37s) beklager, og takk!

Min svigerfamilie, takk for husrom, hytte lån og støtte!

Min kjære familie, som er grunnen til at jeg er der jeg er i dag, takk mamma og pappa!

Og sist, men aller størst, min favoritt person i hele verden og høy elskede samboer Berthe Marie. Denne er til deg!

Oslo, 26.07.10.

Staffan Henrik Bengtsson



Helårsproduksjon av jordbær i veksthus (*Fragaria ananassa* Dutch. `Ria`)

Year-round greenhouse production of strawberry (*Fragaria ananassa* Dutch. `Ria`)

Staffan Henrik Bengtsson

Masteroppgave 60stp Institutt for Plante- og Miljøvitenskap Juli 2010

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Innholdsfortegnelse.....	2
Sammendrag.....	7
1.0 Innledning.....	10
2.0 Tilleggslys i veksthus.....	11
2.1 Historikk og virkningsmekanismer	12
2.1.1 Forskning og utvikling.....	13
2.1.2 Levetid og effektivitetsgrad.....	14
2.1.3 Bruksområder.....	14
2.2 Lyskvalitet – effektivitet og betydning i fotosyntesen.....	15
2.2.1 Manupulering av fotoreseptorer.....	17
2.2.2 LED, lyskvalitet – vest og blomstringsregulering.....	19
2.3 Jordbærproduksjon i veksthus.....	20
2.3.1 Utvikling av produksjonssystemer i Europa.....	21
2.3.2 Produksjon av jordbær i Belgia og Nederland.....	22
2.3.3 Forlenging av sesong og helårsproduksjon på nordlige breddgrader.....	23
2.3.4 Eksempler på jordbærproduksjon i middelhavslandene.....	24
2.3.5 Nutrient Film Technique, NFT.....	25
2.3.6 Fytosanitære hensyn.....	26
3.0 Plantefenoler.....	27
3.1 Helsefremmende egenskaper	29

3.2 Antioksidanter i frukt og bær.....	30
3.3 Faktorer som påvirker syntese av fenoloforbindelser i planter.....	31
3.3.1 Lys.....	31
3.3.2 Temperatur.....	31
3.3.3 Plantenæring.....	32
3.3.4 Vannrelasjoner.....	33
3.3.5 CO ₂	33
4.0 Materialer og metoder	35
4.1 Gjødning.....	35
4.2 Høstforsøk.....	36
4.2.1 Vekstform og karantene.....	37
4.2.2 Kultiveringspraksis og registreringer.....	37
4.3 Vårforsøk.....	38
4.3.1 Opparbeiding av plantematerialet.....	38
4.3.2 Kultiveringspraksis og registreringer.....	39
4.3.3 Spesielt for vårforsøket.....	40
4.4 Kvalitetsanalyse av jordbær.....	40
4.4.1 Opparbeiding av prøvemateriale for oppløst sukker, titrerbar syre, pH og O.D...41	
4.4.2 Kjemisk analyse.....	41
4.5 Prosedyre for analyse av antioksidantaktivitet, fenoler, anthocyaniner og C-vit.....	42
4.5.1 Opparbeiding av prøvemateriale for FRAP, TF, TMA og C-vitamin.....	42

4.5.2	Analyse av antioksidantaktivitet, fenoler, anthocyaniner	43
4.5.3	Analyse av C-vitamin innhold.....	44
4.5.4	Statistiske analyser.....	45
5.0	Resultater.....	46
5.1	Vegetativ og generativ vekst.....	46
5.2.	Kjemiske analyser.....	47
5.2.1	Fytokjemikalinnhold og antioksidantaktivitet.....	48
5.3	Resultater vårforsøk.....	48
5.3.1	Vegetativ og generativ vekst.....	48
5.4	Kjemiske målinger.....	50
5.4.1	Fytokjemikalinnhold og antioksidantkapasitet.....	51
5.5	Avling.....	52
5.6	Sammenligning av høst – og vårforsøk. Sampilleffekter.....	53
5.6.1	Rotvekst.....	53
5.6.2	Morfologiske responser.....	54
5.6.3	Kvalitet – <i>fyto</i> kjemikalier.....	55
5.7	Forskjell mellom høst – og vårforsøk. Oversikt. <i>Kjemiske målinger</i>	57
5.7.1	Forskjell mellom høst – og vårforsøk. Oversikt. <i>Fyto</i> kjemikalier.....	58
6.0	Diskusjon.....	59
6.1	Høstforsøk.....	59
	<i>Vegetativ vekst og morfologi</i>	59

<i>Generativ vekst</i>	60
<i>Total biomasseproduksjon</i>	60
<i>Spesielt for høstforsøket</i>	61
6.2 Kjemiske analyser	63
6.3 Innhold av total fenoler, monomere anthocyaniner, antioksidantaktivitet og C-vit.	64
6.4 Vårforsøk	66
<i>Vegetativ vekst og morfologi</i>	66
<i>Betydning av bladtemperatur</i>	68
<i>Generativ vekst</i>	68
<i>Total biomasseproduksjon</i>	69
<i>Spesielt for vårforsøket</i>	69
6.5 Kjemiske analyser	70
6.6 Innhold av total fenoler, monomere anthocyaniner, antioksidantaktivitet og C-vit.	70
6.7 Nutrient Film Technique (NFT) – Avling og kvalitet	73
6.8 Sammenligning av høst – og vårforsøk. Samspilleffekter	75
6.9 Konklusjon	76
7.0 Avsluttende kommentarer	78
Litteraturliste	78

Sammendrag

Vi har lang tradisjon for jordbærproduksjon her i landet. Jordbærforbruket øker, likevel er antall jordbærprodusenter halvert de siste ti årene. Det er hovedsakelig to ting som gjør det vanskelig å være jordbærprodusent i Norge i dag; Den økte importen er hovedårsaken, i tillegg er selvplukk erstattet med innleid arbeidskraft. Vellykkede produsenter i utlandet kombinerer ofte friland, tunnel og veksthusproduksjon. Vi må også tenke nytt.

I denne sammenheng har jeg arbeidet med å utrede en alternativ metode for veksthusproduksjon av jordbær. Erfaring fra helårsproduksjoner her i landet har lært oss at variable kostnader som arbeid og energi er de største økonomiske utfordringene. Som et ledd i energisparing er lysintensiteten redusert med tilnærmet 50 % fra tidligere anbefalinger. LED (light emitting diodes) er også introdusert i produksjonen. Fremtidens LED rammer kan redusere energiforbruket til belysning. Plantene er dyrket i NFT (nutrient film technique), et system som tillater høy plantetetthet, og har høyt avlingspotensial.

I tidsrommet september 2009 til april 2010 ble det utført to forsøk med jordbær i Senter for Klimaregulert Planteforskning ved UMB. Remonterende jordbær *Fragaria ananassa* Dutch. `Ria´ ble dyrket i tre ulike lysklimate; HPS ($100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), LED ($91\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) og MIX (HPS+LED) ($121\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Det ble foretatt kvantitative studier av vegetativ og generativ vekst, og kvalitetsanalyse av bærene (kjemiske egenskaper, fytokjemikalinnhold og antioksidantaktivitet).

Erfaringer fra høstforsøket viste at riktig gjødsel, og rensing av næringsløsning er avgjørende for å lykkes med en slik produksjon. Dette forsøket var et viktig ledd i utviklingen av produksjonsmetoden. Næringsløsningen ble derfor biologisk rensset i vårforsøket.

MIX gav best vekst og høyest avling i begge forsøkene. Tørrvekten av hele planten i MIX var 38 og 13,6 % høyere enn LED og HPS om høsten. HPS produserte bær med høyest sukker, syre og tørrstoffinnhold - lavest pH og mørkest farge. Total fenoler, monomere anthocyaniner og antioksidantaktivitet var også høyest i HPS. C-vitamin innholdet var imidlertid høyest i MIX.

Forskjellen i totaltørrvekt var enda tydeligere om våren; MIX hadde 101,7 og 86,3 % høyere tørrvekt enn LED og HPS. Rotveksten økte med henholdsvis 287, 257 og 86 % i MIX, LED

og HPS sammenlignet med høstforsøket. MIX avlet 655g/0,5m²/uke, etterfulgt av HPS 442 g/0,5m²/uke og LED 384 g/0,5m²/uke.

Om våren produserte HPS bærene med høyest sukker, syre, farge og tørrstoffinnhold. C-vitamin, total fenoler og antioksidantaktiviteten var også høyest i dette lysklimaet. Anthocyanininnholdet var høyest i MIX. Det var kun små forskjeller i kvalitet mellom MIX og HPS, LED lå noe lavere. Verdien for alle kvalitetsparametrene økte om våren.

Lyskvaliteten påvirker både vekt – og kvalitet hos jordbær. Mørkerødt lys fra HPS lampene virket positivt på blomstring, og bidro samtidig til en fordelaktig morfologi som bedret lystilgangen i bærsjiktet. Det var god vekst også under LED, men den vertikale spredningen av lyset gav dårlige lysforhold rundt bærene, og bladene viste tegn til opphoping av assimilater. Kombinasjonsbelysning (MIX) gav det beste resultatet. Kvaliteten ble sterkt påvirket av sesong.

Abstract

There is a long tradition for strawberryproduction in this country. The consumption of strawberries is increasing, still the number of producers have decreased with nearly 50 % during the last teten years. The main reason is a large increase in import, additionally "harvest yourself" has been replaces with hired labour. Successfull producers abroad often combine outdoor, tunnel and greenhouseproduction. We also have to think new.

In relation to this, I've been working on developing an alternative method for producing greenhouse strawberries. Experience from previous year-round productions in Norway have taught us that the variable cost of energy and labour are he biggest economical challenges. To reduce energycosts lightintensity was reduced by 50 % from privious recommendations. LED (light emmiting diodes) were also introduced in the production. In the future the LED itself can help reduce energycost. Plants were grown in NFT (nutrient film technique), a system allowing high plantdensity, with high yieldpotential.

From september 2009 to April 2010 to trials were carried out at the Center for Climatederegulated Plantresearch, SKP at UMB. Everbearing strawberry jordbær *Fragaria ananassa* Dutch. `Ria´ was grown in three different lightclimates: HPS (100µmol m⁻² s⁻¹), LED (91µmol m⁻² s⁻¹) og MIX (HPS+LED)(121µmol m⁻² s⁻¹). We conducted quantitative studies of vegetative and generative growth, and quality analysis of fruits (Chemical properties and phytochemical content).

The autumn trial taught us that using the correct fertilizer, and cleaning the nutrient solution is critical for succeeding with this type of production. Therefore, the nutrient solution was cleaned during the spring trial.

MIX resulted in the highest growth and yield values in both trials. The total dryweight in MIX were 38, 13,5 % higher than LED and HPS in autumn. HPS produced fruits of highest sugar, acid and drymatter – the lowest pH, and the darkest color. Total phenols, monomeric anthocyanins and antioxidant activity was also higher in HPS. Vitamin-C, however was higher in MIX.

The difference in dryweight was even more obvious during spring; MIX had 101,7 and 86,3% higher dryweight compared with LED and HPS. Root growth increased during spring; 287, 257 and 86 % in MIX, LED and HPS respectively. MIX yield was superior with 655g/0,5m²/week, followed by HPS; 442g/0,5m²/week and LED 384g/0,5m²/week.

During spring HPS produced fruits of higher sugar, acid, color and drymatter. Vitamin-C, total phenolics and antioxidant activity were also higher in this treatment. Anthocyanin content were higher in MIX. The difference in quality between MIX and HPS was minimal, but LED produced lower fruit quality.

Light quality affected both growth and quality of strawberry. Far-red light from HPS lamps had a positive effect on flowering, and also contributed to a favourable morphology resulting in more light on fruits. Plants grew well under LED's, but the vertical light scattering resulted in reduced light level around fruits, and leaves showed signs of assimilate accumulation. MIX treatment gave the overall best result. Quality was strongly influenced by season.

1.0 Innledning

I det siste tiåret har det vært en klar økning i konsum av frukt og bær i Norge (Oppllysningskontoret for frukt & grønt, totaloversikt 2009).

Det økte forbruket opprettholdes med økt import, men også til dels ved økt produksjon av varer til friskkonsum i kontrollert klima her i landet. Belgiske jordbær og utenlandske tomater er for lengst blitt allemannseie. Kvaliteten på importertvarene er ofte noe lavere enn for de norskproduserte varer. En av hovedgrunnene til dette er at nærheten til markedet er borte. Kvaliteten reduseres under transport og lagring, og mange produkter høstes alt for tidlig for å møte grossisters krav til holdbarhet. Fra et miljøperspektiv bør vi spise frukt og grønt etter sesong. Dette er ikke vanlig praksis hos flertallet av oss. Den allmenne nordmann er i dag til stor grad avhengig av importvarer i vinterhalvåret. Produsentene her i landet klarer ikke å konkurrere med pris nivået på importvarene utenom sesong, da tollene på import fjernes. Da detaljistene forsvant, og de store matvarekjedene inntok landet, økte tilgjengeligheten og bredden i varemarkedet, men det var ikke nødvendigvis med på å bedre kvaliteten til produktene. I 2008 var forbruket av Norske jordbær 41 % av totalforbruket av jordbær, mens det i 2009 var redusert med 3 %. Til sammenligning var forbruket av norske jordbær 60 % av totalforbruket i 2001. Den gjennomsnittlige økningen i forbruk av jordbær per år fra 1999-2009 var 7,84 %, og fra 2008-2009 var økningen på 20,93 % (Oppllysningskontoret for frukt & grønt, totaloversikt 2009). Forbruket øker, men etterspørselen tilfredstilles altså først og fremst med økt import. Fra et kvalitets perspektiv er dette et problem. Mye av foredlingsarbeidet som foregår i dag har fokusert på avling, holdbarhet og resistens mot ulike skadegjørere (Shaw et al., 2010). En konsekvens av dette er at mye av matplantene som produseres har redusert næringsverdi, og lite smak (Pritts, 2000). Norske myndigheter, og oppllysningskontoret for frukt og grønt anbefaler nordmenn å spise mer frukt og grønt. Dette gjøres primært for å bedre helsen i befolkningen. Med et slikt overordnet mål, bør også forbruker informeres mer aktivt om betydningen av kvaliteten på varene de spiser. Flertallet av norske forbrukere vet fortsatt for lite om hvordan maten de spiser produseres og hva den inneholder. Faktum er at vi her i Norge har gode forutsetninger for å produsere matvarer av høy kvalitet. Vi har god tilgang på fornybar energi i form av vannkraft, mens det i Holland fortsatt primært produseres strøm og varme ved forbrenning av naturgass (CHP; Combined heat and power).

Ved å produsere en større andel frukt og grønt lokalt utenom sesong kan vi møte det økte forbruket, og samtidig redusere negativ miljøpåvirkning fra fossilt brensel til produksjon og transport i utlandet. Det er likevel ikke lett å være helårs produsent av matplanter i Norge. Det er tre hovedgrunner til dette: Prisen på energi og arbeid, og tollfritaket på importvarer om vinteren. I tillegg er det kun et fåtall av norske helårs produsenter sammenlignet med konkurrentene lengre syd, noe som gir dem lite slagkraft i markedet. Det kan gjøres enkle grep for å bedre dette i form av opplysning og tilrettelegging gjennom matvare politikken. Likevel vil ny teknologi sannsynligvis bli et viktigere virkemiddel for norske produsenter for å øke andelen norsk produserte matvarer utenom sesong.

I Norge har vi lange og stolte tradisjoner knyttet til vår jordbærproduksjon. Det er viktig å opprettholde disse, men det ligger også et stort økonomisk potensial i nytenkning, hovedsakelig gjennom utvidelse av sesongen. Ved universitetet for miljø og biovitenskap i Ås, Akershus arbeides det med miljøvennlig utvikling av veksthusnæringen i Norge. En del av dette arbeidet konsentreres rundt bruken av nye lyskilder til planteproduksjon. Intensjonen med den oppgaven var å studere virkningen av tre ulike lysklime (HPS, LED og HPS+LED) på vekst og kvalitet hos *Fragaria ananassa* Dutch. 'Ria'.

2.0 Tilleggslys i veksthus

Lys har egenskaper som partikler, eller fotoner. Når vi snakker om lys i relasjon til planteproduksjon uttrykkes det gjerne som $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, og beskriver mengden av fotoner som "regner" over et areal per tidsenhet. Lyset kan også beskrives som energi per arealenhet, og uttrykkes som W m^{-2} . Tilleggsbelysningen vi bruker i veksthus har vanligvis et bredt spekter. Den vanligste av disse er høytrykks natrium lampen (HPS). Denne tilfører planten en rekke essensielle bølgelengder i det synlige spekteret (Fig.1), men produserer også uproduktive bølgelengder som ikke nyttes i fotosyntesen. Inntoget av LED - light emitting diodes på det kommersielle markedet har åpnet en ny verden for forskere og produsenter verden over. Tidligere har det ikke vært mulig å produsere "rene farger" – lys av enkeltbølgelengder. I praksis betyr det at vi nå har fått nok et redskap i reguleringen av planters vekst og utvikling – både gjennom lyset i seg selv, og dets påvirkning på andre klimafaktorer som temperatur, CO_2 konsentrasjon og luftfuktighet. Planters responser på lys varierer enormt både innen, og mellom arter. Arbeidet med å kartlegge disse responsene er

tidkrevende, og det har foreløpig ikke skjedd noen revolusjon innen veksthusbelysning som følge av LED.

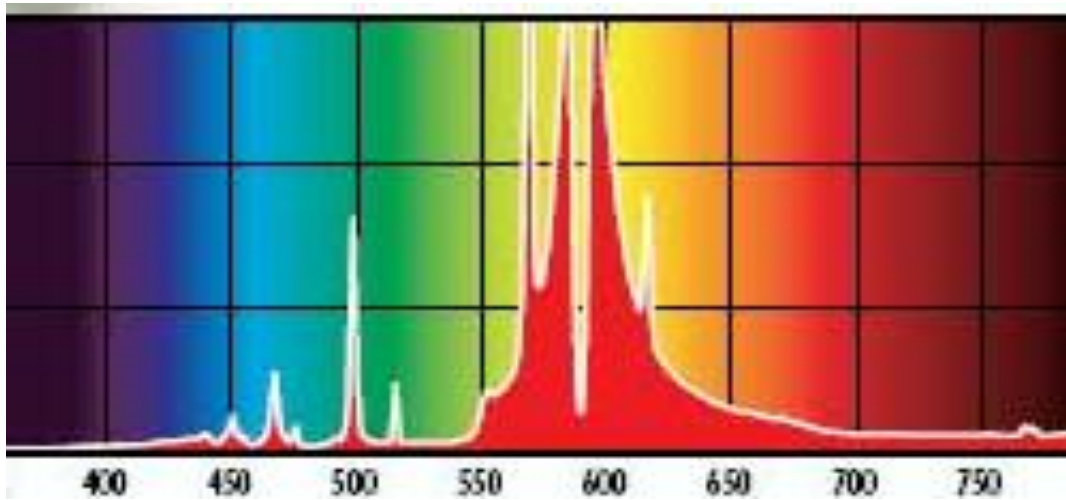


Fig.1: Spektralfordeling til Lucalox™ PSL 400W(HPS).

2.1 LED

Historikk og virkningsmekanismer

LED ble først oppdaget i Russland av Oleg Vladimirovich Losev gjennom hans jobb som radiotekniker der han ved en tilfeldighet oppdaget at dioder brukt i radiomottakere sendte ut lys når strøm passerte gjennom dem. I 1927 publiserte han detaljer om sine observasjoner i en russisk journal. Senere, i 1962 ble LED introdusert i USA som en praktisk elektronisk komponent av Nick Holonyak Jr, som ansees som oppfinneren av moderne LED. LED er basert på såkalt halvledende dioder. I elektronikk beskrives en diode som en to-terminal enhet. Dioder har to aktive elektroder, katode og anode, og mellom dem flyter strømmen kun i en retning.

Når en diode skrur på re kombinerer elektroner med såkalte "hull" og energi frigjøres i form av lys (Fig.4). Et hull er det motsatte av et elektron, og beskriver mangelen på et elektron der det kunne eksistert i et atom. Kationer er atomer med hull. Når et elektron når et hull, faller det til et lavere energinivå, og energi frigis i form av et foton. Denne prosessen kalles elektroluminescens.

Fargen på lyset avhenger av hvilke grunnstoffer dioden inneholder, og deres blandingsforhold, samt forskjellen i volt mellom toppen av valensbåndet, og bunnen av konduktans båndet (Fig.2). (www.snl.no/led)(www.wikipedia.org/led)

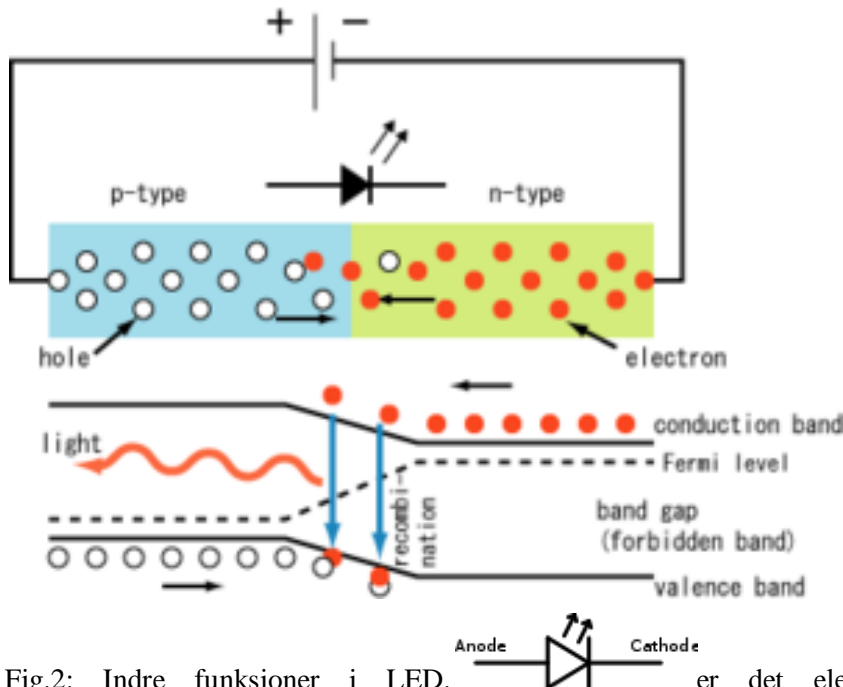



Fig.2: Indre funksjoner i LED.  er det elektriske symbolet for LED (www.wikipedia.org/led).

2.1.1 Forskning og utvikling

Det første arbeidet med LED som lyskilde til planter startet i midten av 1980-årene med utviklingen av et lyssystem egnet for planteforskning og produksjon på romferger og romstasjoner i regi av NASA. Kennedy Space Center (KSC), og deres forskergruppe undersøkte i den forbindelse en rekke fysiologiske responser hos ulike matplanter (Brown et al., 1995; Goins et al., 1997). Dette var lenge drivkraften i forskningen rundt LED.

I samme tidsrom startet forsøk med frø spiring og roting av stiklinger i Nederland (Nijssen et al., 1990), og belysning av vevskultur i Japan (Miyashita et al., 1995). På den tiden var det kun røde(660nm) enheter som hadde tilstrekkelig lysutbytte for plantevekst, og rammene var dårlig egnet for storskala bruk som følge av høye kostnader, ujevn ytelse og fabrikkasjons problemer.

Etter hvert kom LED chipteknologien som tillot fabrikanter å produsere LED moduler med høy diode tetthet, og flere farger (Emmerich et al., 2004). Teknologien er fortsatt dyr, men

etter hvert som markedet vokser og automatisert produksjon etableres, vil sannsynligvis tilgjengeligheten øke, og prisene reduseres. Historisk og prosjektert utvikling av LED ytelse og engros pris er fordelaktige, og hvert tiår faller LED priser med en faktor på ti samtidig som ytelse vokser med en faktor på 20. Dette fenomenet omtales som Haitz' lov (Steigerwald et al., 2002). Da lysutbytte bedret seg for flere bølgelengder, ble det mer og mer vanlig med LED i fotobiologisk forskning - blant annet innen klorofyllsyntese (Tripathy and Brown 1995) og fotosyntese (Tenessen et al., 1994). Etter lampene ble kommersielt tilgjengelige har interessen økt, og arbeidet med å utvikle belysningsstrategier til pryd- og matplanter er i gang (Yorio et al., 2001; Heo et al., 2004).

2.1.2 Levetid og effektivitetsgrad

Levetiden til LED er lang sammenlignet med høytrykk natriums lamper (HPS), og diodene vedlikeholder tilnærmet 70 % av ytelsen etter 50.000 timer. Sannsynligvis vil reduksjonen i ytelse være betraktelig mindre ved tilfredsstillende kjøling (Phillips Lumileds, 2006; 2007). Mange fabrikanter produserer vanntette drivere som tåler industri rengjøring. Renhold er arbeidskrevende, men viktig for optimalt lysutbytte. Mye av forventningene til LED lå i deres effektivitetsgrad. Effektivitetsgrad defineres etter hvor mye av strømmen lyskilden omdanner til lys. SI enheten for dette kalles luminæreffektivitet, og beskrives med lumen/watt. Lumen referer til lysets styrke slik det oppfattes av det menneskelige øyet. For HPS ligger effektivitetsgraden rundt 30 %. For LED varierer den med bølgelengde. Generelt kan vi si at rødt lys har høyest effektivitetsgrad (± 20 %), deretter blått, men siden teknologien er relativt ny, bedrer dette seg hele tiden. Effektivitetsgraden til de beste første generasjons LED var ca 120 lumen/watt, men andre generasjons LED vil være tilgjengelig på markedet i løpet av året, og allerede nå er effektivitetsgraden doblet til 240 lumen/watt (personlig kommunikasjon, Tom Düeck, Wageningen WUR). Til sammenligning har HPS en effektivitetsgrad på 146 lumen/watt. Flertallet av kommersielle LED fabrikater har lavere effektivitetsgrad enn de nevnt ovenfor.

2.1.3 Bruksområder

Det er mange potensielle fordeler knyttet til LED sammenlignet med andre lyskilder, og LED belysning omtales derfor som et av de største fremskrittende i veksthusbelysning på mange

tiår (R. C. Morrow et al., 2008). Pris, effektivitetsgrad og usikkerhet rundt planteresponser begrenser bruken av LED, og HPS er fortsatt den best egnede tilleggskilden på markedet. Med tiden forventes det likevel at dioder vil få mange roller i hagebruket.

Unike egenskaper som skiller LED fra andre lyskilder er evnen til å produsere høyt lysutbytte med lav strålings varme, og muligheten til å skreddersy spektra for optimalisering av fotosyntese og morfologiske responser ved å samsvare lysets bølgelengder med planters fotoreseptorer, og dermed oppnå maksimalproduksjon uten tap av energi gjennom uproduktive bølgelengder (Sager et al., 1982; Dougher and Bugbee et al., 2001). I høytvoksende kulturer som agurk og tomat er det ofte underskudd på lys i midten av kulturen, samtidig som det er trangt om plass. I slike situasjoner kan LED være en gunstig kilde til mellombelysning siden fraværet av infrarødstråling (IR) tillater kortere avstand mellom lyskildene og plantene sammenlignet med HPS. Tilsvarende gjelder for belysning av vevskultur der plantene ofte produseres på horisontale hyller, i flere rader. Selektivering av bølgelengder kan bedre vekstforholdene og begrense patogenutvikling slik at produktiviteten øker. Som kombinasjonsbelysning i veksthus sørger det kalde lyset for bedre CO₂ kontroll i varme perioder. For de fleste planteslag vi dyrker i veksthus kan vi regne med at optimalt CO₂ forbruk reduserer lysbehovet med ca.30 % (Gislerød og Bevre 1999). Diodene produserer fortsatt varme, og må kjøles effektivt for maksimalt lysutbytte. Denne varmen kan samles opp, blant annet med vann, og nyttes andre steder. LED integreres også enkelt i digitale kontrollsystem, og disse systemene kan tilrettelegges for spesialiserte belysningsprogram: Daglig lys integral, samt soloppgang og solnedgang simuleringer. Mer komplekse simuleringer er også mulig, både gjennom dagen, og gjennom året. Gjennom slike simuleringer kan man nytte kunnskapen om planters fotomorfo-genetiske responser i praktisk produksjon.

2.2 LED – Lyskvalitet

-effektivitet og betydning i fotosyntesen

En av hovedutfordringene med å designe lyssystemer basert på dioder er å fastslå hvilke bølgelengder som er essensielle i spesifikke kulturer, i det forholdet mellom ulike bølgelengder har dramatisk effekt på anatomi, morfologi, næringsopptak og patogen utvikling (Massa et al., 2008). Betydningen av lyskvalitet for fotosynteseraten til jordbær i lukkede økosystem er tidligere undersøkt (Yanagi et al., 1996). Fotosyntese og transpirasjonsraten til jordbærblad under konstant rødt ($160\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) med fire ulike fotonfluens rater av blått

(60, 40, 17 og 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), og under konstant blått (60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) med fire ulike fotonfluens rater rødt (130, 80, 30 og 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ble studert ved hjelp av portabel fotosyntese og transpirasjonsmåler (Li-cor LI-6400). Den høyeste fotosyntesen ble oppnådd med en kombinasjon av 160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ rødt, og 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ blått (37 % blått). På basis av dette kalkulerte de fotosynteseeffektiviteten (netto PS rate/PPF) for rødt og blått lys. Den gjennomsnittlige effektiviteten for rødt var 0,0395 $\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol foton}$ - 2,5 ganger høyere kvanteeffektivitet, sammenlignet med blått lys. Transpirasjonsraten under konstant rødt økte med økende andel blått lys, mens den under konstant blått forble uforandret.

I ris er det observert høyere fotosynteserate i planter kultivert under rød+blå LED, sammenlignet med kun rød LED (Matsuda et al., 2004). Forfatterne forklarer dette med økt andel nitrogen (ammino/protein) i planter produsert under både rødt- og blått lys. Kombinasjonen av 70 % rødt og 30 % blått gav den mest tilfredsstillende veksten hos småplanter av jordbær, *Fragaria ananassa* Dutch. *in vitro* (Duong et al., 2003) Både rødt og blått lys er essensielt for planters vekst og utvikling, men det optimale forholdet varierer mellom arter. Det finnes to teoretiske forklaringer på at rødt (660nm) er den mest effektive bølglengden i fotosyntesen; McCree kurven (Fig.3), indikerer at rødt lys absorberes mest effektivt av plante pigmenter, nær absorpsjons maksimum til klorofyll.

I tillegg lukker rødt lys(640-680nm) reaksjons senterene til PS2(fotosystem 2), som har absorpsjons maksimum ved 680nm, metter fytokrom og danner på den måten en høy fotostasjonær Pfr tilstand (Φ) (Massa et al., 2008).

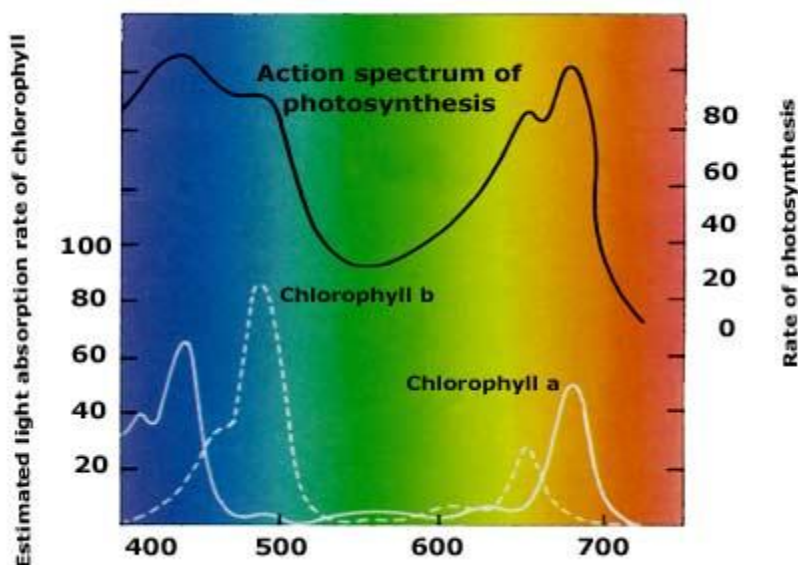


Fig.3: Aksjonsspektrum for fotosyntese og relativ lysabsorbans av klorofyll a og b (www.harunyahya.com).

Blått lys påvirker stomata konduktans, kloroplastorientering og fototropisme (Taitz and Zeiger, 2006), med indirekte påvirkning på viktige prosesser som transpirasjon, CO₂ fiksering, morfologi og lysorientert vekst. Inkorporeringen av karbonprodukter fra fotosyntesen i jordbær (*Fragaria gradiflora* Dutch 'Talisman') varierer med lyskvalitet. I rødt lys inkorporeres karbon hovedsakelig som sukrose (85 %) og aminosyren alanine, mens blått lys inkorporerer mindre karbon i sukrose (65 %) og mer i glutamin syre og glysin (Rataj-Guranowska et al., 1971). Også andre forfattere har rapportert at rødt lys stimulerer biosyntese av karbohydrater, mens blått lys stimulerer biosyntese av proteiner og aminosyrer (Hauschild et al., 1962; Voskresenskaya 1965). Diskusjon rundt lysets betydning for vekst relateres ofte til fotosyntese. Ved utvikling og utforming av kunstige belysningssystem basert på lyskilder med smalt spekter er det viktig å vurdere lyset som en mulig kilde til regulering av planters vekst og metabolisme (Folta and Childers, 2008). Optimalisering av ulike vekst og utviklingsresponser på basis av fysiologisk kunnskap om planters lysreseptorer er et nyttig, og flittig brukt verktøy i praktisk plante produksjon. Likevel har den siste tids nyvinninger innen belysning banet vei for en rekke muligheter, der man mer aktivt kan påvirke planters vekst - og utviklings mønster gjennom variasjoner i lyskvalitet og fotonfluens rate.

2.2.1 Manipulering av fotoreseptorer

Fytokromsystemet er et perfekt mål for manipulering av planteresponser med lys.

De motsettende effektene av rødt – og mørkerødt lys, og deres påvirkning på morfologi, gen ekspresjon og utvikling gjør fytokromene sentrale i utviklingen av belysningsprogram for regulering av planters vekst og utvikling.

Fytokrom består av to former, en aktiv og en inaktiv. Pfr ansees som den aktive formen av fytokrom (Smith and Whitelam, 1990), og absorberer mørkerødt lys, mens Pr er den inaktive formen som absorberer rødt lys. Når Pr absorberer lys ($\lambda_{\max} = 660 \text{ nm}$), gjennomgår det en konformasjonsendring til Pfr, og når Pfr absorberer lys gjennomgår det en konformasjonsendring til Pr (Stutte 2009). Mellom Pfr og Pr er det en signifikant overlapping i absorpsjons spekteret (Fig.4) som indikerer at begge formene til en hver tid er tilstedet i planter. Det er den relative andelen av aktivt fytokrom (Pfr) til total fytokrom (P_{tot}) som omtales som fytokromets fotostasjonære tilstand (Φ), og det er dette forholdet som regulerer

en gitt fotomorfo-genetisk respons (Stutte 2009). Fytokromene absorberer også i blåttlys og UV-A - med andre ord kan også disse bølgelengdene stimulere fytokrom responser.

Siden absorpsjonsspekteret for begge fytokromformene er kjent, kan Φ estimeres forutsatt at lyskildens spektralfordeling er kjent (Sager and McFarlane, 1997).

Ved å bruke informasjon om både fotostasjonær tilstand og relativ kvanteeffektivitet (RQE)(McCree 1972) til ulike bølgelengder, kan man skreddersy spektra for optimale fotosyntetiske og fotomorfo-genetiske responser (Stutte 2009). Videre viste Strutte at både blomstring, og vedlikehold av vegetativ krone i kortdagsplanter av jordbær er delvis regulert av fytokromsystemet. Dette innebærer at man gjennom manipulerings av lysklima, og derunder fytokromets fotostasjonære tilstand (Φ) kan regulere plantens utviklingsmønster ved bruk av monokromalt lys (LED).

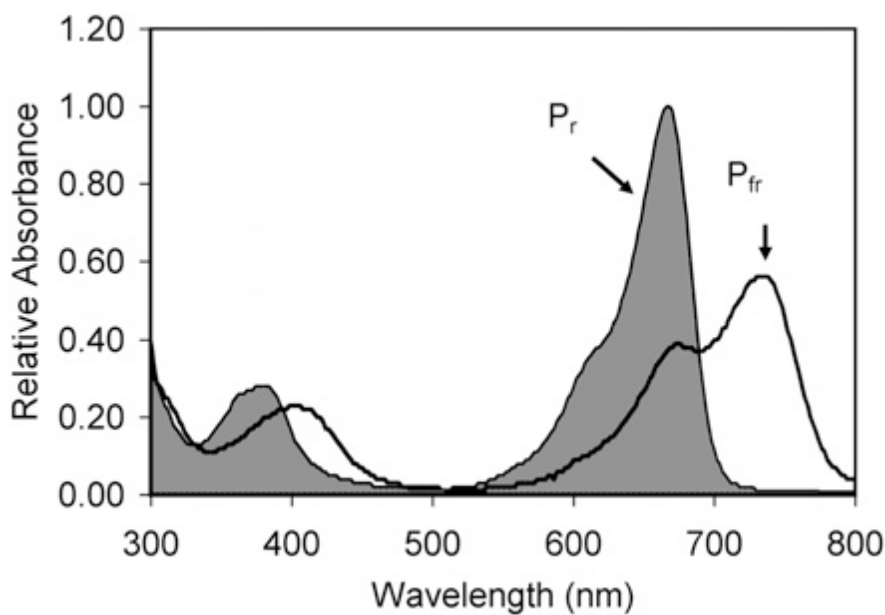


Fig.4: Absorpsjonsspektrum for fytokrom.(Sager 1988)

Kryptokromer er blåttlys – og UV-A reseptorer i planter. Disse er aktivt involvert i gen uttrykk som regulerer morfologi responser og overgangen fra vegetativ til generativ vekst. Kryptokrom (*cry*) responser kan også være reversible, og grønt lys kan oppheve effekten av blått lys (Folta and Mahrunich, 2007).

Andre fotoreseptorer som fototropin og LOV domener lar seg også manipulere av lyskvalitet, og er på lik linje med *phy* og *cry* egnede mål for regulering av fysiologiske responser ved hjelp av lys. Slik regulering reflekterer lysets påvirkning på plantens endogene hormonstatus.

Hormoner er viktige signalstoffer i planters metabolisme. Disse signalstoffene påvirker blant annet gen uttrykk og morfologiresponser (Folta 2008), og er studert i detalj av flere forskere (Simpson, 2004, Puterill et al., 2004) for *Arabidosis thaliana*. Særlig er overgangen fra vegetativ til generativ fase grundig undersøkt. Senere tids resultater konkluderer blant annet med at skjebnen til meristematisk vev er sterkt påvirket av lyskvalitet, og at blant annet blått og mørkerødt lys megler overgangen til blomstring gjennom *phyA* og *cry2*, mens rødt lys virker antagonistisk mot disse (Valverde et al., 2004). LED har gitt oss unike muligheter til å bruke kunnskapen vi har om lysets kvalitative og kvantitative egenskaper, slik at vi kan optimalisere planters vekst- og utviklingsresponser, og på den måten produsere bedre planteprodukter på en mer effektiv måte.

2.2.2 LED – lyskvalitet. Vekst – og blomstringsregulering

Planters respons på ulike lysklima har fasinert forskere i en årrekke, og lyskvalitet er et anerkjent verktøy som regulator i vekst og utvikling. Det er likevel først nå, etter introduksjonen LED i hagebruk, at det er mulig å nytte seg av slik kunnskap i praktisk produksjon.

Ved å fjerne all variasjon i klima, kan man gjennom gitte lysbehandlinger etablere et forhold til planters genetiske - og utviklings kontekst, og på den måten generere et utviklings - og metabolismemønster som kun reguleres av lys (Folta and Childers 2008). Kan lysabsorberende pigment aktiveres på en slik måte at det tillater produsenten og kontrollere utviklingen med høy grad av forutsigbarhet? Forfatterne ønsket å teste denne hypotesen på den flerårige stauden *Fragaria vesca*. Skuddmeristemets evne til å danne ulike organer (blad, utløpere og blomsterstand) gjorde markjordbær til en egnet modellplante. Målet var å oppnå raskere og sterkere responser hos plantene – for eksempel under blomstring og fruktmodning – gjennom statiske produksjonsforhold, der variasjoner kun fant sted i lysbildet.

Studiet undersøkte veksten i ulike planteorgan under fire lysbehandlinger; 100 % blått, 66 % blått og 34 % rødt, 34 % blått og 66 % rødt, og 100 % rødt. Plantene under rødt lys, supplert med blått viste sterkest vegetativ vekst, og var den første behandlingen i blomst. Det blå lyset hemmet strekningen i bladstilkene drastisk, i tillegg unnlot plantene å produsere utløpere under disse forholdene, og forble vegetative. Det betyr at man i dette tilfellet kunne kontrollere den vegetative fasen med blått lys, for så og kontrollere overgangen til generativ fase ved supplerings av rødt lys. En slik praksis vil være svært nyttig i synkronisering av

blomstring og fruktsetting. I kontrast var plantene fra den røde behandlingen høye, utløpende og blomstrende. Kombinasjonen av 66 % rødt og 34 % blått gav best biomasseproduksjon i både topp og rot (Folta and Childers, 2009).

I forskningssammenheng og hos småplanteprodusenter kan man dra positiv nytte av det blå lyset; flere planter per arealenhet, ingen fjerning av utløpere – reduserer arbeid, samt ivaretagelse av vegetativ fase, som er viktig blant annet for remonterende jordbær.

Det er tidligere vist at lyskvalitet er avgjørende for blomstringsresponsen til *Fragaria chiloensis*, strandjordbær ved kontinuerlig belysning (24t) (Yanagi et al., 2006). Plantene ble produsert under naturlige lysforhold, men supplert med enten blått (15 % blomst), rødt (0 % blomst) eller ulike bølgelengder med mørkerødt. Blomstringsresponsen var best ved 735nm – altså fremstår blomsterinduksjon i *Fragaria chiloensis* ved kontinuerlig belysning som en fytokrom regulert prosess.

2.3 Jordbærproduksjon i veksthus

Verdens veksthus areal ble i 1995 estimert til 40700ha (Witter og Castilla 1995), og av disse var tilnærmet 24000ha grønnsaksproduksjon (Jensen 1999). Dette inkluderer ikke plast tunneler, som dekker et areal mer enn ti ganger større enn det totale veksthusarealet. Av matplanter er det hovedsakelig tomat, agurk og søt paprika som produseres i veksthus, men i Nederland og Belgia representerer veksthusdyrkede jordbær nå 15 % (3000ha) av den totale jordbærproduksjonen (Takeda 1999).

I Japan (8000ha) og Korea (7500ha) produseres 90 % av alle jordbær i oppvarmede plasttunneler (Kang og Oh, 1996). Både i Japan og Kina arbeides det kontinuerlig med nye produksjonsmetoder, og andre tekniske aspekter, blant annet maskinelle høstemetoder (Takenaga 1998). I Europa er Belgia og Nederland de største aktørene i jordbærindustrien, og arbeidet med utvidet jordbær sesong i veksthus startet her allerede i årene etter krigen (Lieten 1993).

I litteraturen finnes det lite informasjon om bruken av LED i produksjon av jordbær, men i 2010 startet Prudue university, USA et prosjekt under ledelse av Giola Massa og Cary Michell, der hovedmålet er å produsere jordbær med minimal input av energi og ressurser. Bærene belyses med LED, og dyrkes i vannkultur. Arbeidet er finansiert av NASA, og skal utrede jordbær som et potensielt supplement i dietten til astronauter på romstasjoner.

2.3.1 Utvikling av produksjonssystemer i Europa

Selv om masseproduksjon av matplanter i vannkultur er et produkt av de fire siste tiår, er det langt ifra et nytt konsept, og har faktisk eksistert i flere millennia.

Det finnes bevis for at planter ble dyrket i en jevn strøm av vann i et av de syv underverkene i den gamle verden, de hengende hager av Babylon (Jones 1997, Stanley 1998).

Det aller første vertikale luft/vann(aerohydro) systemet ble utviklet av Italieneren Tropea i 1969(Lieten 1993). I dette systemet var avlingen svært god, men kvaliteten varierte for mye som følge av plantenes plassering i de vertikale søylene (Van Looy og Aerts 1976, 1982). Ideén NFT (Nutrient film technique) oppstod tidlig på 1970 tallet, og ble videre utviklet av Cooper (1975). I stedet for å bruke dype renner eller ”ebb-flow”, ble plantene dyrket i en tynn ”film” av vann og næring i kontinuerlig bevegelse. Dette sikret et mer effektivt vannforbruk, og god oksygen tilførsel til røttene. Enkelheten bak ideen gjorde det mulig for produsenter å installere slike systemer uten de høye kostnadene forbundet med tradisjonell vannkultur produksjon (Burrage 1999). Det var likevel en rekke problemer knyttet til denne kulturpraksisen i starten. Ujevn modning, misdannelser, og råte var vanlig, og gjorde systemet uegnet i praktisk produksjon. I tillegg var høsteforholdene svært upraktiske. Etter hvert ble det utviklet bevegelige NFT systemer, som kunne heves og senkes. Disse produksjonssystemer ble mer vanlige (Van Looy og Aerts 1982) og løste samtidig de fleste problemene nevnt ovenfor.

Utover 1980 tallet ble det gjort flere forsøk med ulike, inaktive vekst medium i rennene - uten spesielt hell. Hverken steinull, polyurethan eller polyfenol gav tilfredsstillende resultater, og resulterte kun i økte kostnader og mer arbeid (Van Looy og Aerts, 1985). I samme tidsrom startet flere produsenter i Belgia og Nederland med produksjon i bøtter fylt med 5-6l torv kombinert med dryppvanning (De Bruijn og Nuyten, 1985), og mot slutten av 1980 tallet startet produksjon i torvposer, støttet av renner, som ble hengt i veksthusene (Hooijmanns 1987). Denne metoden var i bruk hos ca 250 produsenter i Belgia og Nederland tidlig på 1990 tallet. Kulturpraksisen varierte noe, men felles for disse var tre nyplantinger, og tre avlinger i året. Avlingene varierte mellom 2 og 5kg m⁻² per nyplanting (Lieten 1993). I de fleste av disse produksjonssystemene ble bier brukt som pollinatorer.

2.3.2 Produksjon av jordbær i Belgia og Nederland (Lieten 1993).

Jordbærprodusenter i Belgia og Nederland er ofte store familie konsern som kombinerer ulike produksjonsmetoder for å opprettholde produksjonen året gjennom.

Arealene varierer fra 2-5ha, fordelt på friland, tunneller (5000m²) og veksthus (2000-3000m²). Hovedsorten i disse landene er 'Elsanta', som er kjent som en svært tilpassningsdyktig sort. Bærene i veksthus og plasttunneller dyrkes hovedsakelig i opphøyde renner eller bøtter med torv. Denne produksjonsteknikken reduserer faren for angrep av jordboende patogen, sikrer jevn modning og gjør innhøstingen rask og enkel. Det er vanlig med enkle motoriserte kjøretøy i innhøstingen. I helårs produksjon i veksthus blir tre produksjonsmetoder nyttet i praksis. For at dette skal fungere må tilgangen på plantematerialet være god gjennom hele sesongen. Vanligvis brukes kuldelaide, blomsterinduserte "waiting-bed" (WB) planter, men utløpere og pluggplanter brukes også. WB produseres fra enkeltkrone utløpere til junibærende sorter (kortdagssorter) som plantes på friland. Utløpere og blomsterstander fjernes kontinuerlig for å fremme dannelsen av flerkronede planter. Når plantene er indusert (i hvile) løftes de opp, og flyttes til kuldeler (-1°C) (Kempler, 2002).

I den første produksjonsmetoden plantes 'Primella' eller 'Karola' i slutten av desember. Bær produksjonen starter i midten av mars og ender i midten av mai. Plantene trekkes ut av torva som deretter skylles grundig med rent vann. Påfølgende plantes 'Elsanta', som høstes fra midten av juli til midten av august. Plantene trekkes opp på ny, torva skylles, og en ny runde med 'Elsanta' plantes. Fra slutten av oktober til midten av desember høstes den tredje planting. Torva brukes i et år om gangen før den spres på friland som jordforbedring eller benyttes i asparges produksjon.

Den andre produksjonsmetoden bruker utløpere (A+) eller små WB av 'Elsanta' som drives frem. Innhøsting forgår fra starten av april til midten av mai, etterfulgt av to 'Elsanta' nyplantinger. Enkelte ganger legges plantene ut etter andre høsting, før de plasseres på kjølelager etter induksjon. Påfølgende mai plasseres disse i veksthus for en ny avling.

Denne metoden er lite brukt som følge av arbeid – og lagringskostnader.

Den tredje metoden bruker også utløpere (A+) eller små WB med 'Elsanta'. Disse plantes tidlig i august og gir avling fra midten av oktober til tidlig januar. Plantene overvintres i

veksthuset, for så å produsere en ny avling om våren. I denne produksjonsmetoden er det vanlig å gi langdags behandling i januar og februar ($10W\ m^{-2}$) for å sikre god produksjon om våren. Høstingen starter i april og varer til starten av juni. Enkelte ganger kan 'Elsanta' spontan blomstre i juni og gi en ny, mindre avling i juli. Det likevel mest vanlig med en tredje nyplanting i juni, med påfølgende avling i august.

2.3.3 Forlengning av sesong, og helårs produksjon på nordlige breddegrader

På 1960 tallet startet de første drivingsforsøkene her til lands (Vik 1962). Utover 60 – og 70 tallet forgikk dyrkingen av jordbær i enkle plasthus, drivebenker og under solfangere. Slike produksjoner hadde som mål å produsere modne bær før frilandssesongen startet.

Forsøk med tilleggsbelysning startet først tidlig på 1990 tallet. Produksjon av jordbær i veksthus ble utredet i Norge av Verheul og Grimstad, (1999). Kuldelagrede planter (WB) av *Fragaria ananassa* 'Korona' ble plantet i poser av torv ($30*40cm$), med en plantetetthet på 60 planter m^{-2} . Temperaturen ble deretter gradvis økt ($1^{\circ}C$) hver uke fra $12^{\circ}C/8^{\circ}C$ (DT/NT) til $18^{\circ}C/12^{\circ}C$. Ved start av blomstring ble plantene overført til produksjonssted, og plantet i renner med torv. I denne undersøkelsen oppnådde man en avling fra 2,4-4,4kg m^{-2} per 15 ukers høsting, med en plantetetthet på 14 planter m^{-2} , PPF (photosynthetic photon flux) på $180\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ (HPS), daglengde (DL) på 18t, og et ledetall på $2,0\ mS\ cm^{-1}$. Denne kulturen var arbeidskrevende, og krevde flere nyplantinger per år. Til gjengjeld sikret nyplantingene god plantekvalitet, og fjernet behovet for kjemisk plantebeskyttelse. Timing av høsting opp mot høytider som jul, påske og 17. mai sikret gode priser. Den ytre kvaliteten på bærene var tilfredsstillende (størrelse, farge, fasthet og form), og de indre kvalitetsparametere (oppløst tørrstoff, syre, C-vitamin) samsvarte med frilandsproduserte jordbær. De samme forfatterne undersøkte også betydningen av plantekvalitet og plantetetthet på avling, og konkluderte med at høyest avling ble oppnådd ved å øke antallet blomsterstander per torvsekk (14planter), og samtidig opprettholde plantetetthet. Maksimal avling ved 275 blomsterstander per sekk. Ved å øke antall planter per sekk, og opprettholde jevnt antall blomsterstander, ble avlingen redusert. 13-17 blomster per blomsterstand gav høyest avling. Trimming av de siste utviklede blomstene økte både avling og fruktstørrelse. Etter å ha etablert vellykket produksjonspraksis, ble betydningen av fotonfluens rate (PPF), temperatur, CO_2 konsentrasjon og gjødslingspraksis på antall blomster som utviklet seg til anthesis undersøkt. Resultatene viste at både temperatur og PPF påvirket blomstringstidspunkt, og at det var en positiv korrelasjon mellom CO_2 konsentrasjon, PPF, fotoperiode og antall blomster i anthesis.

På østkysten av USA er vinterklimaet relativt likt her hjemme, og ved Cornell university, NY har Marvin Pitts arbeidet med ulike jordbærproduksjonsformer utenom sesong. Ved bruk av den dagnøytrale sorten 'Tristar' oppnådde de her en avling på $900\text{g m}^{-2}\text{ måned}^{-1}$ med en PPF på $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ (HID) om natten og naturlig lys om dagen. Varmen fra lampene var tilfredsstillende for oppvarming om natten. En ulempe ved bruken av dagnøytrale planter sammenlignet med kuldelagrede planter (WB), er faren for angrep fra ulike skadegjørere når plantene er sammenhengende i veksthus i inntil 5 måneder. (<http://www.hort.cornell.edu/departement/faculty/pritts/grnhouse.html>).

2.3.4 Eksempler på jordbærproduksjon i middelhavslandene

Andre steder i verden, der lys ikke er en begrensende faktor, er produksjonsutvikling fokusert på andre områder. I varme strøk er tilgangen på vann ofte et av de største problemene, og vannforbruk effektiviteten (WUE) er derfor viktig å forbedre. Som konsekvens av dette har utvikling og bruk av alternative dyrkingssystemer spredd seg raskere her enn i Nord-Europa.

I 2001 startet El-Behairy og medarbeider utredningen av et substratløst system til produksjon av salat, hvitløk og jordbær. Et av målene var å øke avlingene, men samtidig bevare den gode kvaliteten. I dette studiet ble det ikke observert signifikant forskjell i antall blomster (for jordbær) mellom det substratløse systemet og tradisjonell produksjon i jord, likevel var det signifikant forskjell i avling per plante som følge av økt fruktstørrelse. I Egypt er feddan et mye brukt arealmål, og en feddan tilsvarer 4200m^2 . Ved produksjon i et "A-shape" (El-Behairy et al., 2001) konstruert NFT system var det mulig å øke plantetettheten fra 3000 til 12000 planter feddan⁻¹. Tar man både den økte fruktstørrelsen og plantetettheten til følge, ble avlingen økt fra 12tonn feddan⁻¹ (tradisjonell metode) til 58,8tonn feddan⁻¹ ved bruk av den nye metoden. WUE (water use efficiency) ble doblet. Andre forfattere har forklart lignende økninger i WUE som et resultat av redusert fordamping, drenering og avrenning (Abou-Hadid et al., 1993; 1998). Det ble ikke observert signifikante forskjeller mellom kvalitetsparametere i dette forsøket.

Betydningen av dyrkingssystem på kvalitet og avling er også tidligere undersøkt i Hellas (Paraskevopoulou-Paroussi et al., 1995). Resultatene fra dette studiet viser heller ingen signifikant effekt på kvalitet mellom tradisjonell produksjon og vannkultur i vertikale søyler. Det mest oppsiktsvekkende var en tredobling i avling/daa - et resultat av høyere plantetetthet. Lignende resultater er observert i Serbia (Milivojevic et al., 2009), der avlingen økte i vannkultur med 36 %.

2.3.5 Nutrient Film Technique (NFT)

Det er flere mulige fordeler knyttet til bruken NFT, blant annet øker effektivitet i næringsstofforbruk (Adams, 2002). Produksjon i vannkultur tillater også høyere plantetetthet, som igjen resulterer i bedre energiutnyttelse (Tropea 1980).

Den kontinuerlige flyten av vann gjør det mulig å produsere planter ved høyere ledetall, uten faren for akkumulering av næringsstoffer, slik som i jord. Betydningen av vann – og gjødsel kvalitet blir likevel viktigere (lav bufferkapasitet og immobiliseringsevne), og det kan forekomme akkumulering av salter ved bruk av næringsløsninger med høy andel ikke-næring ioner som følge av systemets lukkede natur (Burrage 1999).

Det er delte meninger om NFT, og mange mener risikoen for at pumpa skal ryke gjør systemet usikkert og upålitelig. Dette kan man enkelt sikre seg mot med en ”back-up” pumpe. Intensiv produksjon av sterkt voksende planter kan resultere i forurenset og ufruktbar jord, som igjen kan redusere avlingen i verdifulle kulturer. I slike tilfeller kan produksjonen kun fortsette visst jordsterilisering, i en eller en annen form, er økonomisk gjennomførbart (El-Beahiry et al., 2001). Jordbær er en viktig kultur i landene rundt middelhavet, og i Egypt er hovedårsaken til reduksjon i avling plantetap, som følge av nematoder og jord boende patogen.

En mer utbredt bruk av lukkede dyrkingssystemer kan være med på å sikre gode avlinger, og samtidig bevare miljøet. Det samme gjelder for åpne systemer i veksthus.

Det er ikke slik at bruken av vannkultur fjerner alle tenkelige problemer knyttet til dyrkingsmediet - isteden skapes et sett nye (Burrage 1999). Problemer knyttet til vannkultur er likevel lettere å kontrollere, sammenlignet med frilandsproduksjon. Risikoen for spredning av patogen via resirkuleringssystemet i veksthus er et godt eksempel, men en kombinerings av ulike desinfeksjonssystemer gjør systemene stabile, og minimerer risikoen for store angrep betraktelig (Hernanz et al., 2007). NFT krever grundigere oppfølging av næringsinnhold, pH og ledetall sammenlignet med produksjon i jord.

Sårbarheten til systemet ligger først og fremst i mangelfull oppfølging av disse faktorene. I Sør-Europa og middelhavslandene er vannkultur ansett som en effektiv erstatning av methyl bromid (som nå er forbudt i Europa) i kampen mot jordboende skadegjørere (Hernanz et al., 2007).

2.4.6 Fytosanitære hensyn

Ved produksjon av jordbær i kontrollert klima reduseres risikoen for angrep fra skadegjørere sammenlignet med frilandsproduksjon. Det er likevel viktig med gode forhåndsregler som reduserer risikoen for slike angrep. Nett i luker er en effektiv barriere som begrenser influx av insekter. Det er også viktig med gode rutiner rundt håndtering av plantemateriale, renhold og ikke minst besøkende. Selv under de beste fytosanitære forhold kan skadegjørere etablere seg i veksthusene. I forsøk ved Cornell universitetet, NY (Pritts 1995) er det observert angrep av både toprikket spinnmidd (*Tetranychus urticae*), blomstertrips (*Franklinella* spp.) og meldugg (*Sphaerotheca macularis*) i jordbærkulturer. Det finnes få, godkjente sprøytemidler for jordbær i veksthus, og biologisk kontroll av slike skadegjørere er det beste alternativet. Det er anbefalt å frigi naturlige fiender med jevne mellomrom, idet det ikke er mulig med fullstendig utsletting, eller øyeblikkelig reduksjon i skadedyr bestanden med biologisk bekjempelse (Takeda 1999). Ved bruk av rovmidd (*Amblyseius cucumeris*) i bekjempelse av blomstertrips tok det en måned før tripsbestanden var redusert til et akseptabelt nivå i jordbær (Takeda 1999).

Som nevnt er også meldugg en potensiell skadegjører i veksthus og tunneller (Maas, 1998). Mottakligheten varierer sterkt mellom ulike sorter (Shaw et al., 1996), og den beste bekjempelsen ligger i valg av riktig plantemateriale. I veksthus kan også risikoen for angrep reduseres gjennom god klimastyring. Tradisjonelt bekjempes meldugg ved brenning av svovel, men nye biologiske fungicider har vist seg å være like effektive i slik bekjemping (*Ampelomyces quisqualis*, (isolat M-10, Ecogen Inc., USA) (Takeda upublisert).

Phytophthora cactorum, *Phytophthora fragariae* og *verticillium albo-atrum* er hovedsakelig et problem i lukkede systemer, og bekjempes vanligvis effektivt med desinfeksjonsmetoder (UV, ozon, kobber o.l) tilknyttet systemet. Ved aggressive angrep kan fungicider tilsettes direkte i oppsamlingstank. Forsøk med *Trichoderma harzianum* (Sid Ahmed et al., 2003) samt andre sopp og bakterier antagonistiske mot slike patogen, har gitt positive resultater i flere kulturer. Primært forebygger disse angrep, og er mindre effektive i bekjempelse.

3.0 Plantefenoler

Plantefenoler er en kjemisk heterogen gruppe bestående av nærmere 10000 individuelle sammensetninger (Taitz&Zeiger, 2006) som spenner seg fra vannløslige karboxylsyrer til uløselige polymerer. Flavonoider er en av de største gruppene av plantefenoler, og er allestedsnærværende i frukt og grønnsaker (Yao et al., 2004). Disse deles inn i fire undergrupper; anthocyaniner, flavonoler, flavoner og isoflavoner (Taiz and Zeiger, 2006). De fleste fargestoffer i planter er anthocyaniner, med unntak av terpenoid sammensatte karotenoider. Anthocyaniner absorberer elektromagnetisk stråling både i UV og i den fotosyntetiske delen av spekteret (Fig.5). Flavoner og flavonoler absorberer kun i UV, og er av den grunn usynlige for oss mennesker, men synlig for mange insekter. Slike forbindelser har en rekke biologiske funksjoner. Primært fungerer de som insekts tiltrekkere, men har også viktige funksjoner som solskjermere, og beskytter plantemembraner, fotosynteseapparatet og DNA fra skadelig ultraviolet stråling (Jansen et al., 1998). Produksjon av anthocyaniner og andre flavonoider i epidermalceller på høyere planter er en velkjent beskyttelsesmekanisme mot intens solstråling (Takashi et al., 1991). Isoflavonolene er mest kjent for sine roller som fytoaleksiner – antimikrobielle sammensetninger som begrenser spredningen av invaderende patogen. Isoflavonoler og andre flavonoider fungerer også i planters forsvar mot planteetere (Paul & Gwynn-Jones, 2003).

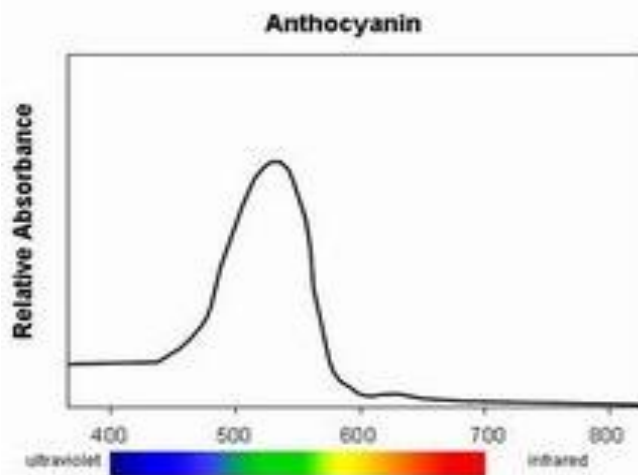


Fig.5: Relativ absorbans til anthocyaniner (i høflighet til Harvard education).

I frukt og grønnsaker er flavonoidene ansvarlig for farge, smak, beskyttelse av vitaminer og enzymer, samt hemming av fett oksidering (Yao et al., 2004). Ulike, distinkte utviklings funksjoner i kjøttlige frukter som for eksempel tap av astringens og dannelse av karakteristisk farge ved modning, er nært relatert til syntese og akkumulering av ulike fenolforbindelser

(Guiwen & Breen 1991). Fenolinnholdet i jordbær er relativt høyt sammenlignet med andre frukter (Maas et al., 1991), og mange av disse forbindelsene er også aromatiske, og har direkte kvalitetsverdi i form av smak, og indirekte kvalitets verdi ernæringsfysiologisk. Fenoler syntetiseres via både shikimik syre (Harbour&Turner 1984) - og malat syre veien (Taitz & Zeiger, 2006), hvor sist nevnte er av mindre betydning i høyere planter. Karbohydrat forgjengere fra glykolysen (fosfoenolpyruvat syre) og pentosefosfatveien (Erytrose-4-fosfat), omdannes til aromatiske aminosyrer (Fig.6) i shikimik syre veien (Herrmann & Weaver, 1999), og danner fenylalanine - forgjengeren til de fleste sekundære fenolforbindelser. De enkleste fenolske sammensetninger determineres av den korresponderende aminosyrens form (fenylalanine, tryptofan, tyrosine) (Hopkins and Hüner, 2004).

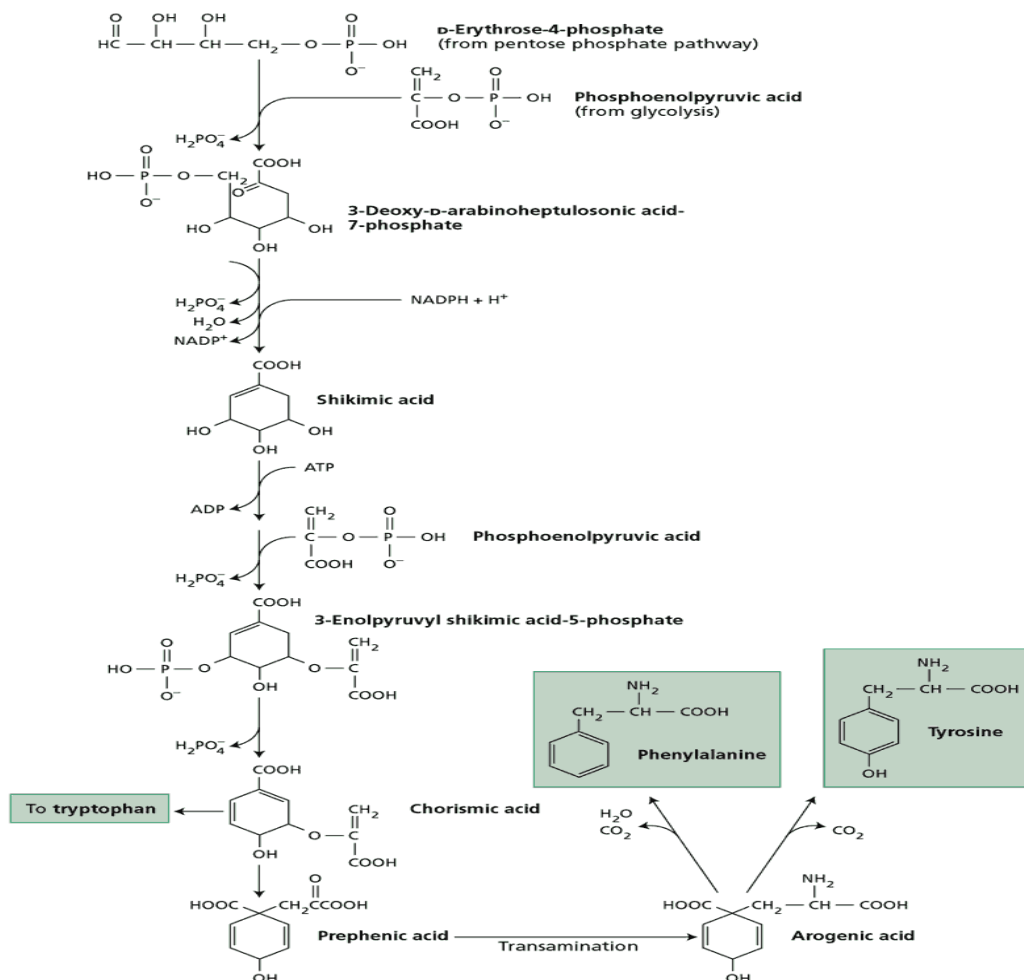


Fig.6: Aromatiske aminosyrer syntetiseres av karbohydratforgjengere fra pentose fosfat veien og glykolysen og danner blant annet fenylalanine, forgjengeren til de fleste fenolforbindelser. (i høflighet til Taiz and Zeiger, wentopic 13.2)

Phenylalanine Ammonia Lyase (PAL) er nøkkel enzymet som katalyserer dannelsen av kanelsyre derivater fra fenylalanine i fenylpropanoid veien gjennom eliminering av et ammonium molekyl (Krizek et al., 1993; Beggs et al., 1986). Vevet i kjøttaktige frukter og bær har vanligvis høyt innhold av kanelsyrederivater, flavonoider og tanniner under tidlig utvikling, men akkumulerer anthocyaniner først nær modning (Billet et al., 1978; Hyodo, 1971; Kataoka et al., 1983). Enzymet PAL er et av de mest studerte enzymene i planters sekundær metabolisme (Taitz&Zeiger, 2006) og katalyseringen av overgangen mellom primær og sekundær metabolitter understreker viktigheten til enzymet i plantefysiologien. Produkter av PAL aktivitet - *trans*-kaneltsyre, *p*-kumarinsyre og deres derivater er fenylpropanoider. Den prinsipielle funksjonen til fenylpropanoider er rollene som forgjengere til mer komplekse derivater som kumarin, lingin, tannin, flavonoider og isoflavonoider (Hopkins and Hüner, 2004). Anthocyaniner og andre flavonoider er anerkjente kvalitetsparametere i frukt og bær, og akkumulering av anthocyaniner i modningen av jordbær krever høy PAL aktivitet (Givens et al., 1998). Aktiviteten til hovedkatalysatoren PAL reguleres av lys og ulike andre miljøfaktorer, blant annet næringstilgang og soppinfeksjoner (Taitz & Zeiger 2006). I mange plantearter er denne reguleringen mer kompleks som følge av flere PAL kodende gener. Flere av disse uttrykkes kun under spesiell miljøpåvirkning, og ofte i spesifikt vev (Logemann et al., 1995).

3.1 Helsefremmende egenskaper

Flavonoider er bioaktive stoffer med antatte helsefremmende effekter for mennesker.

Dette som følge av deres evne til å nøytralisere reaktive oksygen arter (ROS), såkalte frie radikaler – de har en antioksiderende effekt (Nes et al., 2007).

Slike oksygenforbindelser kan skade biologiske molekyler som proteiner, lipider og DNA (Wold, 2004). Antioksidanteffekten til flavonoider kan deles inn etter virkemåte, som foreslått av Clifford og Coppet; De kan bryte kjedene i frie radikaler, kjelatere metaller, og redusere toksisiteten til reaktivt oksygen gjennom hemming av enzymaktivitet (Yao et al., 2004).

Flere epidemiologiske studier har vist at dietter rik på frukt – og grønnsaker reduserer risikoen for kreft og hjerte – og karsykdommer (Greenwald et al., 2001; Blomhof, 2005). Den antioksiderende, og betentendelsesdempende effekten observert hos anthocyaniner antydes også å kunne redusere risikoen for andre livsstil sykdommer som diabetes og gikt (Prior et al.,

2006). Det er likevel stor usikkerhet knyttet til mekanismene bak disse positive effektene (Remberg 2006).

Selv om studier av anthocyaniner og andre flavonoider har avduket krefthemmende egenskaper hos slike fenolforbindelser, har ingen epidemiologiske studier fremlagt konkrete bevis for at disse forbindelsene alene er ansvarlig for de positive effektene observert i studier der dietten blir supplert med mye frukt og grønt.

Krefthemmende effekter observert *in vitro* er kun oppnådd ved høyere mengder enn man noen gang har observert *in vivo* i menneskelig plasma, og anthocyaniners antioksidierende effekt i mennesker er foreløpig udokumentert (Wang and Stoner et al., 2008). Informasjonen fra *in vitro* studier er altså ofte usammenlignbare med *in vivo* responser som følge av komplekse interaksjoner mellom flavonoider og andre diettkomponenter (Yao et al., 2004).

3.2 Antioksidanter i frukt og bær

Innholdet av sekundære plantemetabolitter med antioksidierende egenskaper er svært varierende, både innad og mellom arter (Halvorsen et al., 2002). Generelt er antioksidantinholdet høyere i viltvoksende arter sammenlignet med dem vi kultiverer.

Tilgjengeligheten av kultiverte planter gjør at disse er en viktigere kilde til antioksidanter her i landet. Av ville planter er det nyper, blåbær, bjørnebær og jordbær som inneholder mest antioksidanter. De vanligste kultiverte artene med mye antioksidanter er bringebær, jordbær og hageblåbær (Halvorsen et al., 2002). Det er altså bær som er vår ypperste kilde til bioaktive forbindelser. Når det gjelder frukt, er forbruket av banan, eple og appelsin høyest (Totaloversikten frukt og grønnsaker, 2009), og på basis av FRAP verdiene dokumentert av Halvorsen et al., (2002) gjør dette appelsin til den viktigste antioksidantkilden blant frukt her i landet. Vitamin C og E, karotenoider, enkle og sammensatte fenolforbindelser, selenium, forgjengere til glutathion og andre redox thiolere er alle viktige antioksidanter i planter (Lindsay and Astley, 2002). I jordbær finnes det en rekke fenolforbindelser med antioksidierende effekt.

Av anthocyaninene utgjør pelargondin – 3 - glykosid den største andelen. Andre detekterbare flavonoider er flavonoler; glykosider av quercetin og kaempferol. Blant fenolsyrene finnes hovedsakelig *p*-kumarinsyre og glykosider av hydroxybenzoesyre (Aaby 2007).

Den høyeste andelen av flavonoider i vårt kosthold stammer fra soya isoflavoner (genistein, daidzein, biochanin), flavonoler (quercetin, myricetin, kaempferol) og flavoner (luteolin og

apigenin) (Rice-Evans et al., 1997). Kilder til slike forbindelser er blant annet te, sjokolade, vegetabiliske oljer, frukt, grønnsaker og vin.

3.3 Faktorer som påvirker syntese av fenolforbindelser i planter

En rekke produksjonsfaktorer påvirker innholdet av fytokjemikalier i planter. Vannrelasjoner, næringstilgang, fotonfluens rate (PPF) og lyskvalitet er alle avgjørende for dannelsen av sekundære plantemetabolitter stress (Treutter, 2010; Oh et al., 2009).

3.3.1 Lys

Akkumuleringen av flavonoider i skallet til eple ved eksponering for sol stråling er bekreftet (Merzlyak et al., 2005). UV-B fraksjonen av sollyset stimulerer fenyylpropanoid veien i planter, som igjen resulterer i akkumulering av flavonoider og sennepsestere (Jansen, 1998). Det er tidligere dokumentert at postharvest behandling av epler med supplementær UV-B kan øke innholdet av slike forbindelser i eple skall (Hagen et al., 2007). Også egenskapene til blått lys kan stimulere biosyntesen av anthocyaniner i skall av eple (Arakawa et al., 1985). Betydningen av lyskvalitet i dannelsen av anthocyaniner er studert av flere forskere (Beggs and Wellmann 1985, Mancinelli 1985) og indikerer tre involverte fotoreseptorer; fytokrom, kryptokrom og UV-B reseptor. Blad salat er en mye brukt modellplante i UV-studier som følge av dens evne til å akkumulere flavonoider ved lave bølgelengder. Både UV-A og UV-B stråling induserer produksjonen av flavonoider i rød farget salat, Lollo Rosso cv 'New red fire' (Krizek et al., 1998). Det er altså høyenergirikke bølgelengder, hovedsakelig i UV-fraksjonen av det elektromagnetiske spekteret, men også til en viss grad blått lys som sammen med fotonfluens rate (PPF) står for lysreguleringen av polyfenol syntesen i planter.

3.3.2 Temperatur

Epler som dyrkes i områder med høye nattemperaturer har ofte mangelfull farge. Betydningen av temperatur for dannelsen av røde pigmenter i epler er tidligere undersøkt (Blankship, 1987), og viser at lav nattemperatur er avgjørende for slik pigmentdannelse. Dannelse av røde pigmenter, nærmere bestemt anthocyaniner, er også observert i kuldelaide epler (Lattanzio,

2003). I det samme studiet var det også en klar økning i PAL (phenylalanine ammonia lyase) aktivitet, nøkkelenzymet i dannelsen av sekundære plantemetabolitter. Lignende effekter er dokumentert både for druer og salat (Treutter 2010). I jordbær stiger anthocyanin innholdet ved økende

produksjonstemperaturer (Wang & Zeng, 2001). Antioksidantkapasiteten i planter er nært relatert til innholdet av ulike fenolforbindelser, og påvirkes derfor også av produksjonstemperatur.

3.3.3 Plantenæring

Vedlikehold av mineraltilførsel er en forutsetning for å skaffe ko – faktorer (Mg^{2+}/Mn^{2+}) til viktige enzymer i dannelsen av flavonoider via fenylpropanoid veien (Treutte 2010).

Mangel av ulike næringsstoffer kan indusere syntese av fenolforbindelser (Koepe et al., 1976; Shkolnik 1984; Zomoza & Esteban 1984), men har lite verdi i praktisk produksjon siden slike mangler ofte går på bekostning av andre vekstprosesser. Overgjødsling med nitrogen har ofte negativ påvirkning på akkumuleringen av fenolforbindelser, og er mye omtalt i litteraturen (Tan, 1980; Keller & Hrazdina, 1998; Awad & Jager, 2002). Undersøkelser av nitrogengjødsling - og lys (PPF) sin betydning for innholdet av fenolforbindelser i druer viser sterk korrelasjon mellom oppløst tørrstoff - total fenoler, anthocyaniner og flavonol i drueskall (Keller and Hrazdina, 1998). Høy nitrogentilførsel under blomstring utsatte akkumuleringen av fenoler, men var også relatert til lysforholdene, og en kombinasjon av høy N-tilførsel og lite lys resulterte i lavest fenolinnhold. Det er også vist at overskudd av nitrogen reduserer fenolinnholdet i epler betraktelig (Awad & Jager, 2002). Andre forfattere har observert en reduksjon i PAL aktivitet i ved høy N og K (Tan, 1980), som igjen vil påvirke syntesen av fytokjemikalier i eple.

Optimal næringstilførsel (full styrke) (N-P-K: 20-20-20 + kompost) resulterte i den høyeste andelen fenolforbindelser i jordbær cv 'Honeoye', i sammenlignet med halv styrke (Wang & Lin, 2003).

Det finnes også eksempler på at overskuddsgjødsling kan øke innholdet av fenoler i matplanter. Ved å konstruere ekstreme agronomiske forhold – høy svovel gjødsling og produksjon sent i sesong – var det mulig å øke innholdet av flavonoider, kanelsyrederivater og vitamin C i brokkoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) (Vallejo et al., 2003).

3.3.4 Vannrelasjoner

Det er kjent at vannmangel kan indusere dannelsen av sekundære plantemetabolitter, og disse er hovedsakelig fenolforbindelser (Dixon, 1995). Også vannmetting kan resultere i lignende responser (Cohen et al., 1994). Begge disse scenarioene vil redusere vekst, og er ikke egnede i praktisk produksjon. Optimale produksjonsforhold som favoriserer god vekst og avling er en bedre innfallsvinkel som også bidrar til dannelsen av fenolforbindelser (Treutter, 2010)

3.3.5 CO₂

I Beltsville har forskere dokumentert en økning i antioksidant aktivitet og fenolinnhold i jordbær (*Fragaria ananassa* Duch.) dyrket i 1,1m² akryl kamre på friland, med hevet CO₂ (Wang et al., 2001). CO₂ konsentrasjonen ble hevet med 300 og 600 µmol mol⁻¹ ± 50 µmol mol⁻¹ over bakgrunnskonsentrasjon (350 µmol mol⁻¹). Antioksidant aktiviteten mot peroksyldradikaler (ROO), superoksid radikaler (O₂), hydrogenperoksid (H₂O₂), hydroksyl radikaler (OH), og singlet oksygen (¹O₂) økte signifikant i begge behandlingene. Det samme var tilfellet for de undersøkte flavonoidene; 8 av 10 økte signifikant. I 600 µmol mol⁻¹ behandlingen økte innholdet av askorbinsyre (AsA) fra 32,3 – 36,6 µmol/g tørrvekt og innholdet av glutation (GSH) økte fra 745,2 – 2019,9 nmol/g tørrvekt (Wang et al., 2001).

4.0 Materialer og metoder

Forsøkene ble gjennomført ved Senter for Klimaregulert Plante forskning (SKP) tilknyttet Universitetet for miljø - og biovitenskap (UMB) (59° 40'N) i perioden 20.09.09-08.04.10 (Høst: 20.09.09 – 07.12.09, Vår 28.12.09 – 08.04.10). Remonterende jordbær (*Fragaria x ananassa* Dutch cv `Ria`) (Utviklet av Forsker-emeritus Johannes Øydvin) ble valgt som forsøksplante på grunn av sine generative egenskaper (kontinuerlig blomstring i langdag). Bærene ble høstet etter ulike kvalitetskriterier; Dyp rød - gjennomgående farge, symmetri og størrelse (diameter > 2,5cm). Begge forsøkene ble utført i veksthusavdelinger med doble kanalplater (akryl) i vegger, og glass i tak. Klimaet ble kontinuerlig overvåket og regulert med Priva klimacomputer. Forsøkene bestod av tre ulike lysbehandlinger.

Tabell 1: Klimaparametrer høstforsøk. Gjennomsnitt av hele forsøksperioden.

	Tilleggslys (μmol)	CO ₂ (ppm)	Temperatur (°C)	RH (%)
HPS (1)	100	603	20,4	72,2
LED (2)	91	644	20,8	71,9
MIX (3)	121	611	20,4	72,7

RH, relativ luftfuktighet; ppm, parts per million.

Tabell 2: Klimaparametrer vår forsøk. Gjennomsnitt av hele forsøksperioden.

	Tilleggslys (μmol)	CO ₂ (ppm)	Temperatur (°C)	RH (%)
HPS (1)	100	663	19,8	68,8
LED (2)	91	602	20,1	69,7
MIX (3)	121	612	20,2	69,7

RH, relativ luftfuktighet; ppm, parts per million.

I behandling 1 var tilleggsbelysningen høytrykk natriums lamper (HPS) (Gavita superagro 400W armatur, Andbu, Norge) med lucalox PS 400W pære (Fig.7) (General electric, USA). Lysmålingene ble utført med Li-cor LI-190 SA quantum sensor (LI-COR, USA). Avstanden mellom lys og plante var 1,5m. I behandling 2 var tilleggsbelysningen Light Emitting Diodes (LED) (162W Bestlamp electronics CO, Kina) (Fig.7). Rammen bestod av 80 % røde og 20 % blå dioder. Avstanden mellom lys og plante var 0,5 m. I behandling 3 var tilleggsbelysningen en kombinasjon av LED og HPS. LED rammen hang sentrert over kulturen med en avstand på 0,5m, og HPS armaturene hang på hver sin kortsida av dyrkingssystemet (Fig.8).

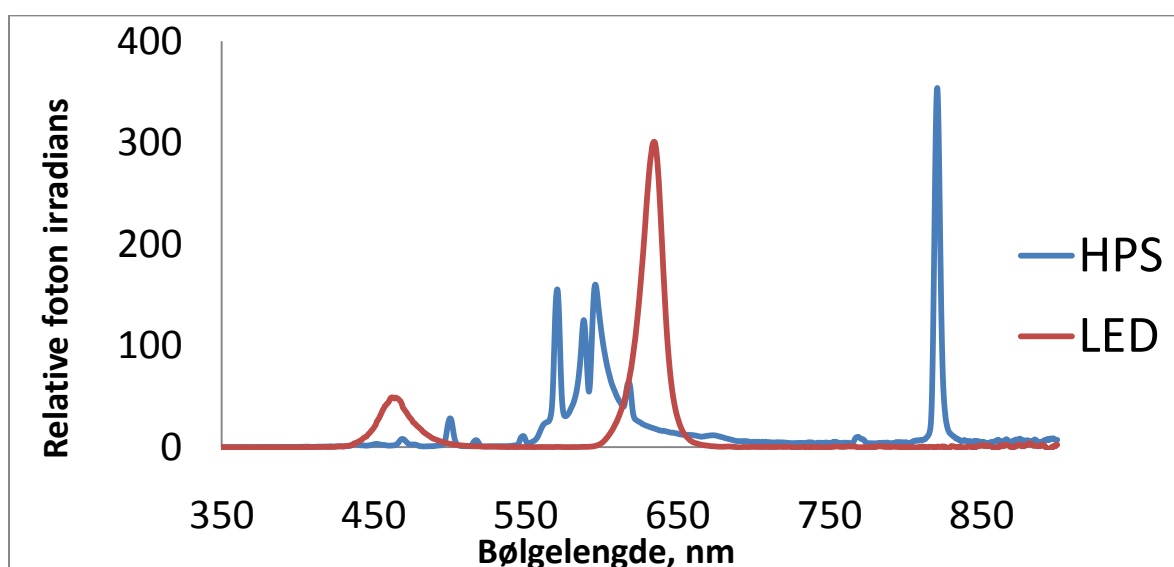


Fig.7: Spektralfordeling for HPS: Lucalox™ PSL 400W. LED: 162W (Bestlamp electronics CO, Kina) med 20 % blått og 80 % rødt

Tilleggsbelysningen stod på i alle behandlingene i perioden 02.00 – 22.00, 20t fotoperiode. Den globale innstrålingen av fotosyntetisk aktivstråling var gjennomsnittlig $8\text{mol m}^{-2}\text{ dag}^{-1}$ om høsten og $10\text{mol m}^{-2}\text{ dag}^{-1}$ om våren. Sett punktet for temperaturen var 20°C dag/natt. Ved 21°C ble lukene åpnet, og ved 19°C ble rør - temperaturen hevet. Bladtemperaturen ble også registrert en gang i begge perioder ved hjelp av Delta Ohm HD9016, thermo-couple thermometer (Delta Ohm, Italia). Målingen ble gjort rett før soloppgang. For den relative luftfuktigheten (RH) var sett punktet 70 %. Ved lavere RH ble bruseanlegget aktivert, og ved høy RH ble lukene åpnet, og rør varmen hevet. Sett punktet for CO_2 var 800ppm, tilført som ren CO_2 , kontinuerlig gjennom hele fotoperioden (02.00-22.00), 20t daglig. Gjennomsnittlig klimaforhold er oppsummert i tabell 1; høst, tabell 2; vår). Plantene ble dyrket i Aeroflow 10 (General Hydroponics Europe, Frankrike) (Fig.8, høyre), et NFT system (nutrient film technique). Aeroflow har en oppsamlingstank på 50L, og en komplett næringsløsning pumpes kontinuerlig gjennom systemet. Plantematerialet ble støttet av lecakuler i 5cm ”åpne” potter (Fig.9, venstre). Systemet er konstruert for å øke O_2 tilgjengeligheten i rotsonen, og samtidig optimalisere vann - og næringsstofftilgangen.



Fig.8: Aeroflow 10.

4.1 Gjødning

Følgende gjødselblandinger ble nyttet i vekstperioden

1. Standard gjødsel ved SKP.

Stamløsning 200L: 25kg Rød superba, 25kg Kalksaltpeter, 1kg Ammoniumnitrat (Yara, Norge).

Fortynning: 200 ganger. Makronæring oppgitt i ppm: N-159: NH_4 -17, NO_3 -142, P-31, K-154, Ca-129, Mg-27, S-38 + mikro. Ledetall, EC (electro conductivity): 1,52mS/cm.

2. Rød superba + Kalksaltpeter (mindre ammonium).

Stamløsning 10L: 650g Rød superba, 650g Kalksaltpeter (Yara, Norge).

Fortynning: 100 ganger. Makronæring oppgitt i ppm: N-156: NH_4 -13, NO_3 -143, P-32, K-161, Ca-134, Mg-28, S-39 + mikro. EC: 1,54mS/cm.

3. Superex grønnsak + Kalksaltpeter (minimalt ammonium).

Stamløsning 10L: 650g Superex grønnsak (LOG a/s, Norge), 650g Kalksaltpeter (Yara, Norge). Fortynning: 100 ganger. Makronæring oppgitt i ppm: N-160: NH₄-7, NO₃-153, P-29, K-200, Ca-134, Mg-14, S-19 + mikro. EC: 1,45mS/cm.

4. Flora grow + Flora micro + Flora bloom (utviklet for aeroflow) (General hydroponics europe – GHE, Frankrike). Trekomponent gjødsel, flytende.

Etter anbefaling for jordbær i aeroflow fra GHE.

Vekst, 100L bruksløsning: 150ml grow + 210ml micro + 125ml bloom. Makronæring oppgitt i ppm: N-177: NH₄-34, NO₃- 143, P-46, K-176, Ca-110, Mg-32, S-41 + mikro. EC 1,7mS/cm.

Blomst, 100L bruksløsning: 150ml grow + 175ml micro + 125ml bloom. Makronæring oppgitt i ppm: N-163: NH₄-30, NO₃-133, P-46, K-171, Ca-88, Mg-32, S-41. EC 1,5mS/cm.

Råvannet (springvann) ved SKP inneholder cirka (ppm): Ca-10; Mg-0,7; Na-3,5; S-1,9; Fe-0,15; Zn-0,1 og HCO₃⁻-32,6. Alle behandlingene fikk samme næringsløsning.

Etter å ha etablert stabil pH, ble næringsløsningen utskiftet hver tredje uke. pH ble kontrollert (Hanna waterproof combo pH & EC) (Hanna norden, Sweden) og regulert (pH_{opp}: KOH/HCO₃⁻ + silikat) (GHE, France), (pH_{ned}: 62 % HNO₃, fortynnet 1:50) (Merck, Tyskland) på daglig basis mot mål verdier; pH 5,8-6,2. (Tabell 3 gir en oversikt over gjennomsnittlig pH variasjon i næringsløsning 1-3). Ved økt ledetall ble systemet tilført råvann.

Tabell 3: Gjennomsnittlig fall i pH enheter på 48 timer. 1: Rød superba, kalksaltpeter og ammonium nitrat. 2: Rød superba, kalksaltpeter. 3: Superex grønnsak, kalksaltpeter.

Næringsløsning	HPS	LED	MIX
1	1,28	1,35	1,61
2	1,9	1,7	2,1
3	1	1,2	1,5

4.2 Høst forsøk

4.2.1 Vekstkammer - Karantene

Plantematerialet ankom SKP som pluggplanter 01.09.09. De første tre ukene stod plantene i karantene for å hindre at uønskede skadegjørere kom inn i forsøksavdelingene. Lyskilden var lysstoffrør med en PPF på 100µmol m⁻² s⁻¹ (Phillips Master TL-D 36W/840, France). De øvrige klimaparametere samsvarte med forholdene i veksthus avdelingene, med unntak av CO₂, som ikke ble tilført i denne perioden. Plantene ble vannet regelmessig med en komplett

næringsløsning, som beskrevet ovenfor (4.1.6, løsning nr.2). Skadedyr bestanden ble overvåket ved hjelp av gule lim feller. En liten bestand med jordbærmidd (*Phytonemus pallidus*) ble påvist, og det ble sprøytet med Mesurool 500 (metiokarb) (Bayer cropscience, Tyskland) tre ganger i denne perioden. Det ble også vannet med nematoder (Entonem, *Steinernema feltiae*) (Koppert, Nederland) for å redusere hærmygg (*Sciaridae*) bestanden.

4.2.2 Veksthus

20.09.09 ble plantene overført til veksthusavdelingene. Ved innplanting ble røttene vasket for torv, og plantet i 5cm ”åpne” pottes (Fig.9, venstre) støttet av lecakuler.

Ti planter (n=10, N=30) ble plassert i hver behandling (1-3). Alle plantene ble trimmet ned til 4 fullutviklede blad. I perioden 20.09.09 – 05.10.09 ble plantene dyrket i næringsløsning 1 (4.1.6). Fra 05.10.09 – 15.10.09 ble plantene dyrket i næringsløsning 2 (4.1.6) og fra 15.10.09-01.11.09 ble plantene dyrket i næringsløsning 3 (4.1.6).

Ingen av disse næringsløsningene resulterte i stabil pH, og vi observerte store fall (1-2 enheter) på daglig basis (Tabell 3). Fra 01.11.09 ble næringsløsning 4 tatt i bruk, og pH stabiliserte seg omsider.

4.2.3 Kultiveringspraksis og registreringer

pH og EC ble registrert daglig, med unntak av helger, da registreringene ble gjort annenhver dag.

De første tre ukene ble alle blomsterstander fjernet etter anmodning fra jordbærprodusent Simen Myrene. Hensikten var å sikre god vegetativ vekst, og samtidig bygge opp en sterk, robust plante før bær produksjonen startet. Utløperen ble fjernet kontinuerlig av samme grunn. Blad, blomsterstander, blomster og utløpere ble registrert de første 25 dagene etter innplanting for å studere forskjeller i respons på de ulike lysbehandlingene (1-3). Utløpere og blomsterstander ble registrert ved kniping. Blad ble telt ved start og slutt av vegetativ fase. Blomster ble registrert de første 25 dagene av generativ fase. Resultatene presenteres som gjennomsnittlig danningsrate/plante/dag. De siste blomstene ble fjernet i midten av oktober, og en måned senere startet innhøstingen. Alle bær ble høstet, men kun bær av tilfredsstillende

kvalitet – hel farga, symmetriske bær med diameter > 2,5cm – ble bevart til kjemisk analyse. Disse bærene ble fryst ved -80 °C direkte etter innhøsting. Den lave frysetemperaturen ble valgt for å begrense eventuell nedbrytning av fytokjemikalier.

Ved forsøksslutt ble frisk – og tørrvekt av topp – og rot, bladstikklengde og antall blomster registrert for alle forsøksplantene.

4.3 Vår forsøk

4.3.1 Opparbeiding av plantematerialet

07.12.09 ble 45 utløpere av jordbær (*Fragaria x ananassa* Dutch cv `Ria`) høstet fra forsøksplantene i høstforsøket. Utløperne ble plantet i en renne (40x60x10cm) med agroperlitt (...) og tildekt med klar plast og akryl duk. Etter 7 dager var det synlige røtter på alle utløperne. Plast og akryl ble fjernet, og plantene ble pottet individuelt i 10cm pottar med agroperlitt, og plassert i behandling 1.

28.12.09 ble 30 planter tilfeldig utvalgt som forsøksplanter. Røttene ble vasket for perlitt, og overført til aeroflow 10 i ”åpne” pottar (Fig.8, venstre) støttet av lecakuler.

10 planter (n=10, N=30) ble fordelt på hver behandling (1-3). Hver plante ble trimmet ned til 3 fullutviklede blad (Fig. 9).



Fig.9: Jordbærplante rett etter innplanting. Foto: Staffan Bengtsson.

4.3.2 Kultiveringspraksis og registreringer

Vegetative egenskaper

Alle utløpere ble fjernet kontinuerlig, gjennom hele forsøksperioden, men ble kun registrert i den vegetative fasen. (01.01.10-01.02.10)

Bladdanningsrate ble registrert manuelt i hele den vegetative fasen. Antall blad ble telt ved start og slutt av vegetativ fase. Sluttverdien ble fratrukket startverdien, og dividert med antall dager. Resultatet presenteres som gjennomsnittlig antall nye blad per dag.

Bladutfoldingsraten ble også registrert manuelt gjennom hele den vegetative fasen.

Bladene ble kategorisert etter grad av utfolding; L, L+ S, S+, og UT.

L beskriver det første tegnet til blad i vekstpunkt.

L+ beskriver bladplaten, fortsatt foldet, men ute av vekstpunktet.

S beskriver bladplaten med delvis elongert bladstilk, og tegn til utfolding.

S+ beskriver bladplaten utfoldet, men fortsatt noe foldet rundt enkelt nervene og med elongert bladstilk.

UT beskriver et fullt utfoldet blad.

På denne måten var det mulig å følge hvert enkelt blad gjennom daglige registreringer.

Resultatene presenteres som gjennomsnittlig antall dager for utfolding av et blad.

Generative egenskaper

Alle blomsterstander ble fjernet og registrert i den vegetative fasen.

Fra start av generativ fase ble antall blomsterstander og akkompagnerende blomster registrert over en periode på to uker. Resultatene presenteres som gjennomsnittlig blomsterstand – og blomsterdanningsrate per dag.

Avling

Bærene ble høstet manuelt etter nevnte kvalitetskriterier (4.0), og fryst direkte ved -80°C . Det ble høstet flere ganger i uka, og ved ukeslutt ble avlingen registrert i alle behandlinger.

Ved forsøksslutt ble det registrert frisk- og tørrvekt av blad, bladstilk, blomsterstand, rot, samt lengde av bladstilk og blomsterstand, bladareal og klorofyllinnhold (Chlorophyll content meter CL-01) (Hansatech Industries Ltd., Norfolk, England).

4.3.3 Spesielt for vår forsøket

Produksjonsforholdene i vår forsøket samsvarte med de beskrevet i høst forsøket, men enkelte forbedringstiltak ble iverksatt etter erfaringer gjort om høsten:

Næringsløsning

Næringsløsning 4 (4.1.) ble brukt i hele forsøket.

Phytium etablerte seg raskt i næringsløsningen om høsten, og skapte etter hvert store problemer, spesielt i behandling 2, der PPF var noe lavere.

I forsøk på å forbygge, og redusere omfanget av angrep ble det installert biofilter (GHE, Frankrike) (Fig.11) i alle behandlingene. Filter består av tre kolonidannende mikroorganismer (*Streptomyces lydicus*) (*Streptomyces griseus*) (*Trichoderma harzianum*), et porøst medium som fungerer som habitat for mikroorganismene, partikkel filter som fysisk fjerner rusk og organisk materiale, samt en pumpe som sørger for sirkulering av næringsløsning mellom filter og oppsamlingstank.

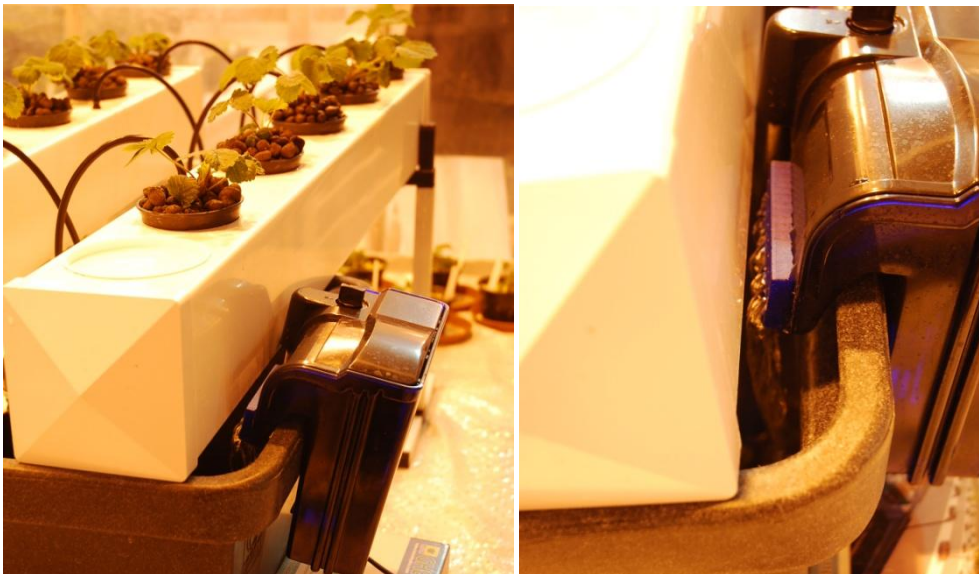


Fig.10: Biofilter. Foto: Staffan Bengtsson.

Ledetall

Ledetallet ble redusert i vår forsøket. I den vegetative fasen ble ledetallet satt til 0,9mS/cm, og gradvis økt til 1,2mS/cm. I den generative fasen ble det satt til 1,2mS/cm, og økt til 1,5mS/cm ved fruktsetting. Forholdet mellom næringsstoffer forble det samme.

Erfaringer fra høstforsøket viste at vannforbruket var høyere enn næringsopptaket. Dette medførte en økning i ledetall på daglig basis, og resulterte også i saltskader på plantene.

Relativ luftfuktighet

Den relative luftfuktigheten i plantesjiktet var noe høyere enn sett punktet, og plantene viste samtidig tegn på kalsium mangel i vekstpunkt (høst). Det ble derfor installert en liten aksialvifte (8412 NGM, 12V, 1,3W, 80mm, 58m³/time) (Emb-papst, Oslo) mellom rennene på systemet for å redusere luftfuktigheten i plantesjiktet.

4.4 Kvalitetsanalyse av jordbær

De kjemiske analysene ble gjennomført på fruktlaboratoriet ved IPM.

Bærene ble analysert for total tørrstoff, oppløst tørrstoff, titrerbar syre, O.D, pH, C-vitamin, antioksidant aktivitet, total fenoler og monomere anthocyaniner.

Avlingen om høsten var lav, og av den grunn ble bær fra de enkelte behandlingene analysert som en prøve. I vår forsøket var avlingen god, og bærene ble analysert etter høstedata; en prøve for hver uke (5uker), i hver behandling.

4.4.1 Opparbeiding av prøvemateriale

for oppløst tørrstoff, titrerbarsyre, pH og optisk tetthet

Tilnærmet 50g tinte bær fra hvert høstetidspunkt, i hver behandling ble knust manuelt til en bærmasse. Prøvene ble filtrert ved bruk av et Whatman filterpapir (GmbH, Dassel, Tyskland). 10ml fra hver av de filtrerte prøvene ble deretter pipettert over i begerglass for analyse av titrerbar syre. Deretter ble 5µl fra hver prøve fortynnet til en 5 % løsning (5µl prøve + 9,5 ml destillert vann) for måling av optisk tetthet (O.D).

Det resterende prøvematerialet ble brukt til måling av pH og oppløst tørrstoff.

4.4.2 Kjemiske analyser

pH

pH ble målt ved hjelp av et pH-meter (Methrom 691, Sveits). pH meteret ble kalibrert ved pH 4 (Titrisol pH 4)(Mereck, Tyskland).

Oppløst tørrstoff

Refraktormeterverdien er et uttrykk for oppløst tørrstoff i bærsaften, og gir et indirekte mål på sukkerinnholdet. En dråpe fra hver prøve plasseres i ”vinduet” på refraktometeret (Atago Palette, Japan), og uttrykket for sukkerinnhold bestemmes ut ifra lysbrytingen i prøven. Oppløst tørrstoff i prosent.

Optisk tetthet, (O.D)

5 % løsningen fra hver prøve pipetteres over i kyvetter. Optisk tetthet bestemmes ved spektrofotometri. (Shimadzu UV mini-1240 spectrophotometer) (Shimadzu corporation, Kyoto, Japan). Absorbansen ble målt ved 515nm.

Titrerbar syre

Titrerbarsyre ble målt ved hjelp av en hel automatisk titrator (Methrom 716 DMS Titrino og 730 prøveveksler (Herisau, Sveits). Titratoren ble forhåndskalibrert ved hjelp av buffer pH 4 og pH 7 (Titrisol pH 4/pH7)(Merek, Tyskland).

Begerglass med 10ml filtrert prøvemateriale ble plassert i prøveveksleren, og fylt med destillert før titreringen. Prøvene ble titrert til pH 8,5.

4.5 Prosedyre for analyse av antioksidant aktivitet, total fenoler, monomere anthocyaniner og C-vitamin.

Analyse av antioksidant aktivitet, total fenoler og monomere anthocyaniner ble utført ved hjelp av ble *Konelab 30i* (Kone instrument corp., Espoo, Finland).

Analysene baseres på spektrofotometri.

L-ascorbin syre innhold (Vitamin C) ble bestemt ved HPLC (High pressure/High performance liquid chromatography)(Agilent technology, Waldbronn, Tyskland).

4.5.1 Opparbeiding av prøvemateriale for antioksidant aktivitet, total fenoler og monomere anthocyaniner

50 g lett tinte bær ble homogenisert med stavmikser (Baun MR400, Karlsruhe, Tyskland). Triplikatprøver tilnærmet 3g veies inn i Scott flasker. Det ble deretter tilsatt 30ml forsura

metanol (Metanol + 0,085 % HCl (32 %)). Scott flaskene ble spylt innvendig med nitrogen, og korket øyeblikkelig for å hindre oksidering av prøvematerialet. Prøvene ble blandet med Vortex T, Genie 2 (Scientific industries, USA) i 30sekunder og plassert i ultralyd bad ved 0°C i 15minutter. Ultralyd badet agiterer partiklene i prøven, og fjerner eventuelle oppløste gasser. Prøvene ble oppbevart ved -20°C frem til videre analyse.

4.5.2 Analyse av antioksidant aktivitet, total fenoler og monomere anthocyaniner

Total fenoler etter Folin–Ciocalteu metode.

Konelab 30i fortynnet prøvematerialet (20µl) til konsentrasjoner innen den lineære absorbansrekkevidden til analysatoren, blandet disse med Folin Ciocalteu reagens (100µl, fortynnet 1:10 med destillert vann) og inkuberte disse i 60 sekunder før 80µl natriumkarbonat (7,5 % w/v) ble tilsatt. Prøvene ble blandet på nytt, og inkubert i nye 15 minutter før absorbansmålingene ved 765nm. Fra absorbansmålingene ble konsentrasjonen av fenolforbindelser i de ulike prøvene kalkulert på basis av gallesyre standard (3,4,5-trihydroxybenzoyl, Sigma G-7384). Reagensene ble forberedt som beskrevet av Waterhouse (2002). Resultatene blir presentert som mg GAE (Gallesyre ekvivalenter) per 100g friskvekt.

Prinsippet bak analysen er den kjemiske reduksjonen av Folin Ciocalteu reagensen. Denne består av en kombinasjon av tungsten og molybdenum oksider, og når disse reduseres dannes et blåfarget produkt som absorberer sterkt ved 765nm. Intensiteten til denne absorpsjonen er ekvivalent med den individuelle fordelingen av de ulike fenolklassene i løsningen (Slinkard et al. 1974) (Wrolstad, 2002).

Antioksidant aktivitet

Analyse av antioksidant aktivitet ved *Ferric reducing/Antioksidant power assay, FRAP*

FRAP reagensene (200µl); Acetatbuffer (3,0mM), jern triklorid (20mM) og TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazin - 10mM i 40mM HCl) (ratio 10:1:1) ble pipettert separat og automatisk inn i kyvetter, og blandet godt. Prøvematerialet (8µl) ble tilsatt reagensene, og innkubert i 10 minutter ved 37°C. Absorbansen ble avlest ved 595nm, og antioksidant aktiviteten ble kalkulert på basis av E-vitamin analog Trolox (kontroll). Reagenser og standardløsninger ble

forberedt som beskrevet av Benzie & Strain (1999). Resultatene blir presentert som mmol Fe^{2+} per 100g friskvekt.

Bakgrunnen for analysen er absorpsjonsforandringen når $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{3+}$ reduseres til $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{2+}$ (intens blå) ved 595nm. Ved lav pH kan halvreaksjoner av lavere redokspotensiale enn $\text{Fe}^{3+} + e^- \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ indukere fargeforandring. Antioksidanter donerer elektroner som reduserer $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{3+}$ til $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{2+}$. Antioksidantinnholdet bestemmes ut ifra hvor mye $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{3+}$ som reduseres, og reflekteres i styrken på absorpsjonen ved 595nm. Jo sterkere absorpsjon – desto mer antioksidanter.

Totale monomere anthocyaniner (TMA) ved pH differensial metoden (AOAC offisiell metode, 2001)

Prøvene (20 μ l) ble fortynnet av analysator (innenfor den lineære absorpsjons rekkevidden til instrumentet) og tilsatt både pH 1 buffer (KCl - 0,025M) og pH 4,5 buffer ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ - 0,4M).

Hver prøve ble blandet med begge bufferne separat, og innkubert ved 37⁰C i 5minutter. Absorpsjonen til begge løsningene ble målt ved både 520 og 700nm.

Reagenser ble forberedt som beskrevet av (Gusti & Wrolstad 2001). Innholdet av *TMA* presenteres som mg/L cyanidin-3-glukosid ekvivalenter (cy-3-gluE).

Anthocyaniner viser ulike, reversible absorpsjons spektrum avhengig av pH miljøet.

Ved pH 1 forekommer de som en farget oksonium form, og ved pH 4 som en fargeløs hemiketal. Absorpsjonen ved 700nm brukes til korrigerende som følge av lysspredning, og mengde anthocyaniner i prøvene avgjøres på bakgrunn av forskjeller i absorpsjon ved 520nm, som er absorpsjons maksimum for den fargede formen. Absorpsjonen er proporsjonal med mengde monomere anthocyaniner i prøven. Polymere anthocyaniner lar seg ikke teste på denne måten, idet de er resistente mot fargeforandring.

4.5.3 Analyse av C-vitamin innhold

L-ascorbinsyre

50g frosne jordbær ble tilsatt 1 % oxalsyre til en totalvekt på 150g. Oxalsyren stabiliserer L-ascorbinsyren fra bærene. Prøvematerialet ble homogenisert ved hjelp av stavmikser (Baun MR400, Karlsruhe, Tyskland), og filtrert i et Whatman filter (GmbH, Dassel, Tyskland).

Videre ble prøvematerialet filtrert ytterligere to ganger, først i et sep-pack filter (C-18 kolonne, Waters, USA) og deretter i et milliporefilter (0,45µl, Millex, HA, Irland).

HPLC analysen var som beskrevet av Williams et al., (1973) og utført ved hjelp av et Agilent system som omfatter HP1100 væske kromatograf, automatisk prøvetaker og en UV detektor (Agilent Technologies, Oslo, Norway). Chemstation software ble brukt til å overvåke kromatografi og dataprosessering. Separering ble oppnådd ved bruk av en 250*4,6mm Zorbax SB-C-18 5µm kolonne (Agilent technologies). Den mobile fasen var 0,05M KH_2PO_4 . Flytraten var 1ml min^{-1} . Injeksjonsvolumet var 5µl, og tiden var satt til 5 minutter. L-Ascorbinsyre ble målt ved 254nm.

4.5.4 Statistiske analyser

Forskjeller omtalt som signifikante er analysert med ANOVA, One-Way, Turkey's multiple comparison test. Samspilleffekter er testet med ANOVA, One-Way, General Linear Model (GLM) (Minitab 15). Signifikante p-verdier; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

Enkel statistikk; gjennomsnitt og standardavvik er analysert med STAT, BASIC STATISTICS (Minitab 15).

5.0 Resultater

Høstforsøk

5.1 Vegetative og generative vekst

Tabell 4: Virkning av lyskvalitet på vegetativ - og generativvekst; Bladstilkengde, antall blomster, tørrvekt av: topp, rot og hele planten ved forsøkslutt. Gjennomsnittsverdier av ti planter.

	HPS	LED	MIX	Signifikans
Bladstilk (cm)	21,6 a	16,8 b	20,2 a	***
Blomster (n)	24,7 b	19,3 c	42,0 a	*
DW topp (g)	38,8	32,3	44,1	NS
DW rot (g)	1,5 a	0,7 b	1,6a	**
Total DW (g)	40,3	33,1	45,7	NS

NS, ikke signifikant; DW, tørrvekt. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparison test. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Tabell 4 gir en oversikt over biomasseproduksjon i ulike planteorgan, morfologiske responser og antall blomster ved forsøkslutt, 07.12.09. Det var morfologiske forskjeller mellom LED og de andre lysklimaene i form av strekning i bladstilker ($p \leq 0,001$). HPS hadde 6,9 % lengre bladstilker enn MIX, og 28,5 % lengre enn LED. MIX dannet flest blomster, henholdsvis 117,6 % og 70,0 % flere enn LED og HPS, og det var signifikante forskjeller mellom alle tre lysklimaene ($p \leq 0,05$). MIX lysklimaet resulterte også i best rotvekst. Det var signifikante forskjeller mellom MIX og LED, og mellom HPS og LED ($p \leq 0,001$). MIX hadde 6,67 % og 128,57 % større rot enn HPS og LED. Forskjellen i rotvekst var signifikant mellom LED og de andre lysklimaene ($p \leq 0,01$). Den totale biomasseproduksjonen var ikke signifikant forskjellig; MIX hadde likevel 38 % høyere biomasse enn LED og 13,6 % høyere enn HPS.



Figur 11: Bærene hang ned langs rennene (Foto: Staffan Bengtsson).

Tabell 5: Virkning av lyskvalitet på vegetativ - og generativvekst; Bladdanningsrate, utløpsrate, blomsterstandrate og blomsterrate. Gjennomsnittsverdier av ti planter.

	HPS	LED	MIX	Signifikans
Blad (n/plante/dag)	0,47	0,45	0,48	NS
Utløpere (n/plante/dag)	0,10	0,12	0,10	NS
Blomsterstander (n/plante/dag)	0,18	0,20	0,22	NS
Blomster (n/plante/dag)	0,74	0,58	0,76	NS

NS, ikke signifikant; n, antall. Ikke signifikante verdier er bestemt ved Turkeys multiple comparaison test. $P > 0,05$.

Tabell 5 viser variasjonen i kvantitative vekstresponser, både vegetative og generative. Det var ingen signifikante forskjeller i blad, utløper, blomsterstand og blomsterrate. MIX så ut til å produsere flest blomsterstander, etterfulgt av LED og HPS. Det var 2,7 % og 31 % flere blomster i MIX sammenlignet med HPS og LED. LED behandlingen dannet flere blomsterstander enn HPS, men antall blomster per stand var lavere (data ikke vist).

5.2 Kjemiske analyser

Tabell 6: Virkning av lyskvalitet på oppløst tørrstoff, titrerbarsyre, optisk tetthet, pH og tørrstoff %

	HPS	LED	MIX	Signifikans
Oppløst tørrstoff % (sukker)	8,00	7,50	7,70	NS
Titrerbar syre % (sitronsyre)	0,93	0,92	0,91	NS
Optisk tetthet, ved 515nm	0,19	0,14	0,17	NS
pH	3,47	3,50	3,47	NS
Tørrstoff %	7,22 a	6,15 b	7,02 a	*

NS, ikke signifikant; nm, nanometer. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparaison test. * $p \leq 0,05$. Gjennomsnittsverdier.

Tabell 6 viser innhold av oppløst sukker og titrerbarsyre (sitronsyre), samt mål for farge (optisk tetthet), pH og tørrstoffprosent. Det var ingen statistiske kvalitetsforskjeller, med unntak av tørrstoffprosenten, som var signifikant forskjellig mellom LED og de andre lysklimateene ($p \leq 0,05$). HPS viste høyest tørrstoffprosent, og var 17,39 % og 2,8 % høyere enn LED og MIX. HPS hadde også 6,6 % og 3,9 % høyere innhold av oppløst sukker enn henholdsvis LED og MIX basert på refraktormeterverdien. Syreinnholdet varierte med $\pm 1-2$ % mellom behandlingene. HPS produserte bær med best farge, og hadde 11,7 % og 35,7 % høyere optisk tetthet, sammenlignet med MIX og LED. pH var høyest i LED. HPS resulterte i de beste verdiene for alle kvalitetsparametrene.

5.2.1 Fytokjemikalier og antioksidant kapasitet

Tabell 7: Virkning av lyskvalitet på innhold av fytokjemikalier; *L-ascorbinsyre* (C-vitamin), *total fenoler* (TF), *totale monomere anthocyaniner* (TMA) og *Ferric Reducing activity power* (FRAP).

	HPS	LED	MIX	Signifikans
<i>L-ascorbinsyre</i> (mg/100g FW)	43,4	45,2	50,0	NS
TF mg(GAE/100g FW)	232,4	195,4	209,4	NS
TMA(mg cy-3-gluE/100g FW)	16,3	15,7	14,5	NS
FRAP(mmol Fe ²⁺ /100g FW)	2,9	2,5	2,7	NS

NS, ikke signifikant; FW, frisk vekt; GAE, gallesyre ekvivalenter; cy-3-gluE, cyanidin-3-glukosid. Ikke signifikante verdier er bestemt ved Turkeys multiple comparison test. $P > 0,05$. Gjennomsnittsverdier.

Tabell 7 viser innholdet av helserelevante fytokjemikalier; C-vitamin, fenoler, anthocyaniner og antioksidantaktivitet. Det var ingen statistiske forskjeller i fytokjemikalinnhold og antioksidantaktivitet mellom lysklimate. Fenolinnholdet korrelerer positivt med antioksidantaktiviteten i bærene.

5.3 Resultater

Vårforsøk

5.3.1 Vegetative og generative vekst

Tabell 8: Virkning av lyskvalitet på vegetativ - og generativvekst; Relativt klorofyllinnhold, antall blad, antall blomsterstander, bladstilk lengde, bladareal, tørrvekt av: Blad, bladstilk, blomsterstand, topp, rot og hele planten ved forsøksslutt. Gjennomsnittsverdier av ti planter.

	HPS	LED	MIX	Signifikans
Klorofyllinnhold	20,03 b	22,9 a	19,6 b	*
Blad (n)	42,2	48,8	50,4	NS
Blomsterstand (n)	21,0 b	14,6 c	31,0 a	***
Bladstilk lengde (cm)	14,2b	13,1 c	16,7 a	***
Bladareal (cm ²)	2250 b	2730 b	4111 a	**
DW blad (g)	14,4 b	15,9 b	26,7 a	**
DW bladstilk (g)	4,5c	6,0b	8,3 a	**
DW blomsterstand (g)	8,2 b	6,1 b	15,6 a	***
DW topp (g)	33,8 b	31, b	61,9 a	**
DW rot (g)	2,8 b	2,5 b	6,2 a	***
Total DW (g)	36,6 b	33,8b	68,2 a	**

NS, ikke signifikant; DW, tørrvekt. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparison test. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Tabell 8 gir en oversikt over kvantitative responser på lyskvalitet; Klorofyllakkumulering, morfologipåvirkning og biomasseproduksjon ved forsøkslutt, 08.04.10. Det relative innholdet av klorofyll var høyest i LED. Bladene fra LED lysklimaet innholdt 14,32 % og 16,83 % mer klorofyll enn HPS og MIX. Klorofyllinnholdet var signifikantforskjellig mellom LED og de andre lysklimaene ($p \leq 0,05$). Morfologiske forskjeller i bladstilkengde og bladareal ble også observert. Bladstilkene i MIX var 27,48 % og 17,6 % lengre enn i LED og HPS ($p \leq 0,001$). Bladarealet i MIX var henholdsvis 82,71 % og 50,58 % større enn HPS og LED, og resulterte i 85,41 % og 67,99 % høyere biomasse i blad. Bladantallet var også forskjellig og flest blad ble observert i MIX etterfulgt av LED og HPS. Plantene i MIX hadde gjennomsnittlig 8,2 og 1,6 blader flere enn HPS og LED, men det var ingen statistiske forskjeller (NS). Bladarealet var signifikant forskjellig ($p \leq 0,01$) mellom MIX og de andre lysklimaene, det samme gjelder biomassen i blad ($p \leq 0,01$) og bladstilk ($p \leq 0,01$). Bladstilkene var henholdsvis 84,4 % og 38,33 % tyngre i MIX sammenlignet med HPS og LED.

Veksten i generative organ var også påvirket av lysklima; Det var også flest blomsterstander i MIX. Sammenlignet med HPS og LED var det henholdsvis 47,61 % og 112,32 % flere blomsterstander i dette lysklimaet. Det var signifikante forskjeller mellom alle lysklimaene ($p \leq 0,001$), og det samme gjaldt biomassen i blomsterstandene ($p \leq 0,001$). Biomassen til blomsterstandene i MIX var 90,24 % høyere enn i HPS og 155,73 % høyere enn i LED. MIX dannet altså flere og tyngre blomsterstander sammenlignet med de andre lysklimaene. Biomasseproduksjonen i MIX var høyest i alle de individuelle planteorganene – og den totale produksjonen i dette lysklimaet var henholdsvis 86,33 % og 101,77 % høyere enn for HPS og LED. Forskjeller mellom MIX og de andre lysklimaene for total tørrvekt var signifikante ($p \leq 0,01$).

Tabell 9: Virkning av lyskvalitet på vegetativ - og generativ vekst; Bladdanningsrate, bladutfoldingsrate, utløpsrate, inflorescerate og blomsterrate. Gjennomsnittsverdier av ti planter.

	HPS	LED	MIX	Signifikans
Blad (n/plante/dag)	0,61	0,64	0,64	NS
Bladutfolding (dager)	5,72	5,42	5,61	NS
Utløpere (n/plante/dag)	0,11	0,10	0,08	NS
Blomsterstander (n/plante/dag)	0,11	0,15	0,17	NS
Blomsterrate (n/plante/dag)	0,48 b	0,27 b	0,87 a	*

NS, ikke signifikant; n, antall. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparison test. * $p \leq 0,05$.

Tabell 9 gir en oversikt over kvantitative vekstresponser på de ulike lysklimaene, både vegetative og generative. Det ble ikke observert statistiske forskjeller i blad, utløper og blomsterstandrate. Bladutfoldingen var noe raskere i LED, henholdsvis 0,19 og 0,3 dager raskere enn MIX og HPS, men forskjellen var ikke signifikant. Plantene i MIX dannet flest blomster per dag. Sammenlignet med HPS og LED ble det dannet 81,25 % og 222,22 % flere blomster i MIX. Det var signifikant forskjell i blomsterdanning mellom MIX og de andre lysklimaene ($p \leq 0,05$).

5.4 Kjemiske målinger

Tabell 10: Virkning av lyskvalitet på oppløst tørrstoff, titrerbar syre, optisk tetthet, pH og tørrstoff %

	HPS	LED	MIX	Signifikans
Oppløst tørrstoff %	9,30	8,28	8,18	NS
Titrerbar syre % (sitronsyre)	1,24	1,20	1,19	NS
Optisk tetthet, ved 515nm	0,28 a	0,17 b	0,23 a	***
pH	3,44 a	3,53 b	3,46 a	***
Tørrstoff %	9,70	8,70	9,24	NS

NS, ikke signifikant; nm, nanometer. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparison test. *** $p \leq 0,001$. Gjennomsnittsverdier.

Tabell 10 gir en oversikt over innhold av oppløst sukker, titrerbar syre (sitronsyre), samt mål for farge (optisk tetthet), pH og tørrstoffprosent i bærene. Innholdet av oppløst sukker var høyest i HPS, etterfulgt av LED og MIX. HPS hadde 12,31 % og 13,69 % høyere innhold av oppløst sukker sammenlignet med LED og MIX. Den samme tendensen ble observert for titrerbar syre; HPS innholdt henholdsvis 3,33 % og 4,2 % høyere syreprosent enn LED og MIX. Forskjellene var ikke-signifikante for begge parametrene. Absorbansen til bærsaften ved 515nm – den optiske tettheten var høyest i HPS; 64,7 % og 21,7 % sterkere absorbans sammenlignet med LED og MIX. Bærene i HPS hadde altså den beste fargen. pH var lavest i HPS etterfulgt av MIX og LED. Det var signifikante forskjeller i optisk tetthet og pH mellom LED og de andre lysklimaene ($p \leq 0,001$). Den høyeste tørrstoffprosenten ble observert i HPS, og var 11,49 % og 4,97 % høyere enn i LED og MIX. Tørrstoffprosenten var ikke signifikant forskjellig. Bærene av høyest kvalitet ble produsert i HPS.

5.4.1 Fytokjemikalier og antioksidantkapasitet

Tabell 11: Virkning av lyskvalitet på innhold av fytokjemikalier; *L-ascorbinsyre* (C-vitamin), total fenoler (TF), totale monomere anthocyaniner (TMA) og Ferric Reducing activity power (FRAP).

	HPS	LED	MIX	Signifikans
<i>C-vitamin</i> (mg/100g FW)	72,7 a	58,9 b	66,5 a	**
<i>TF</i> (mg GAE/100g FW)	300,2 a	248,3 b	293,3 a	***
<i>TMA</i> (mg/L cy-3-gluE)	21,4 b	14,6 c	35,1 a	***
<i>FRAP</i> (mmol Fe ²⁺ /100g FW)	3,6 a	3,2 b	3,6 a	***

FW, frisk vekt; GAE, gallesyre ekvivalenter; cy-3-gluE, cyanidin-3-glukosid. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparison test. ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$. Gjennomsnittsverdier.

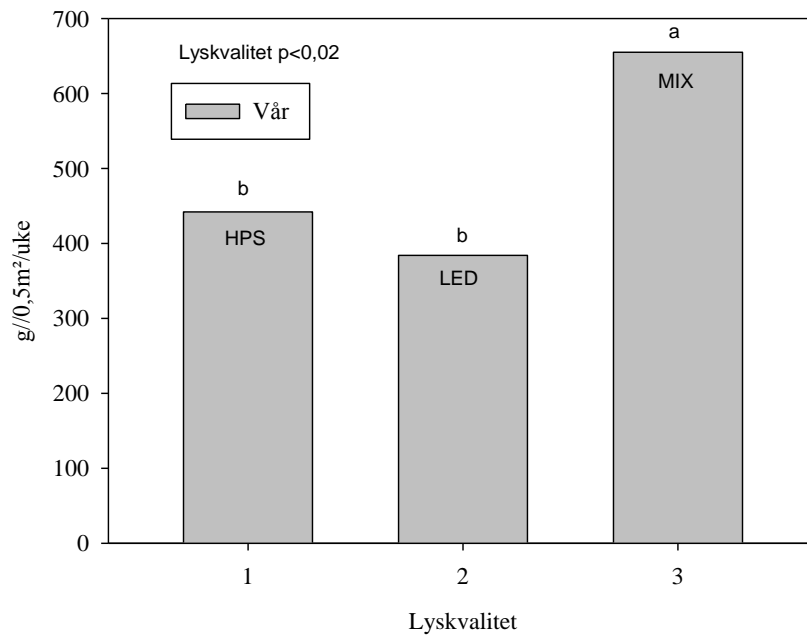
Tabell 11 gir en oversikt over innholdet av helserelevante fytokjemikalier, og antioksidantaktivitet i bærene. De ulike lysklimatene hadde stor innvirkning på akkumuleringen av de ulike forbindelsene. Det høyeste innholdet av C-vitamin ble registrert i HPS etterfulgt av MIX og LED. Bærene i HPS inneholdt 23,42 % og 9,32 % mer C-vitamin enn LED og MIX. Det var signifikante forskjeller mellom LED og de andre lysklimatene ($p \leq 0,01$). Trenden var den samme for total fenoler, og fenolinnholdet var også høyest i HPS. Sammenlignet med LED og MIX var andelen fenolforbindelser 20,9 % og 2,35 % høyere i HPS. Også her var det signifikante forskjeller mellom LED og de andre lysklimatene ($p \leq 0,001$). Det ble observert en kraftig økning i monomere anthocyaniner under MIX; anthocyanininnholdet steg med henholdsvis 140,4 % og 64 % i forhold til LED og HPS, og det var signifikante forskjeller mellom alle lysklimatene ($p \leq 0,001$). Antioksidantaktiviteten var lik i HPS og MIX, men var signifikant lavere i LED ($p \leq 0,001$); 12,5 %. Det er en positiv korrelasjon mellom antioksidantaktiviteten og både total fenoler og C-vitamin i vårforsøket.



Figur 12: Slik så det ut i kombinasjonsbehandlingen (Foto; Staffan Bengtsson).

5.5 Avling

Virkning av lyskvalitet på avling



Figur 13: Virkning av lyskvalitet på ukentlig avling av jordbær. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig i Turkeys multiple comparison test. $p \leq 0,05$

Figur viser gjennomsnittlig ukentlig avling/0,5m² (10 planter) i vårforsøket. MIX gav den høyeste avlingen, etterfulgt av HPS og LED, henholdsvis 48,19 % og 28,57 % større avling. Det var signifikante forskjeller mellom MIX og de andre lysklimateene. Bær av ikke salgbar kvalitet er ikke inkludert her.

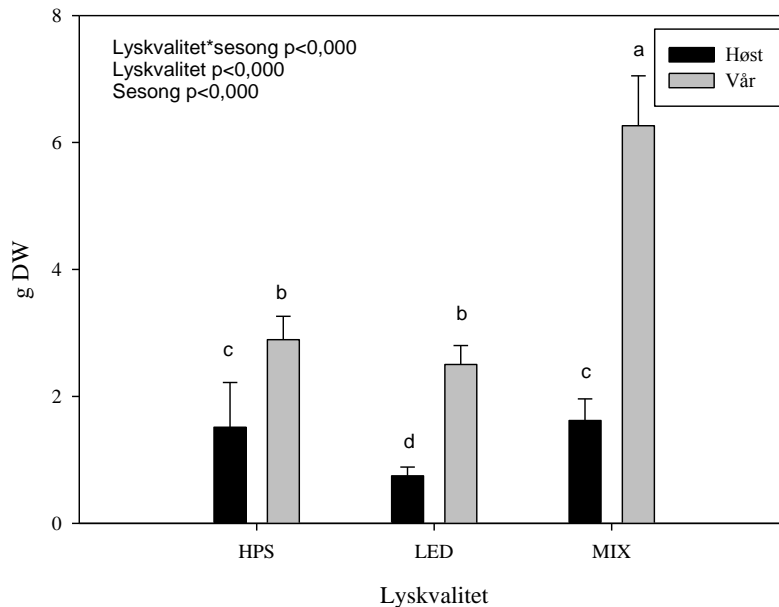


Figur 14: Nyhøstede jordbær, våren 2010 (Foto: Staffan Bengtsson)

5.6 Sammenligning av høst og vår forsøk - samspilleffekter

5.6.1 Rotvekst

Virkning av lyskvalitet og biologisk rensing av næringsløsning (vår) på rotvekst
Forskjell mellom høst og vår forsøk



Figur 15: Virkning av lyskvalitet og biofilter med *T.harzianum*, *S. lydicus* og *S. griseus*. Ulike bokstaver representerer signifikanteforskjeller ved One-way ANOVA, GLM.

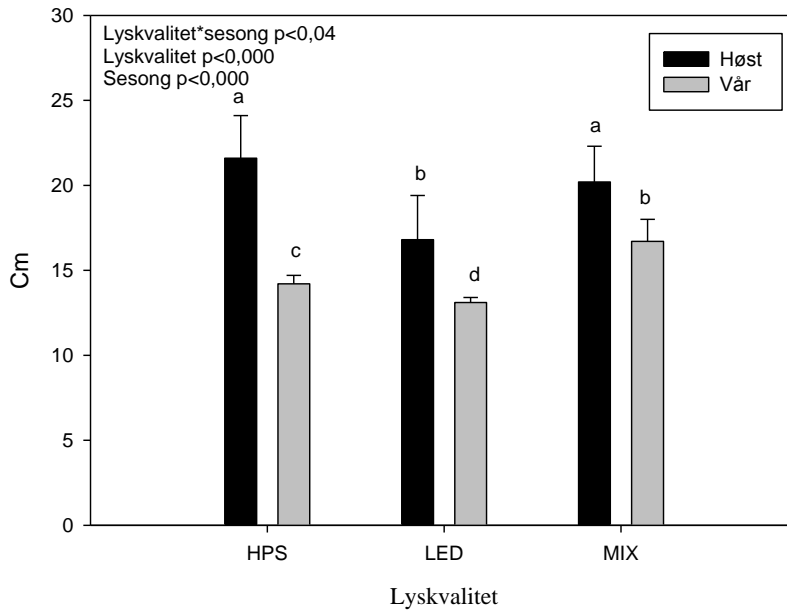
Det var store variasjoner i rotvekst mellom forsøkene. MIX hadde den beste rotveksten i begge forsøkene, etterfulgt av HPS og LED. Rotveksten økte i alle behandlingene om våren sammenlignet med høst; 287,5 %, 257,1 % og 86 % for henholdsvis MIX, LED og HPS. Det var signifikant interaksjon mellom lyskvalitet og sesong. Denne samspilleffekten bør tolkes med forsiktighet som følge av den biologiske rensingen av næringsløsningen.



Figur 16: Røtter i NFT (Foto:Staffan Bengtsson).

5.6.2 Morfologiske responser

Virkning av lyskvalitet på vekst i bladstilker -
Forskjell mellom høst - og vårforsøk



Figur 17: Sammenligning mellom høst - og vårforsøk; Bladstilkengde.
Ulike bokstaver representerer signifikantforskjeller ved One-way ANOVA, GLM.

Bladstilkene ble redusert med henholdsvis 7,4cm, 3,7cm og 5,7cm i HPS, LED og MIX om våren. Også her må samspillet tolkes med forsiktighet som følge av den varierende kultiveringspraksisen mellom høst – og vårforsøket; Det er ikke gitt at lysklimaets påvirkning bladstilkengden er sesongavhengig.

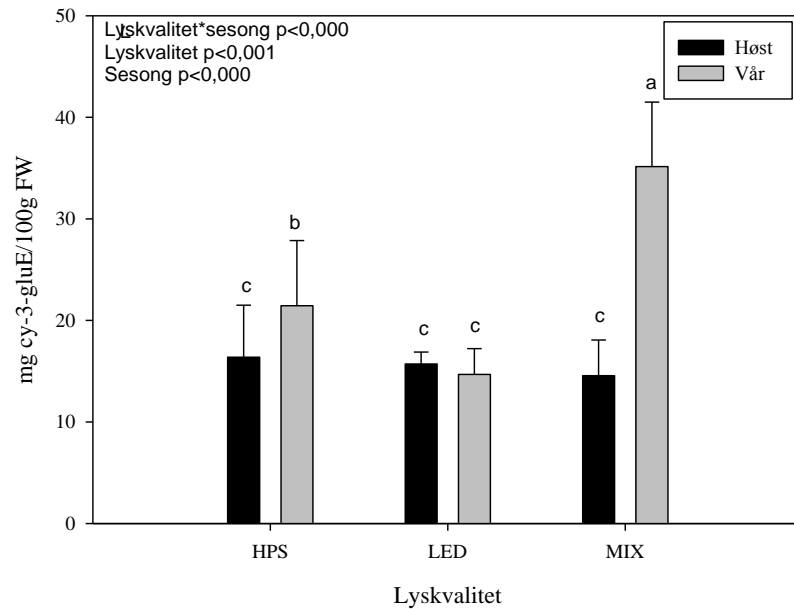


Figur 18: Morfologien i LED behandlingen skilte seg fra de andre, og veksten var mer opprett (Foto: Staffan Bengtsson).

5.6.3 Kvalitet

Fytokjemikalier

Virkning av lyskvalitet på innholdet av *totale monomere anthocyaniner* -
Forskjell mellom høst og vår forsøk

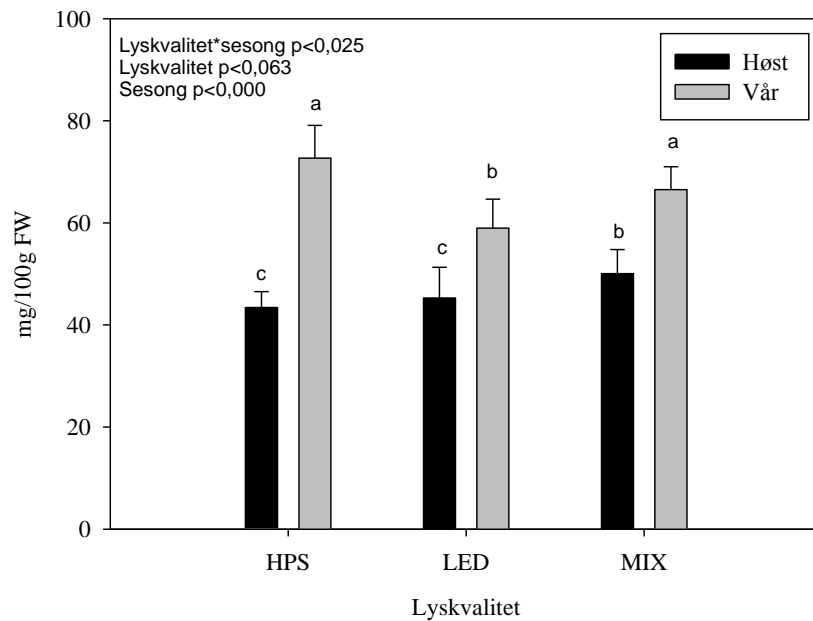


Figur 19: Sammenligning av høst - og vårforsøk; Innhold av monomere anthocyaniner. Ulike bokstaver representerer signifikanteforskjeller ved One-way ANOVA, GLM.

Innholdet av monomere anthocyaniner ble tydelig påvirket av sesong. Om høsten hadde HPS den høyeste andelen anthocyaniner, etterfulgt av LED og MIX. Om våren var tendensen en helt annen; MIX hadde den høyeste andelen anthocyaniner, etterfulgt av HPS og LED. Anthocyanin innholdet steg om våren i HPS og MIX, henholdsvis 30,95 % og 141 %. I LED ble innholdet redusert med 6,5 %. Det ble også observert en interaksjon mellom de to faktorene; Virkningen av lyskvaliteten er altså avhengig av sesong.

C-vitamin

Virkning av lyskvalitet på innhold av *L-Ascorbinsyre* (C-vitamin) - Forskjell mellom høst og vår forsøk

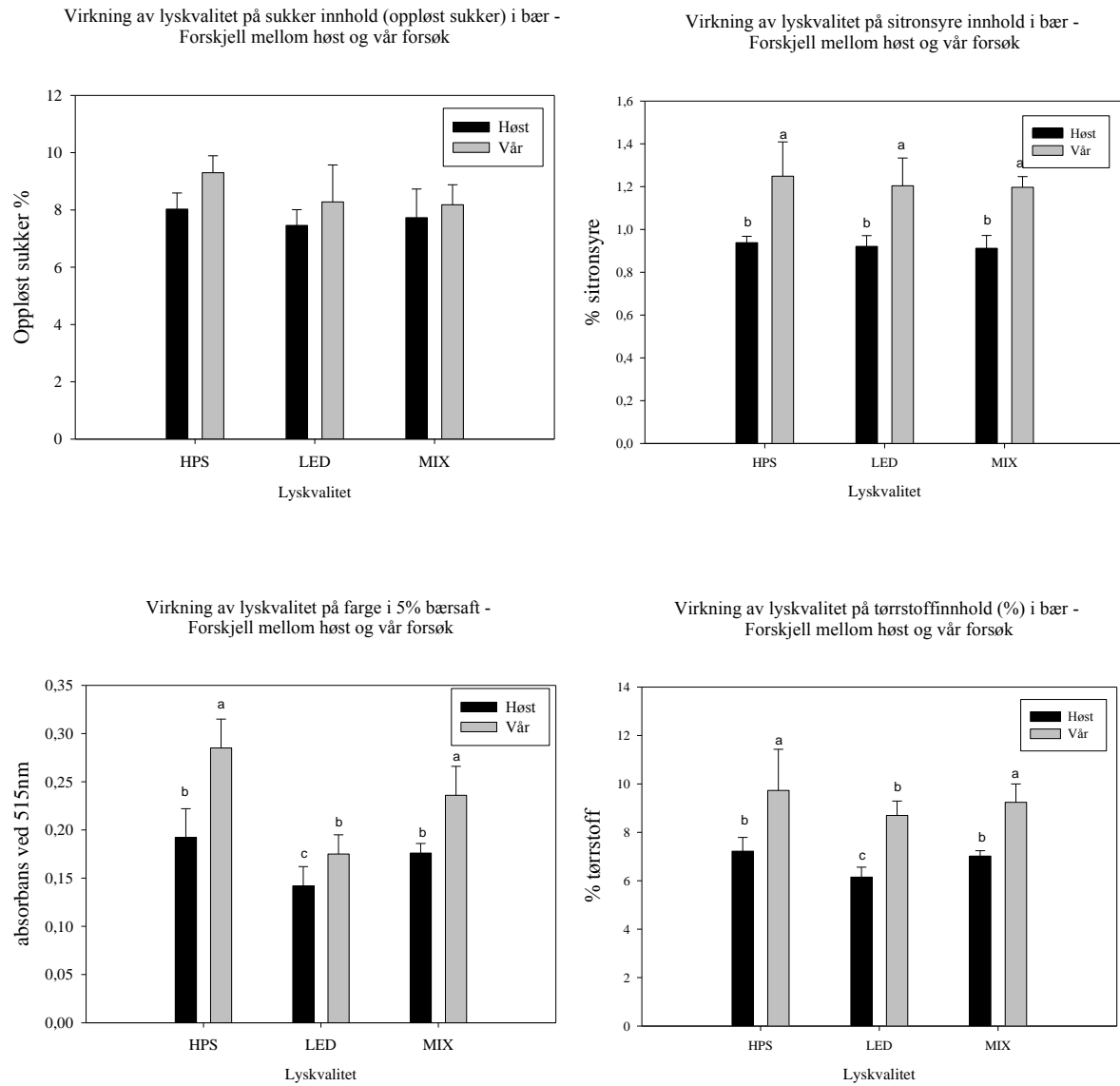


Figur 20: Sammenligning av høst - og vårforsøk; Innhold av C-vitamin.
Ulike bokstaver representerer signifikanteforskjeller ved One-way ANOVA, GLM.

Om høsten var C-vitamin innholdet høyest i MIX, etterfulgt av LED og HPS. Om våren var trenden snudd; Bærene i HPS innholdt mest C-vitamin etterfulgt av MIX og LED. C-vitamininnholdet økte om våren. Den største økningen kom i HPS, som økte med 67,5 %. LED økte med 30,3 % og MIX med 33 %. Det ble observert en interaksjon mellom lyskvalitet og sesong; Virkningen av lyskvaliteten på danning av C-vitaminer er sesongavhengig ($p \leq 0,025$).

5.7.0 Forskjell mellom høst og vår – oversikt

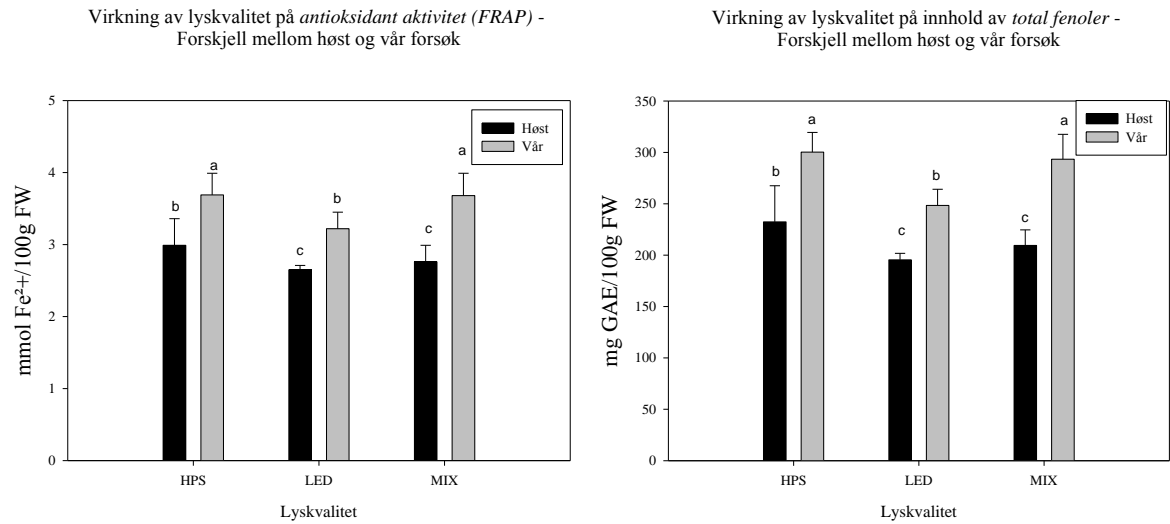
Kjemiske målinger



Figur 21: Grafisk sammenligning av kvalitet i høst- og vårforsøk; Oppløst sukker, titerbar syre, optisk tetthet og tørrstoffprosent. Ulike bokstaver representerer signifikante forskjeller.

5.7.1 Forskjeller mellom høst og vår – oversikt

Fytokjemikalier



Figur 22: Grafisk sammenligning av kvalitet i høst- og vårforsøk; Antioksidantaktivitet og total fenoler. Ulike bokstaver representerer signifikante forskjeller.



Figur 23: Slik så det ut i HPS behandlingen (Foto: Staffan Bengtsson).

6.0 Diskusjon

6.1 Høst forsøk

Vegetativ vekst og morfologi

Bladdanningsraten ble registrert som et kvantitativt uttrykk for vegetativ vekst, men det ble ikke observert signifikante forskjeller mellom behandlingene. Tidligere studier har vist at rødt lys fremmer bladdanning i remonterende jordbær (Nishiyama et al., 2009). Utløpsraten ble også registrert som et kvantitativt uttrykk for vegetativ vekst, men heller ikke her ble det observert signifikante forskjeller. Danning av utløpere i remonterende jordbær påvirkes av både fotoperiode og temperatur (Smeets, 1980). Ingen av disse parametrene varierte i forsøket. Heide (1976) viste at optimal temperatur for utløpsformasjon i jordbær er 24°C, og at optimal daglengde er 16 timer. Det finnes også indikasjoner på at 100 % blått lys kan hemme danningen av utløpere i jordbær (Folta & Childers, 2008). Den høye andelen blått lys i LED behandlingen hadde imidlertid ingen hemmende effekt på utløpsraten i høstforsøket. Variasjon i lysklima mellom behandlingene gjør det vanskelig å knytte de ulike vekstresponsene direkte til lyskvaliteten.

Det har vist seg problematisk å få sorten 'Ria' til å produsere utløpere i formerings-sammenheng (Personlig kommunikasjon; Gry Skjeseth). På bakgrunn av forsøksresultatene her, er nok dette et spørsmål om lengden på fotoperioden, men kan også være et resultat av økt CO₂ konsentrasjon. Det ble gitt 800ppm i alle behandlingene. Tidligere forsøk med økt CO₂ konsentrasjon i poteter indikerer at en slik økning påvirker danningen av utløpere (stoloner) (Mingo-Castel et al., 1976; Mingo-Castell et al., 1976).

Bladstilkene viste tydelig morfologisk respons på lyskvaliteten. Bladstilkene var 5 cm lengre i HPS sammenlignet med LED. MIX hadde en intermediaær bladstilk lengde. Dette kan forklares med rødt/mørkerødt (R/MR) forholdet og/eller andelen blåttlys i tilleggsbelysningen. I HPS var R/MR forholdet 4,3, og i MIX var forholdet 13,4. Tilleggslyset i LED inneholder ikke MR lys. R/MR forhold oppfattes av fytokromsystemet (R:600-700nm, MR: 700-800nm) (Franklin & Whitelam, 2005), og responser på mørkerødt lys omtales ofte som skyggeunnavvikelsesresponser (Smith, 1982). Typiske morfologiske endringer under MR lys er økt apikal dominans, og økt strekning i bladstilker og internodier (Smith, 1982).

Reduksjonen i bladstilk lengde observert i LED kan også være knyttet til kryptokrom responser på blåttlys. Kryptokromene (400-500nm) er blåttlys (B) reseptorer i planter, og blått lys virker blant annet hemmende på strekningsvekst (Taiz & Zeiger, 2006). Den observerte, intermediære bladstilk lengden i MIX kan indikere at både fytokrom og kryptokrom er involvert.

Lysklimaet påvirket også bladenes orientering mot lyskilden. I LED var veksten tydelig retningsbestemt. Veksten var opprett, og bladplatene strakk seg mot lyset. Lignende ble observert i MIX, men i noe mindre grad og hovedsakelig i midten av kulturen, rett under LED rammen. Fototropiner oppfatter lys mellom 320-500nm (Taiz & Zeiger, 2006), og regulerer retningsbestemt vekst. I HPS hang flere av bladene ned langs rennene, og veksten var mindre opprett. Dette resulterte sannsynligvis i bedre lyshøsting i LED og MIX sammenlignet med HPS.

Generativ vekst

Blomsterstandrate ble registrert som et kvantitativt mål på generativ vekst. Det var ikke signifikante forskjeller mellom behandlingene. Heller ikke blomstringsraten viste signifikante forskjeller. HPS og MIX produserte flere blomster enn LED, noe som kan være et resultat av den noe lavere PPF i LED, men det kan også være et resultat av mangelen på MR lys. Collins (1966) observerte en positiv korrelasjon mellom andelen MR lys og antall blomsterstander, og forsøk med remonterende jordbær i Japan har også gitt indikasjoner på at MR lys fremmer danningen av blomsterstander (Nishiyama, 2009). LED dannet færre blomster per blomsterstand sammenlignet med HPS og MIX. Sannsynligvis er dette et resultat av lavere PPF i plantesjiktet eller svakere induktive forhold i planten på grunn av mangel på MR lys. Tidligere undersøkelser her i landet har vist positiv korrelasjon mellom PPF og antall blomsterstander (Verheul & Grimstad, 1999)

Total biomasseproduksjon

Plantenes totale biomasseproduksjon ble registrert som tørrvekt ved forsøksslutt. MIX hadde den høyeste tørrvekten, og var også behandlingen med størst bær produksjon (resultat ikke vist). LED produserte minst biomasse, men det var ikke signifikante forskjeller mellom behandlingene. I samme forsøksoppsett ble det observert høyere fotosyntese i roser uten at dette så ut til å påvirke den totale tørrvekten, men fordelingen mellom stilk og blad (upublisert data). Rotveksten var signifikant mindre i LED sammenlignet med de andre behandlingene.

Det ble påvist angrep av *Phytium spp.* i alle behandlingene, og dette har trolig vært en begrensende faktor, som har påvirket resultatene. Angrepet så ut til å øke ved reduserende lys intensitet, og LED behandlingen fremstod som sterkest angrepet visuelt sett.

Spesielt for høst forsøk

En del av forsøksarbeidet bestod i å utvikle en alternativproduksjonsmetode for helårs produksjon av jordbær. Derfor ble det i starten brukt kommersielle gjødselblandinger som er tilgjengelig på det norske markedet. Ingen av utprøvde blandinger (4.1: 1-3) resulterte i tilfredsstillende pH. Ifølge Adams (2002) må det stilles høyere krav til næringsstoffene man bruker i vannkultur, og kun de reneste saltene bør brukes for å hindre akkumulering av uønsket forurensing i løsningen. Kationbytte kapasiteten til jord og organiske medier har evnen til å binde slike forurensinger. I tillegg er rotsonen kontinuerlig i kontakt med næringsløsningen i vannkultur, og rot volumet er lite sammenlignet med i jord eller organiske medier, ergo gjør problemer seg raskere gjeldene i vannkultur. Under utprøving av de ulike næringsløsningene ble det observert ulike tegn på mistrivsel hos plantene. Knoppene på nydannede blomsterstander ble klorotiske – i enkelte tilfeller nekrotiske. Det samme gjaldt begerblad på eldre blomster, og bærene virket tilsynelatende ufullstendig pollinert. I tillegg fikk bladstilkene langsgående sprekker, og bladrandene ble nekrotiske. De samme symptomene ble observert i alle behandlingene, men var mest dominerende i LED. Plantene ble grundig undersøkt av næringsmangelspecialisten Ivar Åsen, og viste tegn til både kalsium og kaliummangel. Fraværet av infrarød stråling (IR) i LED behandlingen førte til en reduksjon i bladtemperatur på $1,9 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (data ikke vist), og det ble spekulert i om mangelsymptomene i blomsterknoppene var fysiologiske (kalsium) som følge av redusert transpirasjon (ingen IR) og høy relativ luftfuktighet. Antagonisme mellom NH_4 og Ca, og K og Ca i rhizosfæren ble også vurdert som mulige forklaringer.

Symptomene i blomstene er forenlige med såkalt ”tørket begerblad lidelse” (SDCD, strawberry dried calyx disorder)(Fig..). Dette er kjent problem i vannkulturdyrkede jordbær i Sør-Europa og USA. SDCD symptomer gjør seg gjeldene under stressende forhold som blant annet lav temperatur og lite lys, og er nært relatert til ledetallet i næringsløsningen (Chandler

& Santos, 2009). Et veksthusforsøk i Florida undersøkte betydningen av ledetall i utviklingen av SDCD i vannkultur. Allerede etter 30 dager ved ledetall 1,2 mS/cm ble det observert SDCD i sortene 'Strawberry festival' og 'Camino real'. Andre sorter viste symptomer først etter 45-55 dager både ved 1,2 mS/cm og 2,4 mS/cm (Chandler & Santos, 2009). Det er altså store variasjoner i salttoleranse mellom sorter.



Fig.: SDCD (tørket begerblad lidelse) (Santos & Chandler, 2009).

Ledetallet i høstforsøket var satt til 1,5 mS/cm, men hadde en tendens til å stige. En daglig økning i ledetall indikerte at vannforbruket var høyere enn næringsopptaket. Målerdien for ledetallet var trolig noe høyt i forhold til lysforholdene, og var sannsynligvis en av årsakene til SDCD i høstforsøket. Mangelsymptomene i blad og bladstilk kan som nevnt ha vært et resultat av antagonisme i næringsløsningen eller redusert transpirasjon ved lavere bladtemperatur og høy luftfuktighet. Spesielt Ca er avhengig av transpirasjonsstrømmen for opptak og translokasjon i planten. Tidligere studier har dokumentert kraftig reduksjon i vekstrate og vannopptak for tomat planter inokulert med *P. aphanidermatum*. 10^4 oosporer ml^{-1} reduserte veksten i skudd med opptil 71 %, og rotveksten med 63 % (Schwarz & Grosch, 2003). Det er grunn til å tro at *Phytium spp.* også har påvirket opptak og vekst i høstforsøk, og at dette igjen har resultert i mangelsymptomer.

Etter dårlige erfaringer med næringsløsning 1-3 (4.1) ble næringsløsning 4 (4.1) tatt i bruk 01.11.09. Ledetallet ble redusert noe, og pH stabiliserte seg omsider. Plantene var på dette tidspunktet tydelig preget av den foregående perioden, og angrepet av *Phytium spp* blomstret

tilsynelatende opp i perioden med ustabil ledetall og pH. I den påfølgende perioden, med ny næringsløsning, var det tegn til ny tilvekst i røttene, men plantene kom seg aldri helt igjen.

6.2 Kjemiske analyser

De kjemiske analysene viste ingen signifikante forskjeller for oppløst tørrstoff, titrerbar syre, optisk tetthet, og pH mellom lysbehandlingene. Innholdet av oppløst sukker varierte mellom 7,5-8 %, titrerbar syre mellom 0,91-0,93 %, optisk tetthet mellom 0,14-0,19 (absorbans ved 515nm) og pH mellom 3,47-3,50. Til sammenligning undersøkte Haffner og Vesterheim (1997) kvaliteten til 15 jordbærsorter i Norge. Innhold av oppløst tørrstoff varierte mellom 6,6-10,3 %, titrerbar syre mellom 0,88-1,47 % og optisk tetthet mellom 0,06 og 0,2 (absorbans ved 515nm) for alle sortene. Innholdet av sukker, og den optiske tettheten var altså intermediær sammenlignet med frilandsbær. Syreprosenten var lav. HPS behandlingen produserte bærene med høyest andel kvalitetsrelaterte stoffer i høstforsøket. Tørrstoffprosenten var signifikant forskjellig mellom LED og de andre behandlingene, og varierte mellom 6,15-7,22 %. Dette er lavt sammenlignet med frilandsbær (7-12,6 %) (Haffner og Vesterheim, 1997). Det lave tørrstoffinnholdet i LED kan være et resultat av mindre lys på bærene. Lyskilden hang nærmere plantene, og gav ikke den samme spredningen som i de andre behandlingene. Lysmålinger bekreftet dette (resultater ikke vist). I tillegg gav morfologien til plantene en skyggeeffekt som følge av den korte avstanden mellom lys og plante, og dette hindret lyset i å nå bærene. LED var også den behandlingen som var hardest rammet av *Phytium spp.*

Kvaliteten til veksthus produserte 'Korona' er også tidligere undersøkt (Haffner et al., 1997). I dette studiet var innholdet av oppløst sukker 8,4 % (8,8 % friland), syreprosenten i bærene var 0,77 % (0,84-1,09 % friland) og den optiske tettheten var 0,07 (0,1-0,3 friland) (absorbans ved 515nm) i desember måned. Resultatene fra høstforsøket samsvarte bra med disse verdiene, og var også noe høyere for syre og optisk tetthet.

6.3 Innhold av total fenoler, monomere anthocyaniner, antioksidant aktivitet og C-vitamin

Analyse av total fenoler, monomere anthocyaniner, antioksidant aktivitet og C-vitamin viste ingen signifikante forskjeller mellom behandlingene. Innholdet av total fenoler var høyest under HPS (232,41 mg GAE/100g FW). Undersøkelser ved Særheim forsøksstasjon, Klepp har vist at innholdet av total fenoler øker i takt med lysmengde (plantedato), og varierte mellom 190-271 mg GAE/100g FW (Anttonen et al., 2006). Betydningen av dyrkingssystem (vannkultur; åpent/lukket) i dannelsen av fenolforbindelser er undersøkt i Spania (Henanz et al., 2007). Plantene ble dyrket i veksthus, og fem sorter ble studert. Det ble ikke observert signifikante forskjeller mellom systemene, kun mellom sortene. Det totale fenolinnholdet varierte fra 179-299 mg GAE/100g FW. Fenolinnholdet i høstforsøket var respektabelt sammenlignet disse forsøkene. Flere tidligere studier har undersøkt betydningen av produksjonsforhold i dannelsen av fenolforbindelser i jordbær. I Beltsville, USA ble jordbær dyrket i N-P-K:20-20-20 (fullstyrke) + kompost. Dette resulterte i en økning i fenolforbindelser (Wang & Lin, 2003). Motstridende resultater er observert i Finland, der gjødslingsforsøk har vist at ulike fenolforbindelser akkumulerer i mindre grad ved økende ledetall (Anttonen et al., 2006).

Fenolforbindelser som anthocyaniner absorberer lys av ulike bølgelengder. Spektrofotometriske målinger viser tre absorpsjons toppe for anthocyanin: 240nm (UV), 415nm (B) og 520nm (G) (Galvano, 2005). På bakgrunn av dette var det store forventninger til effekten av det blå lyset i LED. Innholdet av monomere anthocyaniner var likevel høyest i HPS (16,38 mg cy-3-gluE/100g FW). De polymere anthocyaninen lar seg ikke teste ved pH differensial metoden, men kan ha blitt påvirket av behandlingene. Plantene i LED behandlingen hadde mørkegrønne blad med blått skjær, sannsynligvis et resultat av blant annet akkumulerte anthocyaniner. Studier av roser i samme forsøksoppsett har vist høyere innhold av anthocyaniner i unge og eldre blad (upublisert data). Det ble også påvist et høyere relativt klorofyllinnhold under LED. Morfolgien og lysklimaet i LED behandlingen begrenset mengden lys som nådde bærene, og kan ha vært en begrensende faktor for anthocyaninsyntesen. Anttonen et al., (2006) viste at 32 % skygging gav en signifikant reduksjon i innholdet av anthocyaniner i bærene (9 %). Det er også dokumentert en økning i anthocyaniner ved økende lysintensitet (Vasilikakis, 1995). Motstridende resultater er også dokumentert av (Anttonen et al., 2006) der anthocyanin innholdet avtok ved senere

plantedatoer; Planting i uke 6 gav større andel anthocyaniner enn de plantet i uke 12. Forfatterne gir ingen forklaring på hvorfor anthocyanininnholdet sank ved senere plantedato.

Aktiviteten av antioksidanter (FRAP) i jordbærene var høyest i HPS (2,99 mmol Fe²⁺/100g FW). Antioksidant aktiviteten til en rekke viktige matplanter i Norge er dokumentert (Halvorsen et al., 2001). Tre jordbærsorter ble studert; 'Korona' (2,34 mmol/100g FW), 'Senga sengana' (1,85 mmol/100g FW) og 'Honeoy' (2,33 mmol/100g FW). Antioksidantverdien i høst forsøket er høy sammenlignet med resultatene til (Halvorsen et al., 2001). FRAP verdi for 'Senga sengana' (3,63 mmol/100g FW) er også dokumentert av andre forskere (Aaby, 2007). Sammenlignet med frilandsproduserte jordbær har plantene i høstforsøket fått mindre lys. Det er naturlig å anta at de andre produksjonsfaktorene også har bidratt til antioksidant aktiviteten i bærene. Studier med økt CO₂ konsentrasjon har resultert i signifikant mer antioksidanter i jordbær (Wang, 2003). Polyfenolstudier har vist at anthocyaniner sammen med ellagitanniner er de to klassene av polyfenoler som bidrar med høyest elektrokjemisk respons i jordbær – altså høyest antioksidantaktivitet (Aaby, 2007). Askorbinsyre var den største bidragsyteren av ikke-fenolske forbindelser til antioksidantaktiviteten i jordbær (24 %) (Aaby, 2007).

Aktiviteten til Phenyl alanine lyase (PAL) reguleres av ulike miljøforhold som lys, næringstilgang og soppinfeksjoner (Taiz & Zeiger, 2006). Mange helserelevante fytokjemikalier har beskyttelses oppgaver i planter, og syntetiseres i respons på stress. Angrepet av *Phytophthora spp* har trolig berørt PAL aktiviteten. Det er lite trolig at et slikt angrep har økt andelen fytokjemikalier i bærene, men det kan ikke utelukkes. Mer sannsynlig er det at *Phytophthora spp* har begrenset akkumuleringen av fenolforbindelser gjennom sin negative påvirkning på opptak av vann - og næring i rotsonen. Opptak av mineralnæring, og vedlikehold av dette er en forutsetning for anskaffing av ko-faktorer til enzymer i fenylpropanoidveien (Treutte, 2010). Blant annet sikrer Mn²⁺ og Mg²⁺ optimal PAL funksjon (Engelsma, 1972). Mangel av fosfor (P), kalsium (Ca) og bor (B) har resultert i akkumulering av fenolforbindelser i flere kulturer (Treutte, 2010). Mye tyder likevel på at jordbær produserer høyest andel fenolforbindelser under optimale produksjonsforhold (Wang & Lin, 2003).

C-vitamin innholdet var ikke signifikant forskjellig mellom behandlingene. MIX hadde det høyeste innholdet av C-vitamin (50,03 mg/100g FW) deretter fulgte LED (45,28 mg/100g

FW) og HPS (43,44 mg/100g FW). Tidligere norske studier har undersøkt blant annet C-vitamin innholdet i 15 jordbærsorter (Haffner & Vesterheim, 1997). Det gjennomsnittlige C-vitamin innholdet på tvers av sortene var 41 mg/100g FW, og varierte mellom 20-70 mg/100g FW. Veksthus dyrkede 'Korona' ble målt til 25 mg/100g FW i desember (Haffner et al., 1997). Resultater fra veksthusforsøk i Hellas med to dagnøytrale sorter, 'Fern' og 'Selva' dyrket i vannkultur viste en variasjon i C-vitamin innhold fra 18-40 mg/100g FW (Vasilikakis, 1995). Innholdet av C-vitamin i høstforsøket kan på bakgrunn av dette omtales som tilfredsstillende. Ascorbinsyre syntetiseres av sukker fra fotosyntesen (Lee & Kader, 2000). Forutsatt at økningen i fotosyntese under LED observert for roser i samme forsøksoppsett (upublisert data) også gjaldt jordbær, gir dette en mulig forklaring på forskjellen mellom behandlingene. Likevel følger vanligvis innholdet av askorbinsyre lysintensiteten (Harris, 1975), slik at økningen i LED sammenlignet med HPS vanskelig kan forklares ut ifra PPF, som var noe lavere i LED behandlingen. Wang (2003) dokumenterte en økning i askorbinsyre ved økende CO₂ (32-36 μmol/g DW), og en korresponderende reduksjon i dehydroaskorbinsyre (6-3 μmol/g DW). Det høyere innholdet i MIX er sannsynligvis et resultat av høyere PPF, men også her kan LED rammen ha bidratt til økt tilgang på fotosyntetiske karbohydrater.

6.4 Vår forsøk

Vegetativ vekst og morfologi

Raten av bladdanning, bladutfolding og utløpere viste heller ingen signifikante forskjeller i vår forsøket. Bladutfoldingsraten styres hovedsakelig av gjennomsnitts temperatur i de fleste arter (Karlsson et al., 1990), og siden temperaturen var lik i alle behandlingene var det ikke forventet store forskjeller. LED behandlingen utfoldet bladene raskest (5,4 dager) etterfulgt av MIX (5,6 dager) og HPS (5,7 dager). Den noe høyere bladtemperaturen i HPS og MIX så ikke ut til å påvirke bladutfoldingsraten. Nishimura et al., (2006) dokumenterte raskere bladutfoldingsrate i rødt lys sammenlignet med blått i *Hypericum perforatum* L., og en effekt av lyskvalitet på bladutfoldingsraten kan ikke utelukkes. CO₂ konsentrasjonen varierte noe mellom behandlingene, men flere studier avkrefter effekt av CO₂ på bladutfoldingsrate i andre kulturer (Aoki & Yabuki, 1977; Nordby et al., 2003).

Signifikante forskjeller for bladstilkengde ble observert mellom alle behandlingene. LED produserte de korteste bladstilkene. Dette er trolig en kryptokromrespons på blått lys, men kan også være en fytokromrespons i mangel på mørkerødt lys, eller en kombinasjon av de to. Her er det trolig også en thigmomorfo-genetisk respons (Taiz & Zeiger, 2006) på vind fra den installerte viften. Thigmomorfo-genese beskriver planters respons på mekanisk stress (Jaffe, 1973), og påvirker blant annet strekningsvekst. Morfologien til plantene i HPS skilte seg fra LED spesielt, men også fra MIX der veksten var mer retningsbestemt, og opprett. Dette resulterte i mer turbulens rundt bladene i HPS, der flere blad hang ned mellom rennene, og kan dermed ha bidratt til den korte bladstilkengden. Graden av *Phytium spp* angrep kan også ha påvirket veksten hos plantene. Erfaringer fra høstforsøket viste at sterkt angrepne planter resulterte i redusert strekning. Studerer man forskjellen i rotvekst mellom høst – og vårforsøket viser disse at rotveksten økte med henholdsvis 257 % og 287 % i LED og MIX, mens økningen kun var på 86 % i HPS. Dette kan indikere at plantene var sterkere angrepet av *Phytium spp*.

Bladarealet var signifikant større i MIX (4111cm²) sammenlignet med LED (2730cm²) og HPS (2250cm²). Sannsynligvis er dette et resultat av høyere PPF. Andelen blått lys i MIX og LED så ut til å påvirke bladenes orientering mot lyskilden, og kan ha påvirket graden av lyshøsting. Større bladareal resulterer i høyere fotosyntese og større karbohydratproduksjon, som igjen påvirker vekst. Bladarealet i LED var påfallende høyt sett i sammenheng med PPF, og det relative innholdet av klorofyll i bladene var også høyest der. Biosyntese av klorofyll påvirkes av både lysmengde - og kvalitet (Gupta et al., 2010), og rødt + blått lys gir den høyeste andelen relativt klorofyll i hvete. Gross & Richtere (1982) viste at spesielt blått lys var viktig i biosyntese og vedlikehold av klorofyll i tobakk. Den økte andelen klorofyll i LED har trolig påvirket graden av lyshøsting. Samme forsøksoppsett har som tidligere nevnt dokumentert høyere fotosyntese rate for roser under LED (upublisert). Høyere klorofyll innhold og fotosyntese kombinert med plantenes morfologi er en mulig forklaring på det økte bladareal i LED behandlingen. Den observerte økningen i bladareal resulterte ikke i høyere tørrvekt. Mekanisk stress (thigomorfo-genese) fra vind kan også ha bidratt til reduksjon i bladareal under HPS.

Betydning av bladtemperatur

Økningen i bladtemperatur under HPS og MIX kan ha resultert i økt transpirasjon. Diffusjonen av vann gjennom stomata vil medføre økt ekskludering av CO₂ fra bladet (Taitz & Zeiger, 2006). Den antatt lavere transpirasjonen i LED behandlingen kan ha økt CO₂ innfluksen i blad. Det er tidligere dokumentert en økning i bladareal ved økt CO₂ (Morison & Giford, 1984). Samtidig har Novak et al., (2002) vist at det finnes et linjert forhold mellom transpirasjon og opptak av makronæringsstoff i mais. Det er trolig at disse faktorene har påvirket vekst og opptak også i dette forsøket, men til hvilken grad forblir usikkert. Sannsynligvis vil transpirasjonens påvirkning på opptak av næringsstoffer være av større viktighet enn konkurransen mellom utfluks av vann, og innfluks av CO₂ gjennom stomata. Curtis & Herty (1936) har også vist at plantetemperatur innvirker translokasjonen av sukker fra blad, og at denne begrenses ved lavere temperaturer. Det fremstår som lite trolig at den lille variasjonen i bladtemperatur observert i dette forsøket, har hatt signifikant påvirkning på translokasjon av sukker i planten. Det kan allikevel stilles spørsmålsteget rundt assimilattransporten i plantene produsert under LED; Enkelte av bladene viste tegn på opphoping av karbohydrater ved at de ble sprø. I roser ble det observert signifikant høyere innhold av løselige karbohydrater i bladene (upublisert data).

Generativ vekst

Produksjonen av blomsterstander var ikke signifikant forskjellig mellom behandlingene. Den høyeste raten ble observert i MIX (0,17 per plante/dag). Blomsterraten var signifikant forskjellig mellom MIX og de to andre behandlingene, og MIX hadde flere blomster per stand. Totalt sett produserte MIX mer en tre ganger så mange blomster som LED i registreringsperioden. Plantene i LED fremstod som mer vegetative. Ved forsøksslutt hadde både MIX og HPS signifikant flere blomsterstander enn LED.

Størrelsen på forsøksavdelingen har trolig påvirket resultatene (også vegetative). HPS og LED avdelingene er mindre en MIX avdelingen, som også ligger nærmere vest vegg, noe som kan ha bidratt til en høyere andel MR lys. På dagtid når mer lys plantene som følge av tak arealet, som er dobbelt så stort som i de andre avdelingene.

Li et al., (2009) viste at effektiviteten til jordbærfruktsetting på friland er sterkt avhengig av topografi, og at fruktsetting korrelerer positivt med irradians på produksjonssted. Uten sammenligning for øvrig, understreker dette betydningen av lokasjon.

Biomasseproduksjon

Det mest oppsiktsvekkende i vår forsøket var den svært høye biomasseproduksjonen i MIX. På tørrvektbasis var biomasseproduksjonen tilnærmet dobbel så høy som i HPS og LED. Signifikante forskjeller mellom MIX og de to andre behandlingene ble observert i alle planteorganer; bladstilk, blomsterstand og rot. Mye tyder på at det brede spekteret til HPS, supplert med rødt – og blått lys fra LED bidrar til økt relativ vekstrate. Trolig har også tilgangen på utelys påvirket resultatet. Avlingstallene korrelerer bra med veksten – også produksjonen av bær var tilnærmet dobbel så stor i MIX sammenlignet med HPS og LED. Som nevnt fremstod plantene i LED behandlingen mer vegetative, og sammenligner man andelen biomasse i de vegetative og generative organene mellom behandlingene, virker denne oppfattningen rimelig; LED har høyere tørrvekt i blad – og bladstilk, samt større blad areal, mens HPS har flere blomsterstander, høyere tørrvekt i blomsterstander, flere blomster og høyere avling.

Spesielt for vår forsøket

I vårforsøket ble næringsløsning 4 (4.1) nyttet kontinuerlig. Dette resulterte i stabil pH. Ledetallet ble redusert noe, og forholdet mellom vann – og næringsopptak var stabilt gjennom hele perioden. Det ble observert SDCD også i vår forsøket, men omfanget var ubetydelig. Det var enkelte tegn til mangelsymptomer i den mørkeste perioden (januar), men disse uteble senere i forsøket. For å forebygge rotpatogen problematikken ble det installert biofilter i alle behandlingene. Det ble tilført kolonier av *Streptomyces lydicus*, *Streptomyces griseus* og *Trichoderma harzianum* ved forsøksstart, og ved påfølgende utskiftning av næringsløsning. Det er tidligere dokumentert signifikant hemming av rotråte i alfaalfa og soya bønner ved bruk av ulike *Streptomyces* isolat (Xiao et al., 2002). Sid Ahmed et al., (2003) viste at *Trichoderma harzianum* virker antagonistisk mot ulike rotpatogen i flere kulturer.

Phytium spp ble raskt påvist i alle behandlinger, men så ikke ut til å påvirke plantene i samme grad som i høstforsøket. Sammenligner man rot/topp forholdet for høst (0,02) og vår (0,08), er forskjellene påfallende store.

6.5 Kjemiske analyser

De kjemiske målingene viste ingen signifikante forskjeller for oppløst tørrstoff (8,18-9,3 %), titrerbar syre (1,19-1,24 %) eller tørrstoffprosent (8,7-9,7 %). Til sammenligning har Haffner et al., (1997) dokumentert oppløst tørrstoff verdier på 7,4 % og titrerbar syre på 0,81 % for veksthus dyrkede 'Korona' i mars. Det ble observert signifikante forskjeller i pH og optisk tetthet mellom LED og de andre behandlingene. Den optiske tettheten varierte mellom 0,17-0,28 (absorbans ved 515nm). Tidligere undersøkelser av optisk tetthet i 'Korona' har gitt gjennomsnittsverdi på 0,12 (absorbans ved 515nm) i mars (Haffner et al., 1997). HPS gav de høyeste verdiene for alle de foregående kvalitetsparametere. Det var tilsynelatende bedre lystransmisjon ned i HPS kulturen som følge av det reduserte bladarealet og plantens morfologi. Dette er en mulig forklaring på de høye verdiene. Virkning av skygge på innhold av oppløst sukker og tørrstoffprosent er dokumentert av (Awang et al., 1995), og viser at skygge signifikant reduserer innholdet av sukker og tørrstoffprosenten i bærene. Ut ifra tallene er bærene i vår forsøket av god kvalitet.

6.6 Innhold av total fenoler, monomere anthocyaniner, antioksidant aktivitet og C-vitamin

Analyse av total fenoler, monomere anthocyaniner, antioksidant aktivitet og C-vitamin viste signifikante forskjeller for alle parametere. Innholdet av totalfenol var høyest i HPS (300,2 mg GAE/100g FW) etterfulgt av MIX (293,3 mg GAE/100g FW). Sammenlignet med tidligere vår forsøk i Norge er disse verdiene høye (Attonen et al., 2006). Det var ingen klar tendens i utviklingen av fenolinnholdet etter høstedata, og fenolinnholdet økte ikke selv om lysforholdene ble bedre utover våren (data ikke vist). Studier fra Kroatia har vist at fenolinnholdet i jordbær varierer med sesong (Voca et al., 2009), og er generelt høyere i solrike perioder. Til sammenligning varierte fenolinnholdet fra 276-326mg GAE/100g FW. Gjennomsnittlig global stråling i PAR var $10\text{mol m}^{-2}\text{dag}^{-1}$, og er noe høyere enn i høstforsøket ($8\text{mol m}^{-2}\text{dag}^{-1}$). I vår forsøket økte den globale strålingen i generativ fase, mens det var

motsatt om høsten. Det økte innholdet av fenoler om våren er trolig et resultat av bedre lysforhold, men er sannsynligvis også påvirket av de forbedrede forholdene i rotsonen.

Det høyeste innholdet av monomere anthocyaniner ble registrert i MIX (35,16 mg cy-3-gluE/100g FW) og var signifikant forskjellig fra begge de andre behandlingene. De største verdiene ble registrert i de første ukene, og avtok noe frem mot forsøkslutt. Tendensen var den samme for LED (data ikke vist). Disse resultatene samsvarer med (Anttonen et al., 2006), der anthocyanin innholdet avtok utover våren. I HPS var tendensen annerledes; Den høyeste verdiene ble registrert i siste høsteuke (data ikke vist), og samsvarer med funnene til (Vasilikakis, 1995). Fruktpigmentering er et av de signifikante aspektene av fruktkvalitet, og anthocyanin er primærpigmentet i jordbær (Li et al., 2001). Lysintensiteten i MIX behandlingen har påvirket anthocyanininnholdet i bærene, men det høye innholdet er trolig også et resultat av lyskvalitet. Kurata et al., (2000) viste at anthocyanininnholdet i jordbær øker med økende lysintensitet, og at blått lys fremmet biosyntesen av anthocyaniner. Rødt lys påvirket ikke anthocyaninbiosynteses alene, men virket positivt sammen med blått. Det er også tidligere rapportert at rødt lys stimulerer anthocyaninproduksjon når det suppleres med blått lys (Macunelli et al., 1991). Innholdet av anthocyaniner i 10 sorter med veksthusdyrkede jordbær er dokumentert av (Wang & Lin, 2000), og er i overensstemmelse med MIX verdiene; Gjennomsnittlig innhold var 31,25mg cy-3-gluE/100g FW. Studier fra Kroatia viser noe lavere verdier (15,95 mg cy-3-gluE/100g FW).

Antioksidant aktiviteten var høyest i HPS behandlingen (3,69 mmol Fe²⁺/100g FW), etterfulgt av MIX (3,68 mmol Fe²⁺/100g FW) og LED (3,22 mmol Fe²⁺/100g FW). Det var signifikante forskjeller mellom LED og de to andre behandlingene. Flere produksjons faktorer påvirker innholdet av antioksidanter i frukt og bær; temperatur, lysmengde, gjødsling og CO₂. Jordbær dyrket i høy lysintensitet har høyt innhold av askorbinsyre (Wang, 2006), og ascorbinsyre (vitamin-c) er hovedbidragsyteren til antioksidantaktiviteten i jordbær (Aaby, 2007).

Det høye innholdet av bioaktive forbindelser i HPS behandlingen kan være påvirket av plantemorfologien, gjennom bedret lystilgang rundt bærene. Bladtemperaturen i MIX og HPS har trolig resultert i økt transpirasjon, og mange viktige næringsstoffer er avhengig av transpirasjonsstrømmen for opptak og translokasjon i planter (Baldwin, 2006). Treutte (2010) indikerer at optimal næringstilgang øker andelen fenolforbindelser i jordbær, og fenolforbindelser er ofte en bidragsyter til antioksidanter i planter. (Wang & Zeng, 2001) har også dokumentert økning i antioksidanter i ulike jordbær sorter ved økende temperatur, uten

direkte referanse til bladtemperatur for øvrig. Manipulering av kryptokrom gjennom økt andel blått lys så ikke ut til å øke antioksidantaktiviteten i bærene nevneverdig. Overuttrykking av *CRY2* genet i tomat har resultert i overproduksjon av anthocyaniner og klorofyll i blad, og flavonoider og lycopen i frukt (Gilberto et al., 2005). Antioksidant aktiviteten til 9 jordbær sorter er tidligere undersøkt i Italia (Tulipani et al., 2008). Til sammenligning varierte antioksidant aktiviteten i bærene mellom 0,7-2,0mmol/100g FW.

Innholdet av C-vitamin var også høyest i HPS (72,2mg/100g FW) etterfulgt av MIX (66,5mg/100g FW) og LED (58,9mg/100g FW). Det var signifikante forskjeller mellom LED og de andre behandlingene. Det er vist at lyskvalitet påvirker akkumuleringen av C-vitaminer i bygg (Samuoliene et al., 2009); Rødt lys (LED:638nm) resulterte i tilsvarende mengde C-vitamin som HPS (0,4mg/g), og rødt lys (LED:638nm) supplert med blått (LED:445nm) økte innholdet til 0,6mg/g. Ved å tilføre enda en bølgelengde rødt (LED:669nm) ble C-vitamininnholdet redusert igjen til 0,4mg/g. Tilføringen av en fjerde bølgelengde, MR (LED:735nm), økte verdien til 0,8mg/g. Dette illustrerer kompleksiteten til lysinduserte responser i planter, men gjelder nødvendigvis ikke for jordbær. Det er likevel trolig at lyskvaliteten påvirket resultatet. Generelt påvirkes C-vitamin innholdet av lysintensitet (Lee & Kader, 2000), og øker ofte proporsjonalt med denne. Lys er av større viktighet enn mineral næring i dannelsen av askorbinsyre ifølge (Somers & Beeson, 1986). Lyset har sannsynligvis vært den avgjørende faktoren for de høye C-vitamin innholdet i HPS og MIX, samtidig som skygge trolig har forårsaket de noe lavere verdiene i LED behandlingen. Hansen & Waldo (1944) viste at innholdet av askorbinsyre i skyggemodnede jordbær var markant lavere enn i sol modnede. Kvalitetsstudier av den dagnøytrale sorten 'Diamante' i Sørøst-Europa viser at C-vitamininnholdet er høyere om sommeren (47mg/100g), sammenlignet med høst (41mg/100g) og vår (43mg/100g) (Voca et al., 2009).

Siden kvalitet, og den fytokjemikaliske sammensetningen til bærene står sentralt i dette studiet, er det naturlig å sammenligne kvaliteten til forsøksbærene med norskproduserte frilandsbær. Tabell 12 viser gjennomsnittsverdier for seks frilandsproduserte sorter fra UMB i 2009 (upublisert). Innholdet av oppløst sukker og titrerbar syre i vår forsøket er noe høyere enn gjennomsnittet på friland i alle behandlingene. pH og optisk tetthet samsvarer bra med frilandsbær om man ser bort ifra sorten 'Hannibal'. Det mest oppsiktsvekkende ernæringsmessig er der høye innholdet av vitamin C, som er nærmest doblet i HPS (72,7

mg/100g), samtidig som innholdet i MIX (66,5 mg/100g) og LED (58,9 mg/100g) også er høyt. Dette viser at veksthusproduserte jordbær kan fungere som et viktig vitamintilskudd utenom sesong. Andelen monomere anthocyaniner var størst i MIX (35,1 mg/L cy-3-gluE) behandlingen, og ligger godt over gjennomsnittet til frilandsbær. HPS og LED ligger under gjennomsnittet. Det klare skille går ved fenolene, som hadde høyere verdier i alle frilandssortene. Fenolinnholdet i jordbær påvirkes av en rekke faktorer; produksjonsmåte, mulch type, gjødsel, kompost, lys og temperatur blant annet (Wang, 2006). Hva som er årsaken til forskjellene forblir spekulasjoner, men trolig er temperatur en viktig faktor. Studerer man tallene i tabell synes fenolinnholdet og korrelere positivt med antioksidantkapasiteten, det samme gjelder i vår forsøket. Cheel et al., (2007) viste at antioksidant aktiviteten korrelerte positivt med fenolinnholdet i *Fragaria chiloensis*, (strandjordbær) *Fragaria vesca* (markjordbær) og *Fragaria ananassa* Dutch. cv 'Chandler'.

Tabell: Kvalitetsparametrene i seks sorter frilandsproduserte jordbær ved UMB, 2009 (upublisert).

	Babette	Florence	Frida	Hannibal	Korona	Polka	Gj.snitt
TS %	7,9	7,7	7,4	8,2	8,1	9,2	8
pH	3,46	3,34	3,43	3,53	3,42	3,45	3,4
Oppløst sukker (%)	7,4	6,6	7	6,9	7,4	8,1	7,2
Titrerbar syre (%)	0,72	0,79	0,67	0,56	0,71	0,8	0,7
O.D(absorbans 515nm)	0,14	0,14	0,14	0,05	0,17	0,14	0,8
C-vitamin (mg/100g)	34,5	42,2	34,7	43,4	36,8	30,7	37
TMA (mg/L cy-3-gluE)	28	25,8	27,4	10,5	33,5	24,9	25
TF (mg GAE/100g FW)	302,6	384,2	317,8	398,5	358,2	315,7	346,1
FRAP (mmol/100g FW)	3,92	5,03	4,1	5,3	4,8	4,3	4,5

6.7 NFT – avling og kvalitet

Det stilles spørsmålsteget rundt fruktkvaliteten i produksjonssystemer basert på ulike substrater, eller substratløse systemer (NFT). Mange mener bær kvalitet, og smak blir redusert i disse systemene sammenlignet med jord og torv (Lieten et al., 1991). Et smakspanel fortrakk smaken til jord - og torvproduserte bær fremfor NFT. Samtidig var tekstur og fasthet generelt dårligere i NFT (Lieten et al., 1991). Motstridene resultater er presentert av (Paraskevopoulou et al., 1995) som studerte kvalitet til to dagnøytrale sorter i jord – og jordløs produksjon; Det var ingen signifikant forskjell i kvalitet. Klima, gjødsling og sort er også av stor betydning for fruktkvalitet i slike systemer (Kays, 1991). Generelt tillater NFT høyere plantetetthet (Tropea et al., 1976), og avlingen øker som følge av dette. Flere forfattere har dokumentert store

avlingsøkninger i NFT (El-Behairy et al., 2001; Paraskevopoulou et al., 1995; Milivojevic et al., 2009). Ved dyrking av jordbær i vannkultur er valg av substrat (Vasilakakis et al., 1995) og type system (åpent/lukket) (Hernanz et al., 2007) også avgjørende for både avling og kvalitet. Hernanz et al., (2007) viste at fenolinnholdet i jordbær dyrket i åpent system var noe høyere enn i lukket, men at det ikke var signifikante forskjeller, og resultatene var svært sortsavhengige. Perlitt som substrat i vertikale vannsøyler gav høyere avling enn bruk av torv i samme system (Vasilakakis et al., 1995). Interessen for substratløskultur har økt i Europa etter forbudet mot methylbromid, og bare i Vest-Europa er produksjonsarealet nå estimert til 1270ha (Recamales et al., 2007). Den økende interessen vil trolig føre med seg forbedrede produksjonsmetoder og nye sorter som igjen vil gjøre NFT til en mer attraktiv produksjonsform, også på det norske markedet.

Praktiske utfordringer

Erfaringer fra dette forsøket har vist at riktig gjødsel er avgjørende for god kontroll på pH og ledetall. For å sikre god kvalitet og avkastning er god patogen kontroll en forutsetning, og rensing av næringsløsning er god forsikring (Alanius & Brand, 2000). Effekten av biologisk rensing av næringsløsningen vises tydelig på rotveksten i dette forsøket, og kan trolig også nyttes i kommersiell produksjon. Likevel vil en effektiv rensemetode av næringsløsningen være å anbefale i en stor, kommersiell substratløskultur. I et lukket næringsssystem finnes en rekke mikroorganismer – viktige nedbrytere lever i nært samspill med plantene, og livliggjør seg av roteksudater. Enkelte av disse eksudatene er lett nedbrytbare som aminosyrer og enkle sukkerarter, mens andre er tungt nedbrytbare, spesielt organiske syrer (Alanius & Brand, 2000). Blant annet forårsaker benzosyre autotoksisitet, og er kjent som en potent veksthemmer i jordbær (Toshiki et al., 2008). Det er altså viktig å opprettholde en mikroflora av nytteorganismer, og dette er en utfordring ettersom kommersielle rensingsalternativ ikke diskriminerer mellom nytteorganismer og patogen. Ideelt sett burde man styre mikrofloran for å ha optimal effekt mot skadegjørere og patogen (Alanius & Brand, 2000). Et tenkelig scenario er kombinasjonen av biologisk rensing og vedlikehold av mikroflora, med mulighet for desinfisering i utsatte perioder.

6.8 Sammenligning av forsøkene og samspills effekter

Statistiske analyser av høst – og vår forsøket viser samspill mellom lyskvalitet og sesong for biomasseproduksjon i rot, bladstilk lengde, C-vitamin – og anthocyanininnhold. Selv om klimafaktorene var tilnærmet like i begge forsøkene medfører variasjonen i kultiveringspraksis at forsøkene ikke er direkte sammenlignbare; Vårforsøket har foruten om biofilter og vifte forskjellig pH, ledetall og gjødselslag sammenlignet med høstforsøket. Biologisk rensing av næringsløsningen har påvirket rotveksten positivt, og er trolig hovedårsaken til den kraftige økningen i rotvekst. Det er likevel rimelig å anta at sesongen også er av betydning, og klimadata viser at den gjennomsnittlige globale strålingen i PAR var gjennomsnittlig $2 \text{ mol m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ høyere i vårforsøket. Som følge av forskjellen i kultiveringspraksis er det ikke mulig å si at rotvekst hos jordbær er bedre i vårhalvåret ved de gitte lysbehandlingene.

Bladstilk lengden var signifikante kortere i vårforsøket. Selv om lysmengde er kjent for å hemme strekningsvekst er det lite trolig at sesongen alene er grunnen til dette. Teorien om thigmomorforfogenese er jamførelig med reduksjonen i bladstilk lengde; Veksten i LED var mest opprett, etterfulgt av MIX og HPS, og turbulensen rundt bladene økte i denne rekkefølgen.

Innholdet av C-vitamin var signifikant høyere i vårforsøket. Til forskjell fra høstforsøket var lysforholdene om våren bedre i den generative fasen, og forklarer den kraftige økningen. De forbedrede forholdene i rotsonen; økt andel av nytte organismer, stabil pH, samt gjødsel av renere salter har trolig påvirket C-vitamininnholdet positivt. Også anthocyanininnholdet var høyere i MIX og HPS i vårforsøket. LED viste en liten reduksjon. Antocyaniner har som nevnt tre absorpsjonstopper; en i UV (240nm), en i blått(415nm) og en i grønt (520nm) (Galvano, 2005). Klimadata fra ÅS (UMB fagklima) viser at den globale innstrålingen av blått, rødt og grønt reduseres kraftig mellom november og februar som følge av den lave solhøyden (personlig kommunikasjon; Signe Kroken). Det betyr at bølgelengdene som er med på å regulere anthocyaninsyntese uteble i den generative fasen i høstforsøket, men ikke i vårforsøket. Dette er trolig forklaring på økningen observert om våren. MIX avdelingen hadde også bedre naturlige lysforhold sammenlignet med de andre to avdelingene. Årsaken til at det ikke ble observert noen økning i LED behandlingen er sannsynligvis skyggeeffekter som følge av plantemorfologien.

6.9 Konklusjon

Antall jordbærprodusenter i Norge er halvert de ti siste årene (Forsøksringen for bær). Presset økonomi en av hovedårsakene. På tross av dette har det vært en stabil økning i jordbærforbruket. Dette reflekteres i en kraftig økning av importerte bær fra Europa. Bare de ti siste årene har importen økt fra 1600 til 5000 tonn årlig (Statistisk sentralbyrå). I tillegg til den økte konkurransen fra Europa, er selvplukk erstattet med innleid arbeidskraft, og det koster opp i mot dobbelt så mye å få pukket en kurv jordbær i dag sammenlignet med ti år tilbake, uten at jordbærprisene har økt i takt med dette (Jørn Haslestad, forsøksringen). Tradisjonelt sett har tilgjengeligheten av norskproduserte bær utenom sesong vært begrenset. I Belgia og Nederland er de fleste jordbærprodusentene helårs produsenter som kombinerer ulike produksjonsmetoder for å kunne levere bær kontinuerlig (Lieten, 1993). For å opprettholde en god produksjon på norsk jord må produksjonsmetodene etter min mening modifiseres, og sesongen må utvides enda mer. Utvikling av nye produksjonssystemer som kan redusere kostnader til energi og arbeid vil da stå sentralt. Erfaringer fra tidligere helårs produksjoner her i landet har vist at det er nettopp disse kostnadspostene som må reduseres for at slike produksjoner skal kunne overleve. Arbeidet beskrevet her har vært fokusert rundt utviklingen av en alternativ metode for produksjon av jordbær i lavsesong.

Sammenligning av dette forsøket med andre utredning viser at det er mulig å produsere jordbær i veksthus ved lavere lysintensitet enn tidligere antatt – det er altså mulig å redusere energikostnadene til belysning. Per i dag er effektivitetsgraden til HPS høyere enn LED, med andre ord er ikke energiforbruket i dette forsøket redusert i LED behandlingen. Utviklingen tilsier at andregenerasjons LED vil ha høyere effektivitetsgrad enn HPS, og i fremtiden vil lyskilden i seg selv kunne redusere energiforbruket. Sett i perspektiv, vil begge disse faktorene – redusert lysintensitet og økt effektivitetsgrad – etter min mening bedre mulighetene for helårsproduksjon av jordbær her i landet. Resultatene fra dette forsøket indikerer at LED kombinasjonen 80 % rødt/20 % blått ikke er den best egnede lyskvaliteten til jordbærproduksjon. Det er flere grunner til dette;

1. Mye tyder på at det MR lyset virket positivt på blomstersettingen i forsøksplantene, og dette er også dokumentert tidligere for monterende jordbær (Nishiyama, 2009).
2. Transpirasjonsstrømmen er viktig for opptak – og translokasjon av næring og assimilater, og den reduserte bladtemperaturen i LED behandlingen kan ha begrenset disse faktorene. Tilsynelatende foregikk det en opphopning av karbohydrater i bladene i denne behandlingen.

Det er ikke gjort målinger som bekrefter dette, verken av transpirasjon eller karbohydrat innhold - og baserer seg altså kun på mine spekulasjoner.

3. Lysspredningen skiller seg markant fra HPS. Diodene lyser vertikalt, og spres lite sidelengs. I følge Massa et al., (2006) er plasseringen av diodene sentralt for maksimal energiutnyttelse, og bør plasseres nærmest mulig plantene. I dette forsøket ble jordbærene hengende ned langs rennene slik at bladverket skygget for bærene. Den horisontale lysspredningen fra den neste raden av lamper gav heller ikke tilstrekkelig med lys til bærene. Som overbelysning vil jeg ikke anbefale å bruke LED alene i produksjon av jordbær i horisontale renner.

4. Kvaliteten til bærene i HPS behandlingen var jevnt over den beste. Plantemorfologien i denne behandlingen var fordelaktig, og sørget for gode lysforhold rundt bærene som følge av god lysspredning. HPS er godt egnet som lyskilde i et lignende produksjonssystem.

5. Biomasseproduksjonen var klart høyest i MIX behandlingen, og kvaliteten på bærene var god. Den var noe høyere PPF i denne behandlingen, og de naturlige lysforholdene var best her. Det er vanskelig å kvantifisere betydningen av LED lyset i denne behandlingen – min oppfatning er at det har påvirket veksten i positive retning, blant annet ved ”å løfte” bladene slik at lyshøstingen økte som følge av innfallsvinkelen til lyset.

I fremtiden vil det nok bli mer vanlig med kombinasjonsbelysningsstrategier, og erfaringer fra Kjørsvik gartneri i Trøndelag har gitt positive resultater (Mortensen & Gislerød, 2009). Kjørsvik skiftet ut halvparten av alle HPS armaturene (400W) med LED rammer (90W), og opprettholdt produksjon og kvalitet. Ved å redusere den infrarødstrålingen med tilnærmet 50 % ble luftebehovet mindre, og resulterte i høyere, og jevnere CO₂ konsentrasjon.

Dyrkingssystemet (Aeroflow) er godt egnet til jordbærproduksjon, og er på mange måter sammenlignbart med den vanligste produksjonsmetoden i Belgia og Nederland, med unntak av at det er substratløst. En forutsetning for å dyrke jordbær i NFT er at man har gode rensingsalternativ for næringsløsningen. I et lite system, tilsvarende det som ble brukt her, tyder mye på at biologiskrensing kan være tilfredsstillende. I en stor kommersiell produksjon vil det være nødvendig med andre rensingsalternativ. Et lukket dyrkingssystem består en rekke mikroorganismer som lever i en økologisk balanse (Alanius & Brand, 2000), og det kan være gunstig og opprettholde mikrofloraen – som har viktige nedbrytingsfunksjoner. En kombinasjon av biologiskrensing, med mulighet for hardere tiltak ved tegn til angrep vil være

et gunstig alternativ i NFT produksjon av jordbær. Ved å fjerne jorda fra veksthuset fjerner man også et viktig skadedyr habitat. I innværende forsøk ble det ikke observert noen skadedyr – og det ble ikke brukt kjemisk plantevern. Avlingen varierte fra 0,75-1,3kg m⁻² uke⁻¹, sammenlignet med andre norske utredninger (Verheul & Grimstad, 1999) er dette høyt.

7.0 Avsluttende kommentarer

NFT sikrer god avling gjennom høy plantetetthet, og er et gunstig produksjonssystem for remonterende jordbær. CO₂ bør tilføres kontinuerlig i fotoperioden, og er viktig både for avling og kvalitet. I kommersiell produksjon vil jeg anbefale kombinasjonsbelysning (HPS+LED), for å bedre mulighetene for god CO₂ kontroll i varmere perioder. Samtidig vil supplering med rødt lys virke positivt på fotosyntesen, mens blått lys er en potensiell kilde til fytokjemikalier. En PPF på 120µmol m⁻² s⁻¹ synes tilfredsstillende i høst – og vårmånedene, men bør økes til 150µmol m⁻² s⁻¹ den mørkeste perioden. Biologisk rensing av næringsløsningen integreres enkelt i NFT systemer, men det er viktig med god forsikring, og muligheten bør ligge til rette for desinfisering. Valg av riktig gjødsel er avgjørende for resultatet - det bør også stilles strenge krav til gjødseltype, og kun de reneste saltene bør brukes.

Litteraturliste

Aaby, K. 2007. A study of polyphenols and antioxidant activity: Distribution in strawberry fruits and effect of processing and storage. Dr. Scientiarium thesis 2007:10

Abou-Hadid, A.F., El-Shinawy M.Z., Omer, E.A., 1998. Cultivation of Garlic in Nutrient Film Technique (NFT). Egypt. J. Hort. 25, No. 3: 271-280.

Abou-Hadid, A.F., El-Shinawy, M.Z., El-Oksh, I., Gomaa, H., El-Beltagy, A.S. 1993. Studies on water consumption of sweet pepper plant under plastic houses. Acta. Hort. 366: 365-371.

Adams. P. 2002. Nutritional control in hydroponics. Hydroponic production of vegetables and ornamentals, pp.211-261, Embryo publication, Athens, Greece.

Alsanius, B.W., Brand, T. 2000. Reningsalternativ för näringslösning i slutna odlingsystem. 1. upplag, SLU, Alnarp, Sverige.

Aoki, M., Yabuki, K. 1977. Studies of carbondioxid enrichment for plant growth. Vol 18 pp 475-485, Elsevier publication company, amstredam, NL.

Arakawa, O., Hori, Y., Ogata, R. 1985 Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B, red and blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit. *Physiol. Plant*, 64, 323–327.

Asao, T., Kitazawa, H, Ban, T., Habibur, M. 2008. Electrodegradation of Root Exudates to Mitigate Autotoxicity in Hydroponically Grown Strawberry (*Fragaria ·ananassa* Duch.) Plants. *Hortscience*, 43(7): 2034-2038.

Awad, M.A., Jager, A. 2002 Relationships between fruit nutrients and concentrations of favonoids and chlorogenic acid in `Elstar´ apple skin. *Sci. Hort.*, 92, 265–276.

Awang, B.Y., Atheron, J.G. 1995. Growth and fruiting responses of strawberry plants grown on rockwool to shading and salinity
Scientia Horticulturae 62 25-31.

Baldwin, J.P. 2006. A quantitative analysis of the factors affecting plant nutrient uptake from soils. *European Journal of soil science* Vol 26 Issue 3, Pages 195 – 206.

Beggs, C., Wellmann, E. 1985. Analysis of light controlled anthocyanin formation of in coleoptiles of *zea mays* L.: The role of UV-B, red and far-red light. *Photochem. Photobiol.* 41:481-486.

Benzie, I.F.F., Strain, J.J., 1999 Ferric reducing antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration, *Methods in enzymology*, 299, 15-27.

Billet, J., Hartmann, C., Macheix, J., Rateau, J. 1978. Les composés phénoliques au tours de la crossance de la Poire Passe-Crassane.
Physiol. Vég. 16:693-714.

- Bindi, M., Fibbi, L., Miglietta, F. 2001. Free Air CO₂ Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO₂ concentrations, *European journal of agronomy*, volume 14, Issue 2 March, Pages 145-155
- Blankenship, S.M. 1987. Night-temperature effects on rate of apple fruit maturation and fruit quality. *Sci. Hort.*, 33, 205–212.
- Blomhof, R. 2005. Dietary antioxidants and cardiovascular disease. *Curr. Opin. Lipidol.* 16: 47-54.
- Brown, C.S., Schuerger, A.C., Sager, J.C. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:808–813.
- Burrage, S.W. 1999. The nutrient film technique (NFT) for crop production in the Mediterranean region. *Acta Hort.* 486: 301-305.
- Cheel, J., Theoduloz, C., Rodriguez, J.A., Caligari, P.D.S., Schmeda-Hirschman, G. 2007. Free radical scavenging activity and phenolic content in achenes and thalamus from *Fragaria chiloensis* ssp. *chiloensis*, *F. vesca* and *F. x ananassa* cv. Chandler *Food Chemistry* 102 (2007) 36–44
- Cohen, Y., Treutter, D., Feucht, W. 1994. Water stress induced changes in phenol composition of leaves and phloem of *Prunus avium* L. *Acta Horticult.*, 381, 494–497.
- Collins, W.B. 1966. Floral initiation in strawberry and some effects of red and far-red radiation as components of continuous white light, *Can. J. Bot.* 44(5): 663–668
- Cook, N.C., Samman, S. 1996 Review: Flavonoids—chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *J Nutr Biochem* 7: 66–76.

Cooper, A.J. 1975. Crop production in a recirculating nutrient solution. *Scientia Hort.* 3:251-258.

Curtis, O. F., Herty, S. D. 1936. The effect of temperature on translocation from leaves. *Amer. Jour. Bot.* 23: 528-532.

De Bruijn, J. Nuyten 1985. Annual report vegetable and strawberries. Proeftuin Noord-Brabant, Breda, pp.29.

Dixon, R.A., Paiva, N.L. 1995. Stress-Induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 7, 1085–1097.

Dougher, T., Bugbee, B. 2001 Differences in the response of wheat, soybean and lettuce to reduced blue radiation. *Photochem. Photobiol.* 73:199–207.

Engelsma, G.A. 1972. Possible role of divalent manganese ions in the photoinduction of phenylalanine ammonia-lyase. *Plant Physiol.* 50, 599–602.

El-Behairy, U.A, El-Shinamy, M.Z, Medany, M.A, Abou-Hadid, A.F, 2001 Utilization of “A-Shape” system of nutrient film technique(NFT) as a method for producing some vegetable crops intensively. *Proc. 5th IS Protect. Cult. Mild. Winter Clim.* Eds. Fernández, Martínez & Castilla *Acta Hort.* 559, ISHS

Emmerich, J.C., Morrow, R.C., Clavette, T.J., Sirios, L.J. 2004 Plant Research Unit lightingsystem development. SAE Technical Paper Series Paper No. 2004-01-2454.

Folta, K.M., Childers, K.S. 2008 Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience* 43:1957–1964.

Folta, K.M., Maruhnich, S.A. 2007 Green light: A signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.* 58:3099–3111.

Franklin, K.A., Whitelam, C. 2005. *Phytochromes and Shade-avoidance Responses in Plants*. Annual of botany, Oxford university press.

Galvano, F. 2005. The chemistry of anthocyanins. *Functional ingredients mag*.

Gilberto, L., Perrotta, G., Pallara, P., Weller, J.L, Fraser, P., Bramley, P., Fiore, A., Tavazza, M., Giuliano, G. 2005. Manipulation of the Blue Light Photoreceptor Cryptochrome 2 in Tomato Affects Vegetative Development, Flowering Time, and Fruit Antioxidant Plant Physiology, January 2005, Vol. 137, pp. 199–208, 2004 American Society of Plant Biologists.

Giménez, G., Andriolo, J., Godoi, R. 2008 Soiless production of strawberries, Cultivo sem solo do morangueiro. *Ciência Rural*, Santa Maria v.38, n.1, p.273-279

Gislerød og Bevre. 1999. *Plantedyrking I regulert klima*

Given, N. K., Venis, M.A., Grierson, D. 1988. Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis in ripening strawberry fruit. *J. Plant Physiol.* 133:25-30.

Goins, G.D., Ruffe, L.M., Cranston, N.A., Yorio, N.C., Wheeler, R.M., Sager, J.C. 2001 Salad crop production under different wavelengths of red light emitting diodes. SAE Technical Paper Series Paper No. 2001-01-2422.

Gottdenker, J.S., Giacomelli, G.A., Durner, E. 2001. Supplemental lighting strategy for greenhouse strawberry production(*Fragaria ananassa Dutch. cv `Sweet Charlie´* Proc. 5th IS Protect.Cult. Mild Winter Clim. Eds. Fernández, Martínez & Castilla Acta Hort. 559, ISHS

Greenwald, P., Clifford, K., Milner, J.A. 2001. Diet and cancer prevention. *Europ. J. Cancer* 37: 948-965.

Gross, M., Richter, G. 1982. Influence of sugars on blue light-induced synthesis of chlorophyll in cultured plant cells. *Plant cell reports*, Vol 1, No. 6, desember.

Guiwen, W., Cheng., Breen, P.J. 1991. Activity of Phenylalanine Ammonia-Lyase (PAL) and Concentrations of Anthocyanins and Phenolics in Developing Strawberry Fruit *Department of Horticulture, Oregon State University, Corvallis, OR 97331*

Amer. Soc. Hort. Sci. 116(5):865–869.

Gupta, V., Baishnab, C.T. 2010. Effect of Light Quality on Chlorophyll Accumulation and Protein Expression in Wheat (*Triticum aestivum L.*) Seedlings. *International Journal of Biotechnology and Biochemistry* ISSN 0973-2691 Volume 6 Number 4 (2010) pp. 521–536

Haffner, K., Vesterheim, S. 1997. Fruit quality of strawberry cultivars, *Acta Hort.* 439 Vol. 1., ISHS

Hagen, S.F., Borge, G.I.A., Bengtsson, G.B., Bilger, W., Berge, A., Haffner, K., Solhaug, K.A. 2007. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharv. Biol. Technol.*, 45, 1–10.

Halvorsen, B.L., Holte, K., Myhrstad, M.C.W., Barikma, I., Hvattum, E., Remberg, S.F., Wold, A-B., Haffner, K., Baugerød, H., Andersen, L.F., Moskaug, J.Ø., Jacobs Jr., D.R., Blomhof, R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J. Nutr.* 132: 461-471.

Hansen and Waldo 1944 Ascorbic acid in sun and shade plants. In: *In: Advances in food research*, Elsevier publication, NL.

Harborne, J.B., Turner, B.L. 1984 *Plant Chemosystematics*. London: Academic Press.

Harris, R.S., 1975. Effects of agricultural practices on the composition of foods. In: Harris, R.S. and Karmas, E., Editors, 1975. *Nutritional Evaluation of Food Processing* (2nd edn ed.),, AVI, Westport, CT, pp. 33–57.

http://harvardforest.fas.harvard.edu/research/leaves/leaf_pigments.html

http://www.harunyahya.com/albanian/liber/ngjyra/images_ngjyra/yeni_sema_90.jpg

Hauschild, A.H.W., Nelson, C.D., Krotkov, G. 1962. Nature of photosynthetic products of red and blue light. *Can. J. Bot.*, 40, 1619-1625

Hernanz, D., Recamales, A.F., Meléndez-Martínez, A.J., González-Mieret, M.L., Herendia, F.J. 2007. Assessment of the Differences in the Phenolic Composition of Five Strawberry Cultivars (*Fragaria ananassa* Duch.) Grown in Two Different Soilless Systems *J. Agric. Food Chem.*, 55, 1846-1852

Herrmann, K.M., and Weaver, L.M. 1999. The shikimate pathway. *Annu. Rev. Plant physiol. Plant mol. biol.* 50: 473-503.

Hooijmans, B. 1987. Better results with culture in peatbags?
Groenten en fruit, june 25th, pp 14-15.

Hopkins and Hüner, 2004 1: pp.503 2: pp.505-506

Hyodo, H. 1971. Phenylalanine ammonia lyase in strawberry fruits.
Plant Cell Physiol. 12:989-991.

Jaffe, M.J. 1973. Thigmomorphogenesis the respons of plant growth and development to mechanical stimulation *Planta (berl.)* 114 143-157 (1973) springer-verlag.

Jansen, M., Gaba, A.K., Greenberg, V., Bruce, M. 1998. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. *Trends in plant science.* Vol. 3, No. 4.

Jensen, M.H. 1999. Hydroponics worldwide. *Acta. Horticulturae* 481:719-729

Jones, J.B., Jr. 1997. *Hydroponics: A practical guide to the soilless grower.* St.Lucie Press. Boca Raton. Florida.

Kang, S.Y and Oh, S.H 1996. The present and future of strawberry production in Korea. Proc. 1996 Japan strawberry seminar. 5:30-37. (På Japansk, men engelsk sammendrag)

Karlsson, M.G., Heins, R.D. 1990. Temperature controlled leaf unfolding rate in Hibiscus. Acta. Hort. 272 Bedding and potplants.

Kataoka, I., Kubo, Y., Sugiura, A., Tomana, T. 1983. Changes in L-phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis during berry ripening of three grape cultivars. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 52:273-279.

Kays S. J. (1991). Postharvest physiology of perishable plant products. AVI, New York.

Kempler, C. 2002 Out of season production of strawberries and raspberries. Proc. XXVI IHC – Protected Cultivation 2002Ed. A.P. Papadopoulos Acta Hort. 633, ISHS 2004 Publication supported by Can. Int. Dev. Agency (CIDA)

Keller, M., Hrazdina, G. 1998 Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening Am. J. Enol.Vitic.49:3:341-349 Copyright © 1998 by the American Society for Enology and Viticulture.

Koeppe, D.E., Southwick, L.M., Bitell, J.E. 1976 The relationship of tissue chlorogenic acid concentrations and leaching of phenolics from sunflowers grown under varying phosphate nutrient conditions. *Can. J. Bot.*, 54, 593–599.

Kurata, H., Mochizuki, A., Okuda, N., Seki, M., Shintaro, F. 2000. Intermittent light irradiation with second- or hour-scale periods controls anthocyanin production by strawberry cells. *Enzyme and Microbial Technology* 26 (2000) 621–629.

Lattanzio, V. 2003 Bioactive polyphenols: Their role in quality and storability of fruit and vegetables. *J. Appl. Bot.*, 77, 128–146.

Li, H., Li, T., Gordon, J., Asiedu, S.K., Hu, K. 2010. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. *Environmental and experimental botany*, Vol. 68, Issue 2, pp 165-174.

Lee, S.K., Kader, A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvests biology and technology*, Vol 20, Issue 3, pp. 207-220.

Li, Y., Sakiyama, R., Maruyama, H., Kawabata, S. 2001. Regulation of anthocyanin biosynthesis during fruit development in 'Nyoho' strawberry. *J.Japan. Soc. Hort. Sci.* 70(1): pp. 28-32.

Lieten, F. 1993. Methods and strategies for strawberry forcing in central Europe: Historical perspectives and recent developments. *Acta. Horticultura* 348: 158-170.

Lieten, F. and Baets, W. 1991. Greenhouse strawberry culture in peat bags. *Adv. Strawberry production* 10:56-57

Lieten, P., Dirinck, P. 1991. Fruit quality of strawberry grown on substrate. *Acta Hort.* 294.

Lindsay, D.G Astley, S.B. 2002 European research on the functional effects of dietary antioxidants – EUROFEDA. *Mol. Aspects Med.* 23: 1-38.

Logemann, E., Parniske, M., Hahlbrock, K., (1995) Modes of expression and common structural features of the complete phenylalanine ammonia lyase gene family in parsley. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92: 5905-5909.

Maas, J.L. (ed.). 1998. *Compendium of strawberry diseases*, second ed. APS Press, St. Paul, MN, USA

Maas, J. L.; Wang, S. Y.; Galletta, G. J. 1991 Evaluation of strawberry cultivars for ellagic acid content. *HortScience* 26, 10-14.

Mancinelli, A.L. 1985. Light dependent anthocyanin synthesis: A model system for study of plant photomorphogenesis. *Bot. Rev.* 41:107-157.

Mancunelli, A.L., Rossi, F., Moroni, A. Cryptochrome, phytochrome, and anthocyanin production. *Plant Physiol* 1991;96:1079–85.

Martinez-Garcia, J.F., Huq, E., Quail, P.H. 2000 Direct targeting of light signals to a promoter element-bound transcription factor. *Science* 288:859–863.

Massa, G.D., Kim, H-H., Michell, C.A. 2008 Plant productivity in response to LED lighting. *Hortscience* vol.43(7)

Massa, G.D., Emmerich, J.C., Morrow, R.C., Bourget, C.M., Mitchell, C.A. 2006. Plant growth lighting for space life support: A review. *Gravit. Space. Biol.* 19:19–29.

McCree, K.J. 1972 The action spectra, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agr. Met.* 9: 191–196

Merzlyak, M.N., Solovchenko, A.E., Smagin, A.I., Gitelson A.A. 2005 Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: Spectral features and technique for non-destructive assessment. *J. Plant Physiol.* 162, 151–160.

Milivojevic, J., Nikolic, M., Dorovic, D., 2009 Proceedings of the sixth international strawberry symposium vol.1 nr 842 s.115-118

Mingo-Castel, A.M., Smith, O.E. 1974. Effects of carbon dioxide and ethylene on tuberization of isolated potato stolons cultured in vitro. *Plant Physiol* 53: 789-801

Mingo-Castel, A.M., Smith, O.E., Kumamoto, J. 1976 Studies on the carbon dioxide promotion and ethylene inhibition of tuberization in potato explants cultured in vitro. *Plant Physiol* 57: 480-485

Miyashita, Y., Kitaya, Y., Kubota, C., Kozai, T., Kimura, T. 1995 Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets in-vitro: Using light emitting diodes as a light source for micropropagation. *ActaHort.* 393:189–194.

Morison, J., Gifford, R.M 1984. Plant Growth and Water Use With Limited Water Supply in High CO₂ Concentrations. I. Leaf Area, Water Use and Transpiration. *Australian Journal of Plant Physiology* 11(5) 361 – 374.

Morrow, R.C. 2008. LED lighting in horticulture.
HortScience 43:1947–1950

Mortensen, L., Gislerød, H.R. GY nr.7, 107årg, 2009, s.24-27

Nagy, F., Schafer, E. 2000 Nuclear and cytosolic events of light-induced, phytochrome-regulated signaling in higher plants. *EMBO J.* 19:157–163.

Nes, M., Müller, H., Pedersen, J.I. 2007 Ernæringslære 5. Utgave. Gyldendal Norsk Forlag.

Nijssen, C., Kuhn, O., Verbeek, W. 1990. Method and device for lighting seeds or plants. U.S. Patent 4, 914, 858. Issued 4/10

Nishiyama, M., Kanahama, K. 2009 Effect of Light Quality on Growth of Everbearing Strawberry Plants, *Acta Hort.* 842, ISHS

Nishimura, T., Zobayed, S.M., Kozai, T., Goto, E. 2006. Effect of Light Quality of Blue and Red Fluorescent Lamps on Growth of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.). *Journal of Society of High Technology in Africulture* Vol. 18., No. 3, pp 225-229.

Nhut, D.T., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., Tanaka, M. 2003. Responses of strawberry plantlets cultured *in vitro* under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs) *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 73: 43–52

Nordby, R.J., Hartz-Rubin, J.S., Verbrugge, M.J. 2003. Phenological responses in maple to experimental atmospheric warming and CO₂ enrichment. *Global change biology*, Vol. 9, Issue 12, pp 1792-1801.

Novak, V., Vidovic, J. 2002. The relation between transpiration and nutrient uptake dynamics in plant canopies applicable to modelling of soil chemicals balance. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, 2002.

Oh, M.M., Edward E. C., Rajashekar, C.B. 2009. Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. *Plant physiology and Biochemistry*. 47, 578-583. Elsevier Masson

Paraskevopoulou-Paroussi, G.; Grafiadellis, M.; Paroussis, E. 1995 Precocity, plant productivity and fruit quality of strawberry plants grown in soil and soilless culture. *Acta Hortic.*, 408, 109-118.

Philips Lumileds. 2006. Luxeon_ reliability. Reliability Datasheet RD25.

Phillips Lumileds. 2007. Luxeon_ Rebel reliability data. Reliability Datasheet RD07.

Prior, R.L., Wu, X. 2006 Anthocyanins: structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities, *Free Radic. Res.* 40 (2006) 1014–1028.

Pritts, M. 1995. Berried treasures: Off season production of strawberries and raspberries – Department of Horticulture Cornell Univ. Ithaca, NY 14850
<http://www.hort.cornell.edu/departement/faculty/pritts/grnhouse.html>

Pritts, M.P. and Kelly, M.J. 1995. Strawberry production in greenhouse. Misc. Publ., Dept. Fruit and vegetable science, Cornell university, Ithaca, NY

Putterill, J., Laurie, R., Macknight, R. 2004. It's time to flower: The genetic control of flowering time. *Bioessays* 26:363–373.

Rataj-Guranowska, M., Antoszewski, R., Poskuta, J. 1971 Preliminary study on the effect of red and blue light on the nature of photosynthetic products in corn and strawberry. *Bulletin de l'academie Polonaise des sciences biologiques Cl. V. Vol. XX, No.2, 1972*

Recamales, A.F., Medina, J.L, Hernanz, D. 2007. Physiochemical characteristics and mineral content of strawberries grown in soil and soilless systems. *Journal of food quality*, Vol. 30, Issue 5, pp. 837-853.

Remberg, S.F. 2006 Studies of antioxidants in fruits and berries, effects of cultivar and postharvest conditions. *Philosophiae Doctor Thesis 2006:11*.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Bolwell, P.G., Brahamley, P.M., Pridham, J.B. 1995 The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Rad Res* 22: 375–383.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G. 1997 Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2: 152–159.

Sager, J., Edwards, J., Klein W. 1982 Light energy utilization efficiency for photosynthesis. *Trans. ASAE* 25:1737–1746

Sager, J.C. and McFarlane, J.C. 1997. Radiation, p.1–29. In: Langhans, R.W. and T.W. Tibbitts (eds.). *Plant growth chamber handbook*. North Central Regional Research Publication No. 340. Iowa State Univ., Ames, IA.

Sager, J.C., Smith, W.O., Edwards, J.L., Cyr, K.L. 1988 The use of spectral data to determine photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 31:1882–1889.

Samuoliene, G. 2009. The effect of light quality on the antioxidative properties of green barely leaves, *Scientific works of the Lithuanian institute of horticulture*, Vol. 28(2)

Santos, M.B., Chandler, C.K., Whidden, A.J., Sanchez, M.C. 2009. Assessing the Possible Causes for the “Strawberry Dried Calyx Disorder” in Florida and Spain, *Acta Hort* 842, ISHS

Scwarz, D., Grosch, R. 2003. Influence of nutrient solution concentration and a root pathogen (*Pythium aphanidermatum*) on tomato root growth and morphology, *Scientia Horticulturae*, Vol 97, Issue 2, pp 109-120.

Sid Ahmed, M. Ezziyyani, C. P´erez S´anchez and M.E. Candela. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp. and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants *European Journal of Plant Pathology* 109: 633–637. *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands*

Shaw, D.V., Gordon, T., Larson, K.D., Hansen, J. 2010. Strawberry breeding improves genetic resistance to *Verticillium* wilt. *California Agriculture* 64(1):37-41. DOI: 10.3733/ca.v064n01p37. January-March 2010.

Shaw, D.V., Nelson, M.D., Gubler, W.D. 1996. Relative resistance of 47 cultivars to powdery mildew in California greenhouse and field environments. *Plant Dis.* 80:326-328

Shkolnik, M.Y. 1984. *Trace Elements in Plants*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.

Simpson, G.G. 2003. Evolution of flowering in response to day length: Flipping the CONSTANS switch. *Bioessays* 25:829–832.

Smith, H. and Whitelam, G.C. 1990 Phytochrome, a family of photoreceptors with multiple physiological roles. *Plant Cell Environ.* 13:695–707

Slinkard, K., Singelton, V.L. 1977 Total phenol analysis – automatic and comparison with manual methods, *American journal of Enology and Viticulture*, 28, 1, 49-55.

Smeets, L., 1980. Effect of temperature and daylength on flower initiation and runner formation in two everbearing strawberry cultivars. *Sci. Hortic* 12.

Smith H. 1982. Light quality, photoperception and plant strategy. *Annual Review of Plant Physiology* 33: 481–518.

Somers, F., Beeson, K.C. 1986. Influence of climate and fertilization practices upon vitamin c and mineral content of vegetables. In: Advances in food research, Elsevier publication, NL.

Stanley, D. 1998. Hydroponic strawberries avoid soil pests. Agricultural research. 46(11): 10-11, November

Steigerwald, D., Bhat, J., Collins, D., Fletcher, R., Holcomb, M., Ludowise, M., Martin, P., Rudaz, S. 2002 Illumination with solid state lighting technology. IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics 8:310–320.

Stutte, G.W. 2009. The Phytochrome Apparatus
Hotsience vol. 44(2) April.

Takahshi, A., Takeda, K., Ohnishi, T. 1991. Light induced anthocyanin reduces the extent of damage to DNA in UV-irradiated *Centaurea cyanus* cells in culture. Plant cell physiol. 32: 541-547.

Takeda, F., Adler, P.R., Glenn, D.M. 1997. Strawberry production linked to aquaculture wastewater treatment. Proc. Int. strawberry symp. Acta Hort. 439 vol. 2. ISHS.

Takenaga, H. 1998. Strawberry harvesting robot for greenhouse. Proc. Japan strawberry seminar. 7:6-11

Tan, S.C. 1980 Phenylalanine ammonia-lyase and the phenylalanine ammonia-lyase inactivating system: Effects of light, temperature and mineral deficiencies. Aust. J. Plant Physiol. 7, 159–167.

Tennessen, D.J., Singasaas, E.L., Sharkey, T.D. 1994 Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. Photo. Res. 39: 85–92

Tripathy, B.C., Brown, C.S. 1995 Spectral quality may be used to greening of wheat seedlings grown under red light. *Plant Physiol.*

107: 407–411

Tropea, M. 1980. The control of strawberry plant nutrients in sack culture, *ISOSC Proc.* 477-484

Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., Ric de Vos, R.C., Capanoglu, E., Bovy, A., Battino, M. 2008. Antioxidants, Phenolic Compounds, and Nutritional Quality of Different Strawberry Genotypes *J. Agric. Food Chem*, 56 (3), pp 696–704.

Vallejo, F., Tomas-Barberan, F.A., Garcia-Viguera, C. 2003 Changes in broccoli (*Brassica Oleracea*. L. var. *Italica*) health-promoting compounds with inflorescence development. *European food research and technology* vol.216, issue 5, pp 395-401(May).

Valverde, F., Mouradov, A., Soppe, W., Ravenscroft, D., Samach, A., Coupland, G. 2004. Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. *Science* 303:1003–1006

Van Looy, J and Aerts, J., 1979. Annual report strawberries. Proefbedrijf der Noorderkempen, Meerle, pp. 63.

Van Looy, J and Aerts, J., 1982. Annual report strawberries. Proefbedrijf der Noorderkempen, Meerle, pp. 146.

Van Looy, J and Aerts, J., 1985. Annual report strawberries. Proefbedrijf der Noorderkempen, Meerle, pp. 65.

Verheul, M., Grimstad, S.O. 1999. Winter production of strawberries in Norway.

Proc. 4th Int. Strawberry Symp. Eds. T. Hietaranta et al. Acta Hort. 567, ISHS

Vik, J., 1963. Sortsforsøk med jordbær for tidlig produksjon i plastveksthus. Gartneryrket 53: 196-200.

Voca, S., Doberic, N., Druz, J., Duralija, B., Skendrovic, M., Dermisek, D., Melik, Z. 2009 The change of fruit quality parameters in day-neutral strawberries cv. Diamante grown out of season. International Journal of Food Sciences and Nutrition, May; 60(3): 248_254

Voskresenskaya, N.P 1965 Fotosintez i spektralnyi sostav sveia, Nauka, Moskva

Wang, L-S., Stoner, G.D. 2008. Anthocyanins and their role in cancer prevention Stoner Science direct, Cancer Letters 269 281–290

Wang, S.Y., Bunce, J.A., Maas, J.L 2001 Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in field-grown strawberries. European Journal of Agronomy Volume 14, Issue 2, March 2001, Pages 145-155

Wang, S.Y., Lin, H-S. 2003. Compost as a soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries. J. Agric. Food Chem. 51, 6844–6850.

Wang, S.Y. 2006. Effect of Pre-harvest Conditions on Antioxidant Capacity in Fruits. Acta Hort. 712, ISHS.

Wang, S.Y., Zheng, W. 2001 Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. J. Agric. Food Chem. 49, 4977–4982.

Wang, S.Y., Lin, H-S. 2000. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *J. Agric. Food Chem.*, 48 (2), pp 140–146.

Waterhouse, A.L., 2002. Determination of total phenolics. In: Wrolstad, R.E. (Ed.), Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, New York, units I.1.1.1–I.1.1.8.

Williams, R.C., Baker, D.R., Schmidt, J.A. 1973 Analysis of water-soluble vitamins by high speed ion exchange chromatography. Journal of chromatographic science, 11, 618-624.

Witter, S.H. and Castilla, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. HortTechnology 5: 6-23.

Wold, A-B. 2004. Antioxidant activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.), and the content of individual glucosinolates in cabbage. Dr. Scientarium Theses 2004:29

Wrolstad, R.E. 2002. Current protocols in food analytical chemistry. John Wiley & Sons, Inc, New York.

Xiao, K., Kinkel, L., Samac, D.A. 2002 Biological Control of *Phytophthora* Root Rots on Alfalfa and Soybean with *Streptomyces*. Biological control, Vol 23, Issue 3, pp 285-295

Yanagi, T., Okamoto, K., Takita, S. 1996. Effect of red and blue light intensity on photosynthetic rate of strawberries. Plant productivity in closed ecosystems, acta hort. 440 ISHS

Yanagi, T., Yachi, T., Okuda, N., Okamoto, K. 2006 Light quality of continuous illuminating at night to induce floral initiation of *Fragaria chiloensis* L. CHI-24-1. Sci. Hort. 109:309–314.

Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagie, R.D., Wheeler, M.D., Sager, J.C. 2001 Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. HortScience 36:380–383

Zornoza, P., Esteban, R.M. 1984 Flavonoids content of tomato plants for the study of the nutritional status. *Plant Soil*, 82, 269–271.

