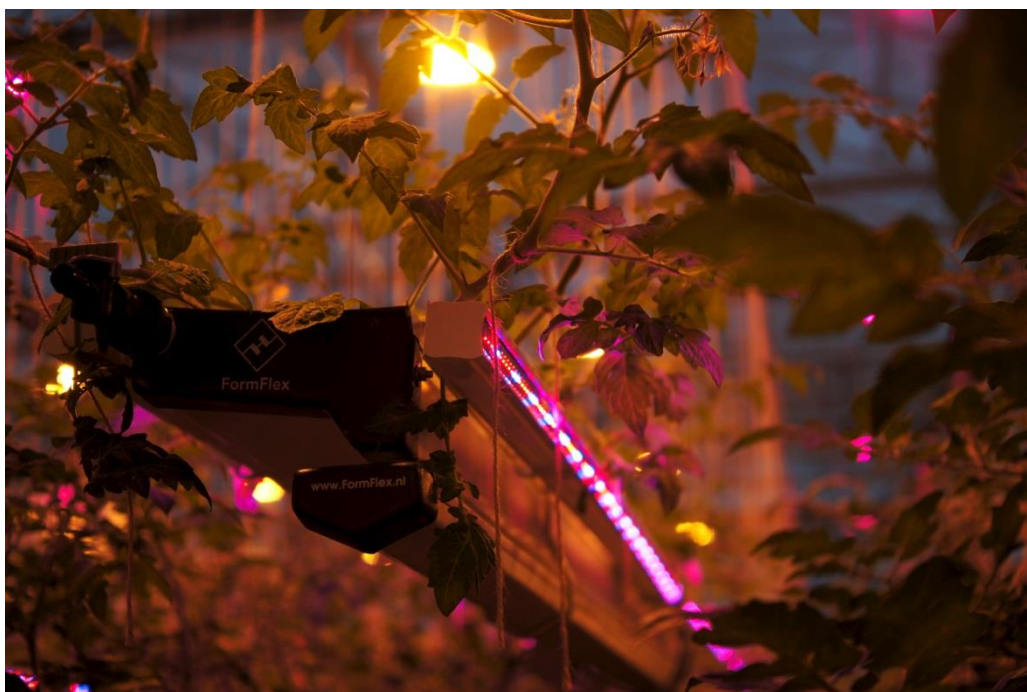




TUINBOUWTECHNIEKONTWIKKELING

Eindverslag

“Minimalisering elektriciteitsverbruik belichte tomatenteelt door systeeminnovatie”



November 2014

Contactpersoon:
Joël van Stalduinen
Inno-Agro B.V.
joel@inno-agro.nl
+ 316 20356021

Samenvatting

Het Futagrow systeem heeft een aantal unieke kenmerken welke mogelijkheden bieden voor energiebesparing in het algemeen en elektriciteitsbesparing in het bijzonder. In de belichtingsperiode van november 2013 tot april 2014 is in opdracht van het energie-onderzoeksprogramma Kas als Energiebron onderzoek uitgevoerd naar “Minimalisering elektriciteitsverbruik belichte tomatenteelt door systeeminnovatie”.

De basis van het innovatie teeltsysteem “Futagrow” ligt in het maximaal benutten van de hoeveelheid natuurlijk licht. In het Futagrow systeem wordt 95% van het binnenkomende licht opgevangen door het altijd jonge en vitale gewas. Korte, elkaar overlappende teeltrondes, op in hoogte verstelbare goten in combinatie met een substraat loze teelt zorgen voor een generatief en stuurbaar gewas.

In dit onderzoek zijn de mogelijkheden onderzocht om de unieke kenmerken van het Futagrow teeltsysteem in te zetten voor elektriciteit besparing. De energiebesparing moet komen uit de toepassing van LED top-belichting, LED tussenbelichting en verregaande lichtintegratie in combinatie met de hoge lichtbenutting van het Futagrow teeltsysteem en de variërende lichtbehoefte van de twee overlappende teelten door de groeifasen heen.

Uit het belichtingsonderzoek blijkt dat door minder te belichten in het Futagrow systeem een forse energiebesparing per vierkante meter mogelijk is bij een relatief kleinere afname van de productie. Ook is een forse besparing op het energieverbruik per kg product mogelijk. Ten opzichte van de praktijk zet het Futagrow teeltsysteem iedere mol licht om in 8% meer productie en doordat de praktijk enkele maanden geen productie heeft loopt dit in het onderzoek zelfs op tot een 26% hogere efficiëntie.

De toepassing van LED-tussenlicht heeft in het Futagrow systeem een sterk effect gehad, dit effect werkte door de verkeerde positie van het tussenlicht nog niet in het voordeel, maar biedt kansen voor vervolgonderzoek. Met name de warmte afgifte van het LED-tussenlicht zorgde voor een “groeibuis effect”, wat niet bij de wortels, maar juist tussen het gewas wenselijk is.

Daarnaast is onderzocht of het verhogen van de EC van het gietwater in de nacht ongewenste verdamping van het gewas kan voorkomen en daarmee een energiebesparing door minder stoken gerealiseerd kan worden. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de wateropname gedurende enkele dagen na het verhogen van de nacht EC afnam, maar dat het effect op de wateropname door het gewas na een week al niet meer zichtbaar was. Voor het remmen van de verdamping biedt EC verhoging in de nacht waarschijnlijk niet voldoende mogelijkheden, maar het kan wel een middel zijn om ongewenste worteldruk in de voornacht te verminderen en om de plantstand te sturen.

Inhoud

Samenvatting.....	2
Inhoud.....	3
Introductie.....	4
Financiering.....	4
Disclaimer.....	4
1. Futagrow.....	5
1.1 TTO & Futagrow.....	5
1.2 Futagrow systeem innovatie	6
2. Doelstellingen TTO Futagrow - 2013/2014.....	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Probleemstelling.....	8
2.3 Doelstelling.....	9
2.4 Aansluiting op overig onderzoek	9
2.5 Proefopzet	12
2.5.1 Belichtingssystemen	14
2.5.2 Proefduur en teeltgegevens	16
3. Resultaten elektriciteitsbesparing.....	17
3.1 Teeltronde 0 t/m 3 (Discussie)	17
3.2 Teeltronde 1 t/m 3	19
4. Analyse, discussie en conclusie besparingsonderzoek	29
4.1 Analyse:.....	29
4.1 Discussie, conclusie en aanbevelingen	33
5. Onderzoek EC verhoging in de nacht.....	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Proefopzet	35
5.3 Analyse, conclusie en aanbevelingen	39
Bijlage 1: Rapport EC verhoging in de nacht.....	40

Introductie

Dit eindverslag is geschreven voor geïnteresseerden in de verduurzaming van belichte groente teelten in de glastuinbouw, met nadruk op opgaande groentegewassen zoals tomaat. In dit verslag wordt het onderzoek naar elektriciteitsbesparing in het innovatieve teeltsysteem Futagrow van Telersvereniging 'Tuinbouw Techniek Ontwikkeling' (TTO) uiteengezet. Dit project heeft plaatsgevonden vanaf oktober 2013 tot juli 2014 in de Demokwekerij Westland. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het programma "De kas als energiebron".

Financiering

Het energiebesparingsonderzoek in 2013-2014 is voor 50 % gefinancierd door het programma 'de kas als energiebron' van ProductschapTuinbouw en het Ministerie van Economische Zaken en voor 50% door een samenwerkingsverband van Metazet Formflex, Demokwekerij Westland, Hortilux Schreder, Telersvereniging TTO, Noordam Plants, Lemnis Lighting, Prominent, Jiffy, Van Iperen, Triomaas, Priva, RijkZwaan, Inno-Agro.

Disclaimer

© 2014 T.T.O. • Zwethlaan 52 • 2675 LB Honselersdijk • T. 0174-385600 • www.tto.nu

Telersvereniging T.T.O. aanvaard geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van adviezen.

1. Futagrow

1.1 TTO & Futagrow

Telersvereniging TTO vertegenwoordigt een groep vooruitstrevende telers welke hun krachten bundelen om gezamenlijk innovaties op te pakken (www.tto.nu). Telersvereniging TTO streeft 'bottom up' innovatie na en doet dit door projecten van derden te faciliteren of zelf projecten op te pakken. Het onderzoek naar het innovatieve teeltsysteem Futagrow is een van de projecten welke TTO uitvoert. Het Futagrow systeem heeft een aantal unieke kenmerken welke mogelijkheden bieden voor energiebesparing in het algemeen en elektriciteitsbesparing in het bijzonder. In de belichtingsperiode van november 2013 tot april 2014 is in opdracht van het energie-onderzoeksprogramma Kas als Energiebron onderzoek uitgevoerd naar "Minimalisering elektriciteitsverbruik belichte tomatenteelt door systeeminnovatie".



Hieronder worden de personen beschreven die het Futagrow Team TTO 2013-2014 vormden:

Projectleiding

- Ing J.E. van Staalduinen Inno-Agro
Inno-Agro is gespecialiseerd in technische innovatieprojecten in de glastuinbouw. Stefan Persoon van Inno-Agro was projectleider van het onderzoek, verantwoordelijk voor de techniek en eindverantwoordelijk voor het onderzoek. Joel bracht verantwoording af aan TTO.

Teelt en organisatie

- A. de Jong Demokwekerij Westland
Demokwekerij Westland faciliteert technische innovatie in de glastuinbouw. Het onderzoek heeft plaatsgevonden in de Demokwekerij. Ary de Jong heeft zorggedragen voor de teelt en het klimaat. Daarnaast is hij verantwoordelijk voor plantmetingen en de experimentele metingen in de proef

Gewasonderzoeker EC verhoging in de nacht

- A. Procopio Macario Wageningen UR (student)
Vanuit Wageningen UR heeft Adrian als internship onderzoek gedaan naar EC variatie in de nacht.

Plantfysiologische ondersteuning:

- R. Kaarsemaker Groen Agro Control
Ruud Kaarsemaker is werkzaam bij Groen Agro Control en is deskundig op het gebied van plantfysiologie. In het onderzoek droeg dhr. Kaarsemaker de verantwoordelijkheid voor het teeltmodel in combinatie met lichtintegratie.

Teelt begeleiding

- Hans Zwinkels H.G.L. Zwinkels (Greenlight/Greenbalance)
- Jack Groenewegen Kwekerij Groenewegen
- Jos Kouwenhoven Triomaas

Dhr. Zwinkels, dhr. Groenewegen en dhr. Kouwenhoven verzorgden de praktische teeltbegeleiding. Alle kwekers hebben ruime ervaring met de belichte tomatenteelt. De heer Kouwenhoven heeft de voorgaande onderzoeken eveneens begeleid.

1.2 Futagrow systeem innovatie

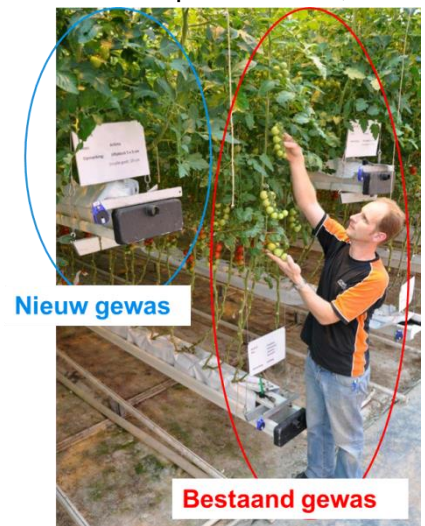
De basis van het innovatie teeltsysteem voor tomaten "Futagrow" ligt in het maximaal benutten van de hoeveelheid natuurlijk licht. In het Futagrow systeem wordt 95% van het binnenkomende licht opgevangen door het altijd jonge en vitale gewas. Korte, elkaar overlappende teeltrondes, op in hoogte verstelbare goten in combinatie met een substraatloze teelt zorgen voor een generatief en stuurbaar gewas.

Continue productie

Het Futagrow teeltsysteem onderscheidt zich van conventionele teeltsystemen voor tomatenteelt in Nederland door een teelt van korte, elkaar opvolgende teeltrondes. Iedere teeltronde beslaat een periode van ca. 18 weken, waarbij het gewas 9 weken opgroeit en 9 weken wordt geoogst. Doordat er altijd twee teeltrondes naast elkaar in de kas plaatsvinden, is er continue productie in de kas. Doordat er een tweede teeltgotensysteem boven het pad hangt, valt er amper licht op de grond en wordt jaarrond meer dan 95% van het beschikbare licht door gewas opgevangen.

Teeltsysteem Futagrow:

- 365 dagen per jaar productie
- Jaarrond lichtbenutting > 95%
- Altijd een jong en vitaal gewas
- Substraatloze teelt
- Dubbel gotensysteem:
 - Goten met opgroeiend gewas
 - Goten met oogstbaar gewas



Afb. 1.1 Jong en oud gewas

Noot: De werking van het Futagrow teeltsysteem is bij de opdrachtgever bekend en wordt niet verder toegelicht.

Tabel 1.2 geeft het teeltschema schematisch weer

	Even goten	Oneven goten
Week 1	Jong gewas planten	Eerste oogst
Week 9	8 trossen aangemaakt: kop er uit	Laatste oogst, teeltwissel
Week 10	Eerste oogst	Jong gewas planten
Week 18	Laatste oogst, teeltwissel	8 trossen aangemaakt: kop er uit

Tabel 1.2 Teeltschema

Duurzaamheid en Carbon Footprint

In het Futagrow teeltsysteem wordt iedere 8 weken de oude teelt gewisseld voor een jong gewas. Op praktijkschaal zal iedere week in 1/8 deel van de kas een teelt gewisseld worden. Hierdoor is er een continue stroom van plantafval, wat bovendien 100% biologisch afbreekbaar is (geen steenwol, geen kunststof touw). De continue stroom van vers plantafval biedt vele mogelijkheden om het organisch afval te hergebruiken in een circulaire economie.

Lage Carbon Footprint

Het Futagrow teeltsysteem maakt efficiënter gebruik van ruimte en middelen dan traditionele teeltsystemen voor tomaat. Er gaat amper licht verloren doordat de kas continu vol staat met gewassen. In de periode dat in traditionele belichte kwekerijen kostbaar licht op de grond valt doordat het gewas nog niet volgroeid is, wordt in het Futagrow teeltsysteem optimaal gebruik gemaakt van al het beschikbare licht.

De gootsystemen in Futagrow zijn in hoogte verstelbaar, waardoor de verdeling van het licht van boven over het jonge en het oude gewas optimaal gestuurd kan worden. Ook wordt het gas nuttiger ingezet, omdat er altijd een volle kas mee wordt verwarmd

Doordat de hele winterperiode oogstbare planten in de kas aanwezig zijn, is de absolute lichtbehoefte in Futagrow iets hoger dan in een traditionele belichte tomatenteelt. De warmte behoefte is echter identiek. Doordat de Futagrow kwekerij nooit uit productie is, is de Carbon Footprint van de tomaten in de belichte periode aanmerkelijk lager dan die in traditionele belichte tomatenkwekerijen. Er wordt ruim 20% meer geproduceerd, met een beperkte hoeveelheid extra energie.

2. Doelstellingen TTO Futagrow - 2013/2014

2.1 Inleiding

De Nederlandse glastuinbouwsector dankt haar internationale positie aan haar vermogen om hoogwaardige groente en sierteelt producten te leveren. Nederlandse groenten zijn voedselveilig geproduceerd en door de centrale ligging zijn transportafstanden klein (time to consumer).

Om jaarrond een goed product te kunnen leveren worden gewassen in de glastuinbouw bijbelicht in de winterperiode. De belichting is in de jaren '80 begonnen bij het gewas roos en heeft zich na meerdere sierteeltgewassen (gerbera, lelie, anthurium etc.) ook sinds 2000 uitgebreid naar de groenteteelt.

De belichte teelt maakt het mogelijk dat bedrijven jaarrond producten kunnen leveren, waardoor personeel, opstanden en installaties jaarrond ingezet kunnen worden. Dit is voor de Nederlandse economie beter dan in mediterrane gebieden in *najaar* en *winter* produceren en in Noord-Europese gebieden in *voorjaar* en *zomer*.

2.2 Probleemstelling

Bijbelichting van gewassen zorgt voor spreiding van de afzet, maar kost veel energie. Bij een groentebedrijf kunnen de belichtingskosten oplopen tot 270 kWh à +/- €18,00 per m². Dit heeft tot gevolg gehad dat het elektriciteitsverbruik in de glastuinbouwsector is gestegen van 4,2 miljard kWh in 2005 naar 6,2 miljard kWh in 2011 (bron : LEI). De grootste groei hiervan komt op het conto van de belichting in de glasgroenten (voornamelijk tomaat).

In opdracht van het programma Kas als Energiebron is onderzoek gedaan naar de toepassing van energiezuinige belichtingssystemen en lichtintegratie in het duurzame teeltsysteem Futagrow.

Gelijkblijvende productie

Programma KaE streeft een minimaal gelijk blijvende productie na bij een lager energieverbruik. Kwekers hebben afgelopen jaren een andere reden om gezamenlijk niet teveel te produceren: te weten marktverzadiging. Hierin is het streven dus gelijk.

Minder verbruik per netto m²

De sector heeft met de overheid afspraken gemaakt om de hoeveelheid fossiele energie terug te dringen (minder CO₂ uitstoot). KaE en het ondernemersplatform hebben besparing per m² als doel gesteld (minder verbruik, gelijke productie per m²) en niet de carbon Footprint per eenheid/kg. Hiermee is de belichte teelt in een lastige positie gekomen. Het is immers een wetmatigheid dat productie veroorzaakt wordt door fotosynthese uit groeilicht + natuurlijk licht. Het aandeel groeilicht loopt in de wintermaanden op tot meer dan 70% van de totale hoeveelheid beschikbaar licht. Het is dus in ieders belang om al het beschikbare licht optimaal te benutten.

Het maximaliseren van het gebruik van natuurlijk licht en het beter opvangen van het groeilicht per m ² kas zou een ommekeer kunnen brengen
--

2.3 Doelstelling

“datgene waarnaar men streeft”

Het jaarrond produceren van opgaande groentegewassen waarbij jaarrond 95% van het licht benut wordt in de kas. Evenals het voorkomen van onnodige verdamping door het gewas , te bereiken door het verhogen van de EC van het gietwater in de nacht, wat toepassing van een gesloten scherm en daarmee betere isolatie van de kas eenvoudiger maakt.

Gewenst resultaat : Een besparing op elektrische energie per m² kas van en minste 25% en maximaal 40%

Doelstelling van de proef is om tussen de 25% en de 40% elektrische energie te besparen in de proefafdelingen B en C, waarbij het productieverlies een veel lager percentage kent.

2.4 Aansluiting op overig onderzoek

Er wordt onderzoek gedaan naar het beter benutten van licht. Dit sluit aan op onderzoeken van Groen Agro Control tussen 2008 en 2013 en WUR onderzoek ‘Modellering ruimtelijke lichtverdeling in gewassen’ uit 2008. <http://www.tuinbouw.nl/project/modellering-ruimtelijke-lichtverdeling-gewassen>

Daarnaast wordt er onderzoek gedaan naar het verhogen van de EC van het voedingswater in de nacht teneinde onnodige verdamping tegen te gaan. Inpassing van dit onderzoek sluit aan bij onder andere het WUR project ‘Verdamping: balans tussen noodzaak en overmaat’ gericht op het terugbrengen van verdamping. <http://www.tuinbouw.nl/project/verdamping-balans-tussen-noodzaak-en-overmaat>

Het beoogde onderzoek sluit ook aan bij de vraagstellingen van Kas als Energiebron. Deze hebben samen met WUR een aantal suggestie gedaan om te komen tot een lagere netto uitstoot (zie kader):

Het gebruik van assimilatiebelichting leidt in de glastuinbouw tot een hoog energiegebruik. Per m² kan wel tot 400 kWh per jaar ingezet worden voor belichting. Om de ambities van een klimaatneutrale glastuinbouw onder rendabele omstandigheden op termijn te bereiken, zal dus het gebruik van assimilatielicht fors verlaagd moeten. Het verminderen van assimilatiebelichting mag echter niet tot grote productieverliezen leiden. De oplossing van deze spanning ligt voor een belangrijk deel in het verbeteren van de lichtbenutting, gemeten in termen van productie. Dat betreft zowel een betere benutting van het schaarse winterlicht als een betere benutting van zo minimaal mogelijk ingezet kunstlicht.

Het is nu zaak om zo concreet mogelijk bouwstenen uit te werken waarmee 50% op elektra bespaard kan worden voor belichte teelten. Dit kunnen we doen door de volgende vijf stappen te volgen:

Zoveel mogelijk molen natuurlijk licht in de kas

Zoveel mogelijk molen licht uit een kWh elektra in de kas

Zoveel mogelijk molen licht onderscheppen door het gewas

Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol licht

Zoveel mogelijk assimilaten naar te oogsten bloemen/vruchten

Onderstaand wordt punt voor punt toegelicht op welke wijze het Futagrow onderzoek aansluit op de gestelde wensen:

Betreffende punt 1: Zoveel mogelijk natuurlijk licht in de kas

Het toe laten treden van zoveel mogelijk licht in de kas kan onder andere plaatsvinden door de toepassing van diffuus glas. Hiermee kan volgens WUR onderzoek 2012-2013 **10%** worden bespaard. Hier is echter reeds uitgebreid onderzoek naar geweest en diverse praktijkbedrijven passen dit al toe. Uit kostenoverweging is deze innovatie nu niet in dit onderzoek meegenomen. Voorts zou de kasconstructie kunnen worden aangepast. Hier wordt eveneens geen aandacht besteed in dit onderzoek.

Betreffende punt 2: Zoveel mogelijk molen uit een kWh elektra

Dit punt heeft betrekking op de efficiëntie van de belichtingsinstallatie. Met het toepassen van EVSA en 1000W armaturen is de maximale efficiëntie van SON-T belichting waarschijnlijk benaderd. De ontwikkelingen op het vlak van LED belichting hebben op dit moment lampen opgeleverd die tussen de 20% en 30% efficiënter zijn dan de traditionele SON-T.

In dit onderzoek zullen LED lampen van Lemnis toegepast gaan worden in een hybride opstelling met SON-T lampen (t.b.v. stralingswarmte). De nieuwe generatie LED lampen welke toegepast gaan worden hebben een efficiency welke 25% tot 30% beter is dan traditionele SON-T (minimaal 2,2 – maximaal 2,3 $\mu\text{mol}/\text{J}$). Daarnaast zal er tussenbelichting toegepast gaan worden. Hoewel luchtgekoelde tussenlicht armaturen niet zo efficiënt zijn als de topbelichting, bedraagt de besparing nog steeds ruim 15% t.o.v. SON-T.

Betreffende punt 3: Zoveel mogelijk molen licht onderscheppen door het gewas

De nieuwe teeltwijze van Futagrow is gebaseerd op het maximaal onderscheppen van de licht door het gewas. Het systeem kenmerkt zich door een revolutionair andere visie op het optimaal benutten van het licht in de kas. De nieuwe teeltwijze maakt een belangrijke, *voorafgaande* stap aan het toepassen van tussenlicht, te weten: Jaarrond wordt >95% van het licht in de kas benut. Dit geldt zowel voor natuurlijk licht als voor groeilicht. Dit kan doordat er zich immer twee gewassen in de kas bevinden: één oogstbaar gewas en één gewas dat zich nog in de aanlegfase bevindt.

De bladoppervlakte is altijd optimaal, wat bij een traditionele teelt niet het geval is. Bij een traditionele teelt gaat er sowieso licht verloren bij de opkweek t/m de 8^e tros. Daarnaast gaat er licht verloren in de paden door absorptie van gronddoek. De Futagrow teeltwijze in het onderzoek gaat uit van jaarrond opeenvolgende teelten en jaarrond een optimale LAI. Bijkomend voordeel voor de kweker is dat hij 365 dagen per jaar product kan. De basis van het systeem ligt dus in de optimale benutting van het natuurlijk licht. Daarnaast wordt het groeilicht optimaal benut. De kenmerkende periode van oktober t/m december waarin veel kostbaar groeilicht niet efficiënt wordt benut, behoort tot het verleden. De benutting van licht in de winterperiode is 30% beter dan in een traditionele teelt. Daarnaast zal er onderzocht worden of het toepassen van tussenbelichting een nog betere onderschepping geeft van de 'gloeilichtmolen'. Het is een logische vervolgstap op de reeds gedane onderzoeken. Gezien de geheel andere teeltwijze, zal het echter beproefd moeten worden.

Betreffende punt 4: Zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol licht

De nieuwe teeltwijze kenmerkt zich door zoveel mogelijk assimilaten uit een onderschepte mol licht te halen. Doordat er circa 6 maal per jaar een planting plaatsvindt *tussen* het bestaande gewas, is er jaarrond een *jong en vitaal* gewas in de kas. Een jong gewas gaat efficiënter om met de onderschepte molen dan een verouderd gewas (een tomaat kan 12 tot 15 meter lang worden). Zoals bekend is een tomatengewas in de bovenste meter het meest actief; oudere bladeren en stengeldelen gaan minder efficiënt om met de fotosynthese. Daardoor komen er relatief veel assimilaten uit een onderschepte mol licht.

Betreffende punt 5: Zoveel mogelijk assimilaten naar te oogsten bloemen / vrucht

De Futagrow teeltwijze kan als een systeeminnovatie betiteld worden. Op het plantkundige vlak geldt ook dat er op een geheel andere wijze geteeld gaat worden. Het is niet nodig dat

een gewas 11 maanden ‘meegaat’ dus in de relatief korte periode van 17 weken kunnen de vegetatieve delen van de plant ‘gebruikt / opgebrand’ worden ten gunste van de assimilaten voor de vrucht. Het gewas wordt nimmer langer dan 2,5 meter. De jaarrond korte transportafstand van assimilaten naar vruchten zorgen jaarrond voor een voordeel. Een plantkundig model, waar Groen Agro Control reeds twee jaar ontwikkeling in heeft zitten, vormt de basis voor het optimaal benutten van daglicht. De benodigde assimilaten van het jonge gewas worden uitgerekend en het computermodel berekent de optimale goothoogte van het jonge gewas.

2.5 Proefopzet

Het energiebesparingsonderzoek is uitgevoerd in een kasafdeling van 540 m² welke is opgedeeld in drie proefvakken van ieder 180 m² (1/3). Ieder proefvak is ingericht met een andere belichtingsinstallatie. Het eerste proefvak (A) is de referentie afdeling en is voorzien van SON-T topbelichting. De twee andere proefvakken (B en C) zijn voorzien van een hybride belichtingsinstallatie bestaande uit LED topbelichting en SON-T topbelichting, waarbij proefvak B ook is voorzien van LED tussenbelichting.

Doelstelling van het onderzoek is om tussen de 25% en de 40% elektrische energie te besparen in de proefafdelingen B en C.

Door de optimale benutting van het natuurlijk licht (dankzij het Futagrow teeltsysteem), een lager energieverbruik van LED belichting en een lagere stengeldichtheid in proefvak C zou dit kunnen worden bereikt. In het onderzoek wordt tevens lichtintegratie toegepast, waarbij de belichtingsduur en het stookbeleid worden aangepast aan de buitenomstandigheden.

Het onderzoek is uitgevoerd in de onderzoeksafdelingen 41 van Demokwekerij Westland. In tabel 2.1 zijn de specificaties van de kasafdeling weergegeven.

1	Kastype	Venlo
2	Tralie	8 m
3	Vakmaat	4,5 m
4	Oppervlakte	24 x 22,5 m = 540 m ² (incl. pad 1,5 m)
5	Poothoogte	6 m
6	Luchting	2 ruits
7	Gootsysteem	2x5 goten in 8 m; hoogte instelbaar
8	Watergift	druppelsysteem continu volgens Futagrow principe
9	Substraat	Geen (teelt op water)

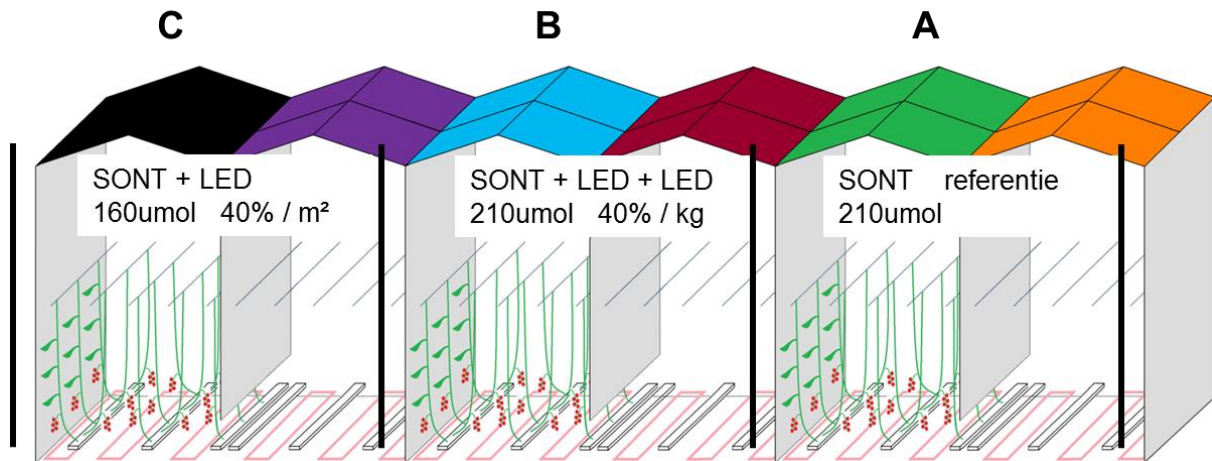
Tabel 2.1 Specificaties onderzoeksafdeling

Tweede referentie:

Behalve de referentieafdeling in het Futagrow teeltsysteem, worden de resultaten ook vergeleken met een praktijkbedrijf. Op het praktijkbedrijf wordt hetzelfde ras geteeld (Brioso), maar dan in een traditionele belichte kas. Het praktijkbedrijf ligt op enkele kilometers afstand van Demokwekerij Westland. Een kanttekening welke gemaakt dient te worden is dat het praktijkbedrijf een +/- 10% hogere lichttransmissie heeft. Hierdoor is het aantal belichtingsuren in de onderzoeksafdeling relatief hoog.

Proefvakken (Zie afbeelding 2.2)

- A. SON-T (Hoge druk natrium lampen); 210 umol
- B. SON-T & LED (watergekoeld) & LED-tussenlicht; 210 umol
- C. SON-T & LED (watergekoeld); 160 umol



Afb. 2.2 Grafische weergave onderzoeksafdelingen

Strategie

De eerste tralie is ingericht als referentie afdeling met conventionele SON-T belichting. De tweede tralie is ingericht met hybride topbelichting en LED-tussenlicht, waarbij een maximale energie besparing per kg wordt nagestreefd. De derde tralie is ingericht met maximale energiebesparing per m² grondoppervlakte als doel, waarbij een relatief laag niveau hybride topbelichting en een lagere stengeldichtheid moeten zorgen voor een optimale verhouding tussen buitenlicht, kunstlicht (=energieverbruik) en productie.

In afdeling B is op basis van hetzelfde plantkundig teeltmodel een teeltstrategie ontwikkeld, waarbij het oude gewas, wat altijd onder het jonge gewas hangt, wordt bijbelicht door LED-tussenlicht. De verdeling van het licht van boven wordt meer in het voordeel van het jonge gewas gestuurd door deze goot relatief hoger te positioneren. De totale lichtsom is in B hetzelfde als in A, maar er zijn meer mogelijkheden om het licht daar te brengen waar het op dat moment nodig is en ook meer mogelijkheden om lichtbronnen uit te schakelen op het moment dat op dit positie in het gewas op dat betreffende moment geen licht nodig is. Voor afrijpen van de laatste drie trossen is geen aanvullende belichting nodig, daarom is in de eerste teeltronde het tussenlicht in de laatste weken van die teeltronde uitgeschakeld.

Op basis van het plantkundig teeltmodel van GroenAgroControl is voor de belichtingsperiode een teeltplan gemaakt. Op basis van de verwachte hoeveelheid beschikbaar buitenlicht, het belichtingsniveau en de ontwikkelingsfase van de verschillende teeltrondes door het jaar heen is de plantdichtheid en de belichtingsduur zodanig afgestemd dat de besparing van 40% op elektriciteit in afdeling C realiseerbaar is, met geringe minder productie.

2.5.1 Belichtingssystemen

In deze paragraaf worden de gebruikte belichtingsinstallaties beschreven.

Proefvak A: Referentie

Referentie afdeling A wordt belicht met conventionele SON-T top belichting welke in twee stappen schakelbaar is. Om pragmatische reden is gekozen voor een combinatie van 600 en 1.000W armaturen. De praktijk gebruikt normaal gesproken 1.000 W armaturen.

Hoog lichtniveau topbelichting:

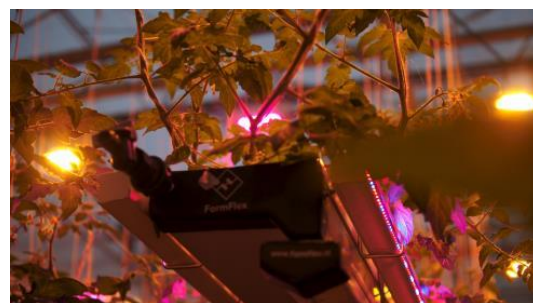
Type armatuur:	Hortilux HSE NXT II; 1000W met BETA reflector	
Vermogen:	3 x 1032W armatuur per 36 m ²	= 86 W/m ²
Belichting:	3 x 1792 uMol/m ² /s per 36 m ²	= 149 umol/m ² /s

Laag lichtniveau topbelichting:

Type armatuur:	Hortilux HSE 600; 600W met DEEP reflector	
Vermogen:	2 x 635W armatuur per 36 m ²	= 35 W/m ²
Belichting:	2 x 1075 uMol/m ² /s per 36 m ²	= 60 umol/m ² /s

Proefvak B: Hybride top belichting en tussenlicht

Onderzoeksafdeling B wordt belicht met conventionele SON-T top belichting in combinatie met LED topbelichting en LED tussenbelichting, welke in drie stappen schakelbaar zijn (zie afbeelding 2.6). De tussenlicht armaturen hangen aan de zijkant van de goot met het jonge gewas en beschijnen het oude gewas.



Afb. 2.3 Positie tussenlicht afd. B

Hoog lichtniveau topbelichting:

Type armatuur:	Hortilux HSE NXT II; 1000W met BETA reflector	
Vermogen:	2 x 1032W armatuur per 36 m ²	= 57 W/m ²
Belichting:	2 x 1792 uMol/m ² /s per 36 m ²	= 100 umol/m ² /s

Laag lichtniveau topbelichting:

Type armatuur:	Lemnis NGL Combi 90:10	
Vermogen:	2 x 625W armatuur per 36 m ²	= 35 W/m ²
Belichting:	2 x 1375 uMol/m ² /s per 36 m ²	= 76 umol/m ² /s

Tussenbelichting (gepland armatuur)

Type armatuur:	Hortilux HSE HortiLED R/B 150	
Vermogen:	2 x 29W armatuur per 2,4 m ²	= 24 W/m ²
Belichting:	2 x 65 uMol/m ² /s per 2,4 m ²	= 54 umol/m ² /s

De geplande tussenlicht armaturen waren helaas niet tijdig leverbaar, daarom is de proef uitgevoerd met armaturen welke wel direct beschikbaar waren. Deze armaturen komen qua lichtoutput overeen, maar zijn van een eerdere generatie en hebben een hoger energie verbruik. Gerealiseerde belichtingsuren met tussenlicht zijn rekenkundig omgezet naar het geplande armatuur en bijbehorend energieverbruik.

Tussenbelichting (gebruik armatuur)

Type armatuur: Philips GreenPower LED production module dr/b 150
 Vermogen: 2 x 40W armatuur per 2,4 m² = 33 W/m²
 Belichting: 2 x 62,5 uMol/m²/s per 2,4 m² = 52 umol/m²/s

Proefvak C: hybride top belichting

Onderzoeksafdeling C wordt belicht met conventionele SON-T top belichting in combinatie met LED topbelichting, welke in twee stappen schakelbaar zijn (zie afbeelding 2.6).

Hoog lichtniveau topbelichting:

Type armatuur: Hortilux HSE NXT II; 1000W met BETA reflector
 Vermogen: 2 x 1032W armatuur per 36 m² = 57 W/m²
 Belichting: 2 x 1792 uMol/m²/s per 36 m² = 100 umol/m²/s

Laag lichtniveau topbelichting:

Type armatuur: Lemnis NGL Combi 90:10
 Vermogen: 2 x 625W armatuur per 36 m² = 35 W/m²
 Belichting: 2 x 1375 uMol/m²/s per 36 m² = 76 umol/m²/s



Afb. 2.4 Hybride topbelichting afd. C

Overzicht belichting

In tabel 2.5 en 2.6 staat het vermogen en het lichtniveau van de verschillende lichtbronnen per onderzoeksafdeling overzichtelijk weergegeven. In tabel 2.6 is zichtbaar dat het geïnstalleerde lichtniveau in de praktijk lager is als in de onderzoeksafdeling. Een praktijk kas laat circa 10% meer licht door als een kleine onderzoeksafdeling. Om een vergelijkbare hoeveelheid licht op het gewas te krijgen is een hoger belichtingsniveau toegepast.

Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
SonT 1000	86	57	57	103	W/m ²
SonT 600	35				W/m ²
LED top		35	35		W/m ²
LED tussen		24			W/m ²
Totaal	121	116	92	103	W/m ²
Percentage	100%	96%	76%	85%	

Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
SonT 1000	149	100	100	181	uMol/m ² /s
SonT 600	60				uMol/m ² /s
LED top		76	76		uMol/m ² /s
LED tussen		54			uMol/m ² /s
Totaal	209	230	176	181	uMol/m ² /s
Percentage	100%	110%	84%	86%	

2.5.2 Proefduur en teeltgegevens

De proef is gestart op 11-10-2013 en is geëindigd op 17-6-2014. In deze periode zijn 3 teeltrondes geheel gevolgd en is teeltronde 0 gedeeltelijk gevolgd (zie tabel 2.7)

Teeltronde nr.	Plantdatum	Datum eerst oogst	Datum laatste oogst	Planten per m ² (afd. A & B)	Planten per m ² (afd. C)
0	9-8-2013	03-10-2013	10-12-2013	3,5	3,5
1	11-10-2013	17-12-2013	13-02-2014	3	2,5
2	13-12-2013	20-02-2014	17-04-2014	3,5	3
3	18-2-2014	18-04-2014	17-06-2014	4	3,5
Praktijk	28-10-2013	17-12-2013	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Teeltronde 0 is geplant in de zomer en is grotendeels opgegroeid zonder kunstlicht. Tot het ombouwen van de belichtingsinstallatie in de week van 11-10-2013, is in alle onderzoeksafdelingen bijbelicht met dezelfde hoeveelheid SON-T belichting. Het gewas van teeltronde 0 is in alle afdelingen dus opgegroeid onder dezelfde omstandigheden, maar is afgerijpt met de verschillende belichtingsystemen.

Teeltronde 1 en 2 vallen volledig binnen het belichtingsseizoen, waarbij teeltronde 1 “van het licht af” is geteeld en teeltronde 2 “naar het licht toe”.

Teeltronde 3 is gedeeltelijk opgegroeid met kunstlicht. Tien dagen voor de eerste oogst is deze teelt volledig overgegaan op buitenlicht.

Teelt gegevens:

Tomaten ras: Brio (RijkZwaan)
Type tomaat: Cocktail (40 gram)

Belichtingsdoel	< 22-01-2014:	> 22-01-2014
Afdeling A en B :	17,2 Mol/m ² /dag	19,6 Mol/m ² /dag
Afdeling C:	13,6 Mol/m ² /dag	13,6 Mol/m ² /dag

Etmaal temperatuur afdeling A en B:	19 °C
Etmaal temperatuur afdeling C (<20-12-2013):	18,5 °C
Etmaal temperatuur afdeling C (>20-12-2013):	19 °C

Aantal vruchten per tros

Afdeling A & B:	8
Afdeling C (<20-12-2013):	7
Afdeling C (>20-12-2013):	8

Noot:

Tot 20-12-2013 is in de afdeling C een lagere temperatuur, een lagere stengeldichtheid en een lager aantal vruchten per tros aangehouden. Bij de start van de proef waren deze uitgangspunt gekozen omdat in afdeling C minder licht beschikbaar is. Gedurende de teelt

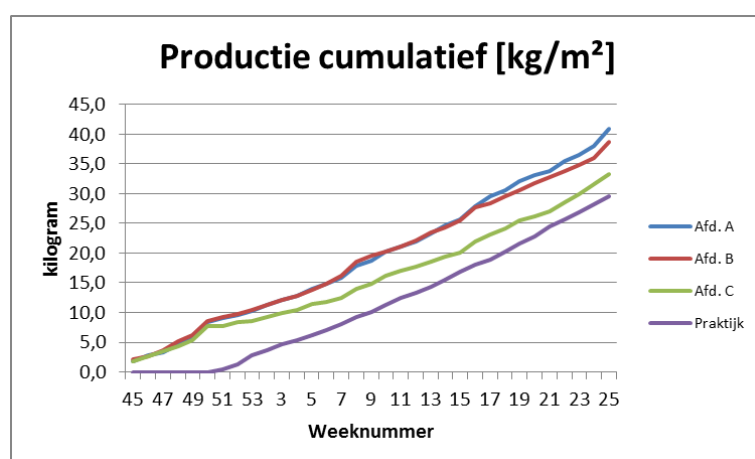
bleek dat de plant zwak werd en uit balans raakte. Op 20-12-2013 is daarom ingegrepen en zijn de etmaaltemperatuur en het aantal vruchten per tros verhoogd. De schade was op dat moment echter al aangericht en het duurde enkele weken voor het gewas terug in balans was. De onbalans resulteerde in miszetting, schimmelaantasting en bovengemiddelde uitval. De gehele oogst in afdeling C heeft hieronder geleden.

Na de teeltwissel op 13-12-2013 is het jonge gewas van teeltronde 2 in een mooie balans opgegroeid. De consequentie van telen met te weinig energie hebben zich uitsluitend voorgedaan in afdeling C.

3. Resultaten elektriciteitsbesparing

3.1 Teeltronde 0 t/m 3 (Discussie)

Het Futagrow teeltsysteem heeft 52 weken per jaar productie, dit in tegenstelling tot conventionele teeltsystemen. De periode dat de gebruikelijke tomatenteelt geen productie heeft gaat Futagrow door. Dit betekent enerzijds dat in Futagrow eerder de belichting aan gaat, maar anderzijds valt al het licht wel op een plant en niet op de grond, zoals bij een opgroeiend gewas in de praktijk wel het geval is. Aangezien de belichtingsinstallatie op 11-10-2013 is omgebouwd, is het gewas van teeltronde 0 in alle afdelingen opgegroeid onder dezelfde lichtomstandigheden. Hier zitten ook een aantal uren belichting met volledig SON-T in. Om deze reden zal teeltronde 0 in het vervolg van dit rapport buiten beschouwing gelaten worden. Voor de potentiële energiebesparing van het Futagrow teeltsysteem is dit niet gunstig. Er wordt immers een periode buitenbeschouwing gelaten waarin het Futagrow systeem optimaal omgaat met het beschikbare licht, terwijl in de praktijk het meeste licht op de grond valt. In deze periode hing in iedere afdeling dezelfde SonT belichting. De werkelijke lichtsom is omgerekend naar een berekende belichtingsduur van de nieuwe installatie. In week 15 is de belichtingsinstallatie uitgeschakeld en in week 25 is teeltronde 3 leeg geoogst. Als gekeken wordt naar de productie en het energieverbruik tijdens de belichtingsperiode van week 39 tot week 25 wordt duidelijk dat het elektriciteitsverbruik per kilogramproduct in Futagrow 11% lager ligt (tabel 3.5). Door gebruik te maken van energiezuinige LED belichting (afd. B) is zelfs 19% minder elektriciteit per kg product realiseerbaar.



Afbeelding 3.1 Productie teeltronde 0 t/m 3

Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
SonT 1000	2343	2241	2119	2192	uur
SonT 600	2342				uur
LED top		2271	1967		uur
LED tussen		1918			uur

Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
SonT 1000	201	128	121	226	kWh/m ²
SonT 600	83	0	0		kWh/m ²
LED top	0	79	68		kWh/m ²
LED tussen	0	46	0		kWh/m ²
Totaal	284	254	190	226	kWh/m ²
Percentage	100%	89%	67%	80%	

Teeltronde	Afd. A	Afd. B	Afd. C	Praktijk
0	10,4	10,7	10,1	0,7
1	8,7	8,8	5,7	8,0
2	10,7	9,4	6,5	10,0
3	12,4	11,9	11,4	11,6
totaal	42,2	40,8	33,7	30,3
	100%	97%	80%	72%

Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
6,7	6,2	5,6	7,5	kWh/kg
100%	92%	84%	111%	

Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
83,1	86,9	90,4	104,7	mol/kg
100%	105%	109%	126%	

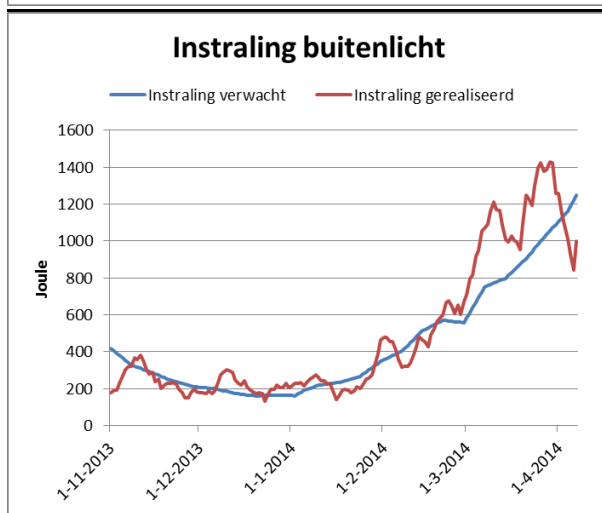
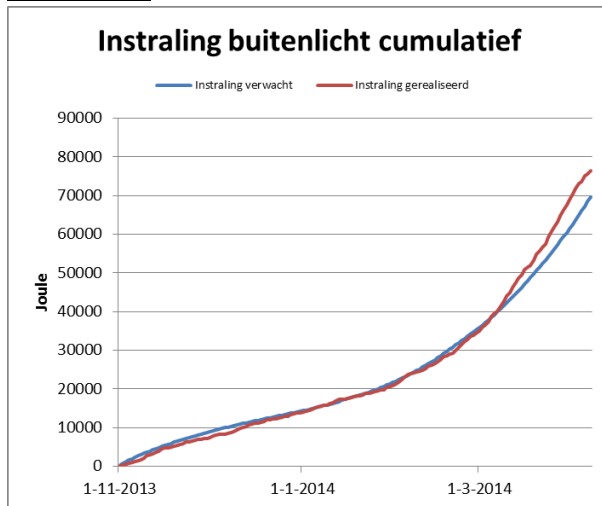
3.2 Teeltronde 1 t/m 3

Vanaf nu wordt alleen gerekend met teeltronde 1 t/m 3. Het energieverbruik en de producties van teeltronde 0 worden in het onderzoek verder buiten beschouwing gelaten. Omdat het gewas van teeltronde 0 een overlap van 9 weken heeft met teeltronde 1, wordt het energieverbruik in deze 9 weken rekenkundig verdeeld over teeltronde 0 en teeltronde 1. De correctie houdt in dat de belichtingsuren van 11-10-2013 tot 10-12-2013 voor 55% worden toegerekend aan teeltronde 1 en voor 45% aan de overlappende teeltronde 0. Overal waar met de correctie gerekend is, wordt dit expliciet genoemd.

Belichtingsperiode:

De teelt, het energieverbruik en de productie zijn onderzocht in de periode van 1 november 2013 tot 8 april 2014. In deze periode is het buitenlicht schaars en wordt intensief bijbelicht met kunstlicht. In de onderzoeksafdeling is het aandeel kunstlicht wat hoger dan in de praktijk doordat de kas minder natuurlijk licht doorlaat dan een praktijkbedrijf.

Buitenlicht:

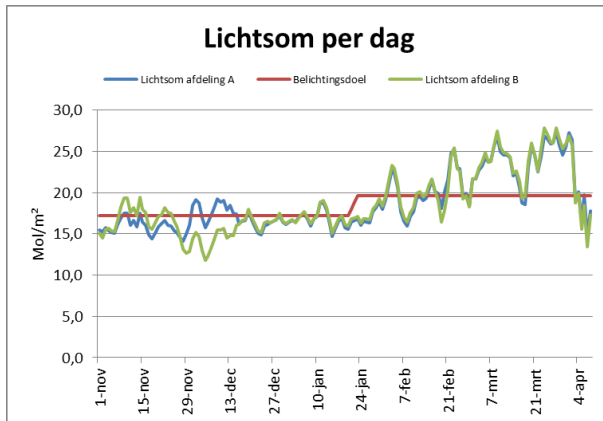


Afbeelding 3.6 Buitenlicht cumulatief

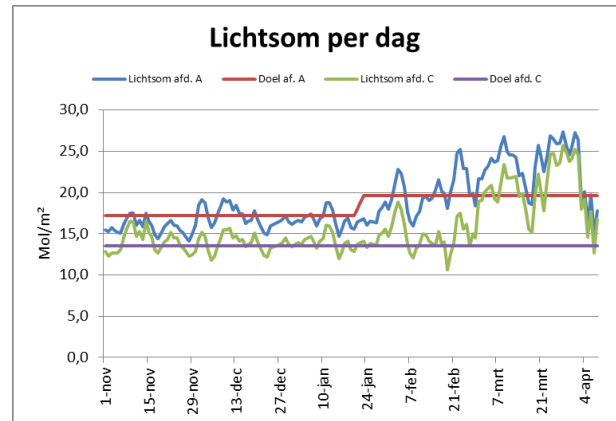
Afbeelding 3.7 Buitenlicht

Lichtintegratie

Op de belichtingsduur is in alle afdeling lichtintegratie toegepast. Aan de hand van de gewenste licht hoeveelheid in relatie tot de verwachte en gerealiseerde hoeveelheid buitenlicht, zijn de belichtingsuren per dag aangepast.



Afb. 3.8 Lichtsom per dag A versus B

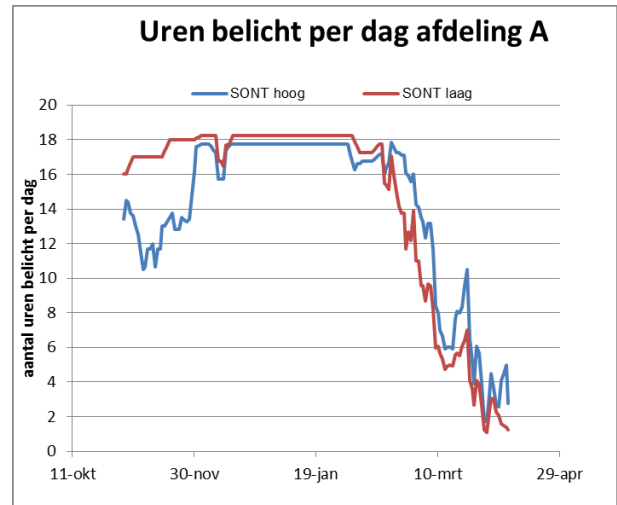


Afb. 3.9 Lichtsom per dag A versus C

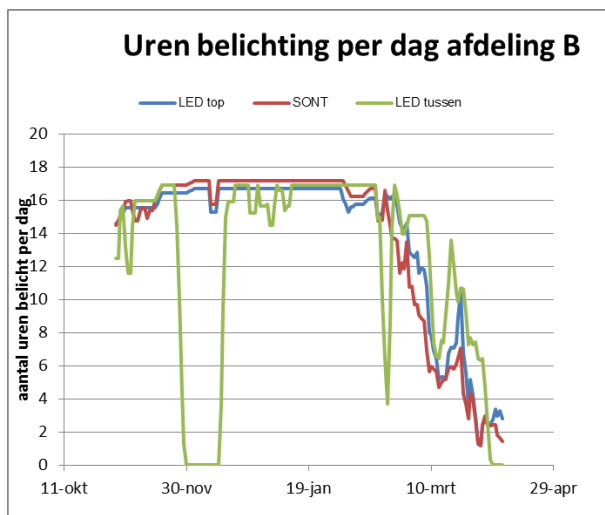
Belichtingsduur per dag:

Doelstelling van afdeling B is om energie te besparen bij gelijkblijvende productie. Uit de literatuur is bekend dat de verhouding tussen productie en lichtsom 1 op 1 is. Er is daarom gekozen voor eenzelfde gewenste lichtsom per dag in afdeling A en afdeling B. Tot 22 januari was de gewenste lichtsom per dag 17,2 Mol/m². Vanaf 22 januari was het belichtingsdoel 19,6 Mol/m², dit in verband met een hoger aantal stengels per vierkante meter. In afbeelding 3.8 en 3.9 zijn de gerealiseerde lichtsommen per afdeling afgezet tegen de geplande lichtsom.

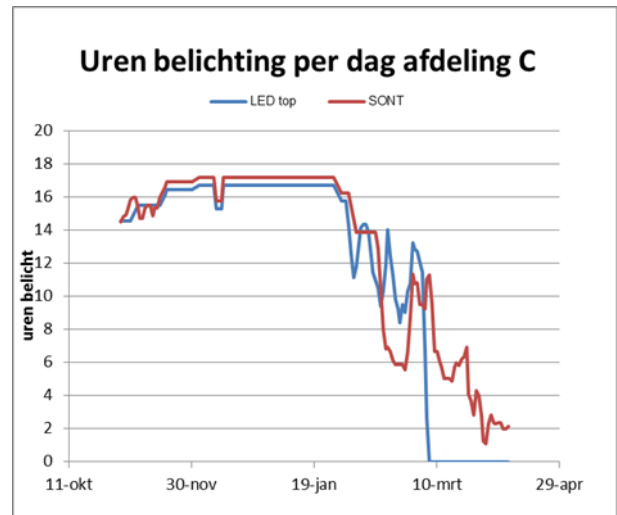
In de eerste weken van december heeft het tussenlicht in afdeling B twee weken uitgestaan (zie afbeelding 3.11). De reden hiervoor was dat het tussenlicht op dat moment op een bijna leeg gewas scheen. Uit energiebesparingsoogpunt is het tussenlicht uitgeschakeld.



Afbeelding 3.10 belichtingsuren referentie



Afbeelding 3.11 Belichtingsuren proef



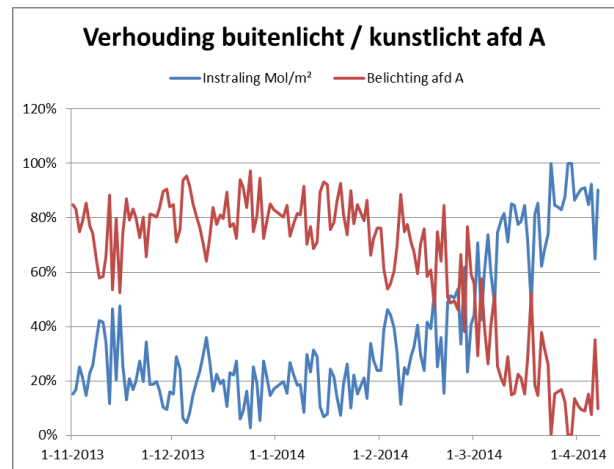
Afbeelding 3.12 Belichtingsuren proef

Tabel 3.13 Gerealiseerd belichtings uren (gecorrigeerd)					
Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
SonT 1000	1954	1852	1730	2192	uur
SonT 600	1955				uur
LED top		1884	1579		uur
LED tussen		1531			uur

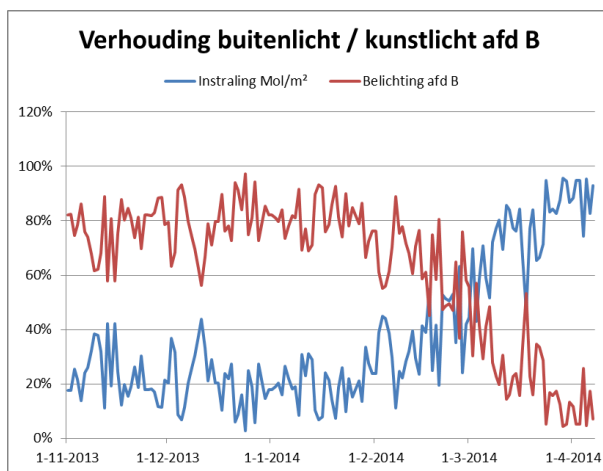
Buitenlicht vs. kunstlicht:

In afbeelding 3.13 t/m 3.15 is de verhouding tussen buitenlicht en kunstlicht weergegeven. In de winter periode is het aandeel buitenlicht 20% à 25% en het aandeel kunstlicht 75% à 80%. De toename van buitenlicht in februari en maart is goed zichtbaar. Het aandeel buitenlicht is in afdeling C groter door de lagere hoeveelheid kunstlicht. NB. De lichtverhouding in een onderzoeksafdeling wordt negatief beïnvloed door gevelinvloeden. In de praktijk is de absolute hoeveelheid buitenlicht hoger.

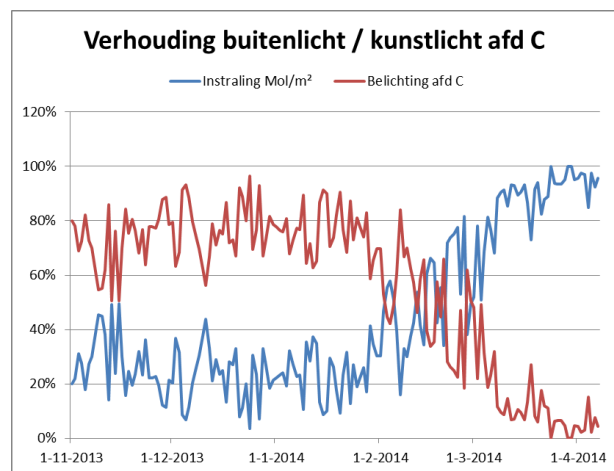
Tabel 3.16 en 3.17 tonen respectievelijk de gerealiseerde belichtingssom en de totale lichtsom inclusief buitenlicht over de periode. De lichtsommen van 11-10-2013 tot 10-12-2013 zijn voor 55% toegerekend aan teeltronde 1 en voor 45% aan teeltronde 0.



Afb. 3.13 Verhouding buitenlicht / kunstlicht



Afb. 3.14 Verhouding buitenlicht / kunstlicht



Afb. 3.15 Verhouding buitenlicht / kunstlicht

Tabel 3.16 Gerealiseerde belichtingssom (gecorrigeerd)				
Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
1.471	1.458	1.054	1.425	mol/m ²
100%	99%	72%	97%	%

Tabel 3.17 Gerealiseerde lichtsom (gecorrigeerd)				
Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
2.650	2.637	2.233	2.663	mol/m ²
100%	100%	84%	101%	%

Energie:

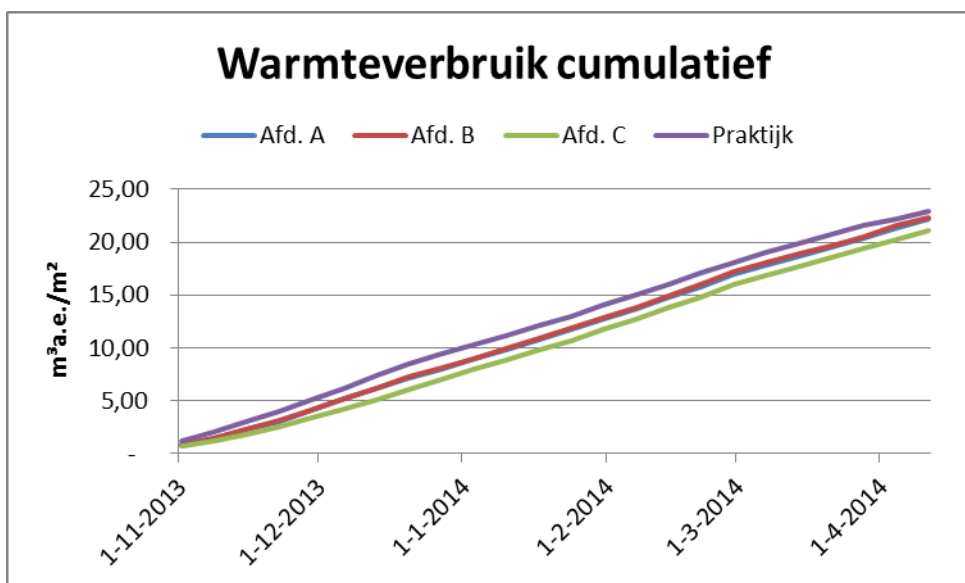
In tabel 3.18-a is het elektriciteitsverbruik van de verschillende belichtingsbronnen over de periode weergegeven. Het elektriciteitsverbruik van proefafdeling B is 12% lager dan dat van referentie afdeling A. Het elektriciteitsverbruik van proefafdeling C is 35% lager dan dat van de referentie afdeling A.

Het absolute elektriciteitsverbruik van het praktijkbedrijf is 5% lager dan dat van de referentie afdeling. Noot hierbij is wederom de lagere lichttransmissie van de onderzoek kas.

Armatuur:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
SonT 1000	168	106	99	226	kWh/m ²
SonT 600	69	0	0		kWh/m ²
LED top	0	65	55		kWh/m ²
LED tussen	0	37	0		kWh/m ²
Totaal	237	209	154	226	kWh/m ²
Percentage	100%	88%	65%	95%	

In tabel 3.18-b is de gerealiseerde warmtevraag van de verschillende afdelingen weergegeven in m³ aardgas equivalenten per m² [m³a.e./m²]. De warmte in de futagrow afdelingen is gemeten middel GJ-meters. Noot: De onderzoeksafdelingen bevinden zich in de zelfde kas. Warmte uitwisseling tussen de afdelingen heeft plaatsgevonden. In afdeling C is tot week 50 een lagere temperatuur aangehouden. Het geveleppervlak van de onderzoeksafdelingen is relatief groot ten opzichte van de praktijkkas.

	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
Totaal	22,1	22,4	21,1	22,9	m ³ a.e./m ²
Percentage	100%	101%	95%	103%	

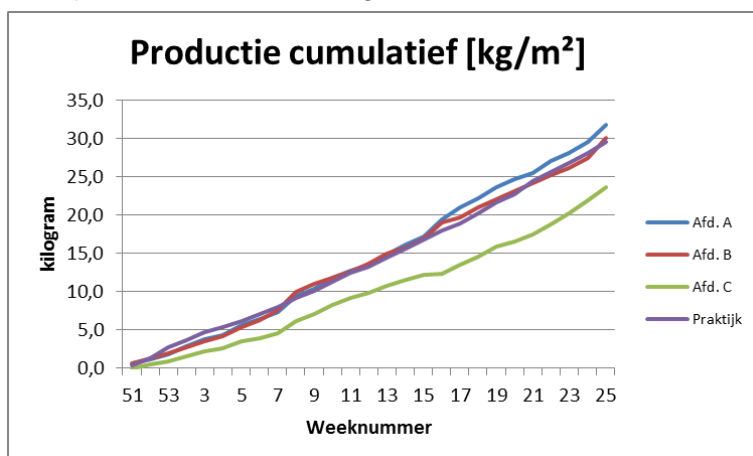


Afbeelding 3.18-c Warmteverbruik cumulatief

Productie:

Vanaf half december is er geoogst van het gewas. In afbeelding 3.19 is de productie per week weergegeven. De productie per week van de afdeling A, afdeling B en van het praktijkbedrijf lopen grotendeels gelijk op. De productie in de afdeling A neemt half februari een kleine voorsprong, waarna de grafieken weer parallel lopen. De productie in afdeling C loopt in de eerste teeltronde 35% achter op afdeling A. In teeltronde 2 is dit nog 30% en in teeltronde 3 nog maar 8%.

De productie van teeltronde 1 t/m 3 vallen in de periode van week 51-2013 tot en met week 25-2014. De productie van het praktijkbedrijf is in deze periode bijgehouden en tevens weergegeven.



Afbeelding 3.19 Productie cumulatief

Teeltronde	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk
1	8,7	8,8	5,7	7,98
2	10,7	9,4	6,5	10,01
3	12,4	11,9	11,4	11,57
Totaal	31,8	30,1	23,6	29,6
	100%	95%	74%	93%

In tabel 3.21 is de lichtsom van week 44 tot week 15 (opgroei- en belichtingsperiode) gedeeld door de productie van week 51 t/m week 25 (oogst periode). Dit geeft een indruk van de efficiëntie van de onderzoeksafdelingen ten opzichte van de praktijk. De lichtsom na week 15 is niet geregistreerd, maar bestaat volledig uit buitenlicht en is voor alle afdelingen gelijk.

Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
83,3	88,3	94,6	90,1	mol/kg
100%	106%	114%	108%	

Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
7,5	6,9	6,5	7,7	kWh/kg
100%	93%	88%	103%	

Teeltverloop:

Teeltronde 0:

Datum planten	Datum eerst oogst	Datum laatste oogst	Planten per m ² (afd. A & B)	Planten per m ² (afd. C)
9-8-2013	03-10-2013	10-12-2013	3,5	3,5

Alleen de afrijpingsfase van teeltronde 0 is behandeld met LED licht. Voordat de belichtingsinstallatie op 11-10-2013 werd omgebouwd, is teeltronde 0 opgegroeid met buitenlicht, waar vanaf september in toenemende mate SON-T belichting aan is toegevoegd. Om deze reden is teeltronde 0 buiten de registratie gehouden. Interessant is dat alle drie de afdelingen zijn opgegroeid onder dezelfde lichtomstandigheden, maar zijn afgerijpt onder verschillende lichtbehandelingen.

Afdeling A

Geen bijzonderheden. Constante productie. Gezonde wortels en een gezond gewas.

Afdeling B:

Afdeling B heeft zichtbaar geprofiteerd van de tussenlichtarmaturen, waardoor na 7 weken de oogst een halve tros voorlag op afdeling A. De laatste twee weken heeft het tussenlicht uitgestaan omdat er nog maar 2 trossen aan het oude gewas hingen.

Afdeling C:

Afdeling C liep na 9 weken een hele tros (= 1 week) achter in productie en het gewas stond er veel vegetatiever op. Het blad was dikker en had een groter oppervlak. De plant kwam duidelijk energie tekort om de laatste tros af te maken.

Teeltronde 1:

Datum planten	Datum eerst oogst	Datum laatste oogst	Planten per m ² (afd. A & B)	Planten per m ² (afd. C)
11-10-2013	17-12-2013	13-02-2014	3	2,5

Algemeen

In teeltronde 1 is veel geleerd over de juiste teeltstrategie voor de twee afdelingen met LED. In beide afdelingen is op enig moment van de teelt onbalans ontstaan met zettingsproblemen en zwakheid tot gevolg.

Afdeling A

Geen bijzonderheden. Constante productie. Gezonde wortels en een gezond gewas.

Afdeling B

Het tussenlicht heeft de eerste twee weken van december uitgestaan. Het lijkt of dit invloed heeft gehad op de snelheid van het jonge gewas van teeltronde 1. Er zijn drie mogelijke oorzaken onderzocht.

1. De hoeveelheid tussenlicht welke door het oude gewas heen op het jonge gewas valt is gemeten. Het lichtniveau op het jonge gewas door tussenlicht bleek slechts 5 $\mu\text{Mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ te zijn.
2. Bladeren van het jonge gewas hangen voor ledbalk en vangen licht op.
3. De LED balk wordt ongeveer 40°C warm. Deze warmte wordt als convectie warmte afgegeven bij de wortels van de jonge plant.



Uiteindelijk lijkt de warmte van de LED balk het meeste invloed te hebben. Ook heeft dit tot gevolg gehad dat de eerst drie trossen sneller grof werden en eerder dan gebruikelijk energie van de plant gingen vragen. Dit heeft tot gevolg gehad dat trossen 4, 5 en 6 in aanleg energie te kort kwamen, met zwakke trossen, slechte zetting en onbalans tot gevolg. In de analyse wordt dit verder uitgelicht.

Uiteindelijk is afdeling B een paar dagen eerder leeg geoogst dan de andere afdelingen, omdat de afrijping sneller ging.

Afdeling C

Tot de eerste oogst van teeltronde 1 is afdeling C afgescheiden van afdeling B door een tussengevel. Er werden een lagere etmaaltemperatuur, een lagere stengeldichtheid en een lager aantal vruchten per tros aangehouden. Medio december raakte het gewas uit balans en is ingegrepen door de tussengevel tussen afdeling B en C op te hijsen zodat de klimaatverschillen werden afgevlakt. Na week 51 is dezelfde etmaaltemperatuur aangehouden en is alleen de stengeldichtheid lager gehouden dan in afdeling A en B. Begin januari begon het oude blad sterk te slijten. Ook het wortelgesteld was er slechter aan toe dan in de andere afdelingen. De plant had aan het einde van de teeltronde niet voldoende energie om de laatste trossen af te maken.

Teeltronde 2:

Datum planten	Datum eerst oogst	Datum laatste oogst	Planten per m ² (afd. A & B)	Planten per m ² (afd. C)
13-12-2013	20-02-2014	17-04-2014	3,5	3

Kort na de eerste oogst is gestart met het afbouwen van het aandeel kunstlicht. Circa twee weken voor de laatste oogst is het kunstlicht in alle afdelingen volledig afgeschakeld.

Afdeling A

Geen bijzonderheden. Constante productie. Gezonde wortels en een gezond gewas.

Afdeling B

Het tussenlicht heeft de gehele periode gebrand om de vertraging in het jonge gewas van teeltronde 2 te voorkomen. Afdeling B was een week eerder oogstbaar dan de andere twee afdelingen. Het vruchtgewicht lag in het begin hoger. Rond de oogst van tros 5 lijkt de balans om te slaan. De plant stopte de energie niet in de vruchten en het vruchtgewicht en productie beginnen achter te lopen op afdeling A.

Het effect van het tussenlicht, opgehangen aan de goot met het jonge gewas is als volgt:

- Tros 1 t/m 3 zijn sneller grof en sneller oogstbaar (1 week)
- Tros 4 t/m 6 worden trager grof
- Tros 4 t/m 6 halen de achterstand als oud gewas in (snelheid), maar missen grofheid.
- Totaal 1 week sneller leeg geoogst, maar onbalans.

Afdeling C

Bij aanvang van teeltronde 2 is de tussengevel tussen afdeling B en C verwijderd zodat de klimaatverschillen tussen afdeling B en C werden afgevlakt. Alleen de lagere stengeldichtheid is aangehouden i.v.m. de lagere lichtsom. Ten tijde van de eerste oogst staat het gewas er veel frisser en beter in balans op als bij de vorige ronde. Wel is het gewas trager dan de andere afdelingen. Een week na de eerste oogst werd een phytophthora besmetting geconstateerd rond de 3^e en 4^e tros. Deze besmetting bleef beperkt tot afdeling C. Het vermoeden ontstaat dat de algemene zwakte in de plant van afdeling C een rol speelt in de gevoeligheid voor schimmels. Qua productie kwam afdeling C in het begin goed mee. De laatste trossen waren echter erg ongelijk en van inferieure kwaliteit.

Teeltronde 3:

Datum planten	Datum eerst oogst	Datum laatste oogst	Planten per m ² (afd. A & B)	Planten per m ² (afd. C)
18-2-2014	18-04-2014	17-06-2014	4	3,5

Het jonge gewas groeit in alle afdelingen goed weg.

Het licht wordt gedurende de opgroefase afgebouwd en vanaf 08-04-2014 is de belichting helemaal uit gegaan.

Afdeling A

Geen bijzonderheden. Constante productie.

Afdeling B

Qua snelheid werd in afdeling B wederom een week eerder geoogst. De voorsprong in oogstnelheid is na 3 trossen volledig verdwenen. Afdeling B heeft relatief veel kniktrossen en de verschillen tussen goede en zwakke planten zijn groot. In verband met de zwakke en de onbalans is een lager aantal vruchten per tros aangehouden als in afdeling A.

Afdeling C

De productie in afdeling C komt goed mee en is in lijn met de plantdichtheid. De planten in afdeling C profiteren van de toenemende hoeveelheid buitenlicht.

4. Analyse, discussie en conclusie besparingsonderzoek

4.1 Analyse:

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de prestaties van de proefafdelingen ten opzicht van de referentieafdeling en de praktijk.

	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk
Geïnstalleerd vermogen	100%	96%	76%	85%
Geïnstalleerd lichtniveau	100%	110%	84%	86%
Gerealiseerde belichtingssom	100%	101%	72%	97%
Gerealiseerde lichtsom	100%	100%	84%	101%
Gerealiseerd elektriciteitsverbruik	100%	88%	65%	95%
Gerealiseerde productie	100%	95%	74%	93%

Afdeling A versus afdeling B

Vooraf was de intentie om meer belichtingsuren te maken met de energiezuinige LED belichting en minder met de conventionele SON-T belichting. Teeltkundig bleek dit echter niet volledig mogelijk. Wanneer 's nacht de belichting aan werd gezet, werd gestart met SON-T belichting omdat deze ook stralingswarmte afgeeft. Als het gewas wel belicht wordt, maar geen warmte krijgt toegevoerd gaat het gewas niet efficiënt om met het licht. Op dagen met relatief veel buitenlicht schakelt de SON-T belichting wel als eerste uit, maar dagen met veel buitenlicht doen zich voornamelijk voor in oktober en maart en hebben daarmee een beperkte invloed gehad op het onderzoek.

In de eerste twee weken van december heeft het tussenlicht in onderzoeksafdeling B uitgestaan (afbeelding 3.10). Op dat moment was het oude gewas, waar het tussenlicht op schijnt, bijna leeg geoogst. Uit oogpunt van energiebesparing is het tussenlicht uitgeschakeld omdat de laatste drie trossen in principe af waren en met weinig licht en voldoende temperatuur af kunnen rijpen. Het uitschakelen van het tussenlicht had geen effect op de productie van het oude gewas, maar wel op de snelheid van het jonge gewas, wat op de goot boven het tussenlicht opgroeide. Dit verschijnsel is nader onderzocht.

Het jonge gewas op de goot boven het tussenlicht heeft op drie manieren onbedoeld voordeel van het tussenlicht.

1. De LED balk welke voor tussenlicht gebruikt wordt geeft geen stralingswarmte af, maar wordt wel warm (ca. 40°C). Deze warmte wordt door convectie afgegeven en stijgt op naar het bovenliggende jonge gewas (groeibuis effect).
2. De onderste bladeren en vruchten van het jonge gewas hangen soms in het schijnsel van het tussenlicht en profiteren mee van dit licht.
3. Het tussenlicht schijnt door het oude gewas heen naar de volgende goot met jonge planten. Uit lichtmetingen blijkt dat slechts 5 μmol licht de volgende goot haalt. Dit is zeer weinig en vermoedelijk verwaarloosbaar.

Bovenstaande voordelen hebben het volgende resultaat:

- Tros 1 t/m 3 worden sneller grof en zijn ca. 1 week eerder oogstbaar.

- Deze vruchten vragen meer energie van de plant, waardoor er minder energie beschikbaar is voor tros 4 t/m 6 welke minder grof worden en achterblijven in productie.
- Tros 7 t/m 9 ontwikkelen normaal omdat de som van tros 1 t/m 6 gezamenlijk wel in balans is.
- Na het oogsten van tros 1 t/m 3 heeft de plant in afdeling B eerder energie over voor het afrijpen van tros 4 t/m 9, welke dan ook sneller oogstbaar zijn. De grofheid (= vruchtgewicht) krijgen ze echter niet terug. De vruchten zijn zwak aangelegd en blijven fijner.

Doordat het tussenlicht twee weken heeft uitgestaan, verloor het jonge gewas de voorsprong in snelheid (teeltronde 1). Het vruchtgewicht nam later in de teelt echter ook niet toe waardoor het jonge gewas in deze teeltronde netto geen voordeel heeft gehad van het tussenlicht.

In de opvolgende teeltronde 2 is het tussenlicht alleen tijdens de teeltwissel een dag uit geweest. Dit is zichtbaar aan de piek naar beneden op 20-2-2014 (afbeelding 3.10). Deze teeltronde heeft door het aanhouden van het tussenlicht wel de snelheid vastgehouden, waardoor er een week eerder geoogst kon worden. Deze vervroegde oogst viel bovendien samen met de laatste oogst van de voorgaande teeltronde, waardoor er in de weken van 11 en 17 februari van beide teeltrondes geoogst is.

Door gebruik te maken van efficiënte LED top belichting en tussenlicht is het energieverbruik met 12% verlaagd.

Het totaal geïnstalleerde belichtingsniveau in afdeling B is 8% hoger als in referentie afdeling A en wordt op een andere manier over het gewas verdeeld. Dit samen met een lager aantal belichtingsuren heeft geleid tot eenzelfde lichtsom, maar een 5% lagere productie (1,7 kg). Het productieverval is ontstaan in teeltronde 2 en 3. In teeltronde 2 is afdeling B als eerste oogstbaar, maar heeft over het algemeen een lager trosgewicht. In teeltronde 3 start afdeling B ook een week eerder, de onbalans in de plant zorgt ook deze ronde voor kniktrossen en een lagere productie. De positie van het tussenlicht veroorzaakt onbalans en zou beter op een andere plek kunnen worden geïnstalleerd. Er is een duidelijk effect zichtbaar van het tussenlicht, het werkt echter niet in het voordeel van de plant maar in het nadeel (onbalans).

In tabel 3.21 is het effect van de onbalans terug te zien in de omzetting van molen licht in kg product. Ten opzichte van de praktijk is afdeling B 3% efficiënter en afdeling A 7% efficiënter.

Afdeling A versus Afdeling C

Opvallend is dat de gerealiseerde lichtsom in afdeling C met 84% hoger is dan de gerealiseerde belichtingssom met 72% ten opzichte van afdeling A. In afbeelding 3.9 is zichtbaar dat dit verschil vanaf eind februari is ontstaan door de grote hoeveelheid buitenlicht. Er is vanaf eind februari meer licht op het gewas in afdeling C gekomen dan vooraf was gepland. De belichtingduur is in die periode versneld afgebouwd, maar in verband met de Phytophthora besmetting is er voor gekozen om de SON-T belichting een aantal uren te laten branden om zo het gewas droog te houden. De energiebesparing in afdeling C had nog hoger kunnen zijn.

De productie in afdeling C is circa 21% lager dan die van afdeling A, wat overeenkomt met de lichtsom en het aantal vruchten per m². De lage productie in teeltronde 1 en teeltronde 2 zijn veroorzaakt door zwakte in het gewas.

In tabel 3.21 is zichtbaar dat er in verhouding 14% meer licht nodig is in afdeling C om dezelfde productie als afdeling A te halen. De omzetting van licht in productie is in afdeling C zelfs minder als in de praktijk. Het efficiëntie voordeel van het Futagrow teeltsysteem is in afdeling C verloren gegaan door kwaliteitsproblemen. Er is energie gestopt in een plant, maar niet genoeg om kwalitatief goede vruchten te maken. Een zwak gewas heeft last van kniktrossen en is eerder vatbaar voor plagen.

In tabel 3.22 is zichtbaar dat in afdeling C het minste kWh elektra per kg product is gebruikt, zelfs lager dan in afdeling B. Naast het gebruik van energiezuinige LED belichting is deze besparing het resultaat van het lager aantal belichtingsuren. Een lagere lichtsom leidt tot een efficiëntere omzetting van (fossiel opgewekte) elektriciteit. De efficiëntie verbetering wordt veroorzaakt door een relatief hoger aandeel buitenlicht in de totale lichtsom.

Afdeling A versus Praktijk

De gerealiseerde lichtsom van de praktijk is procentueel hoger als de belichtingssom. Oorzaak is de hogere lichtdoorlatendheid van kassen op praktijkschaal. Een ander opvallend verschil tussen de praktijk en afdeling A is dat de gerealiseerde belichtingssom van de praktijkkas relatief 2% hoger is als het gerealiseerde elektriciteitsverbruik, dit in vergelijking met afdeling A. Dit wordt veroorzaakt

doordat in de praktijk alleen met 1000W armaturen wordt belicht, terwijl in afdeling A met een combinatie van 1000W en 600W armaturen wordt belicht. 1000W armaturen zijn efficiënter dan de 600W variant. In dit onderzoek is voor 600W armaturen gekozen omdat het gewenste lichtniveau in afdeling A anders niet gehaald zou worden. Wanneer Futagrow op praktijkschaal wordt toegepast zullen bovenstaande nadelen niet voorkomen.

Wat vervolgens opvalt is dat de gerealiseerde lichtsom in afdeling A en in de praktijk bijna gelijk zijn, terwijl de praktijk 7% minder productie heeft. Dit geeft aan dat het Futagrow systeem in afdeling A efficiënter om is gegaan met het beschikbare licht dan het traditionele teeltsystemen voor belichte tomaat. In absolute zin is er in afdeling A per vierkante meter 5% meer energie verbruikt als in de praktijk, per kg product is er echter 3% minder energie verbruikt in afdeling A van het Futagrow systeem.

Teeltronde 0 t/m 3 versus teeltronde 1 t/m 3

In paragraaf 3.1 is toegelicht dat teeltronde 0 in het rapport buiten beschouwing is gelaten omdat de meetgegevens deels gebaseerd zijn op de periode voordat de belichtingsinstallatie is omgebouwd. Voor de doelstelling van het onderzoek, namelijk het onderzoeken van energiebesparing door de systeeminnovatie van Futagrow valt teeltronde 0 juist een hele interessante periode. De teeltwissel van de praktijk valt namelijk in deze periode, waardoor Futagrow in productie is en alle buitenlicht opvangt, terwijl de praktijk dan een half lege kas heeft zonder productie. Om de potentie van de systeeminnovatie te kwantificeren is het belangrijk om teeltronde 0 mee te nemen in de analyses.

In tabel 4.2 worden de producties van de verschillende perioden vergeleken. In tabel 3.4 zijn de producties per teeltronde in meer detail weergegeven. De praktijk was in teeltwisseling

tijdens teeltronde 0 van het onderzoek en heeft in deze periode “slechts” 0,7 kg productie gehad.

Periode:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
Teeltronde 0 t/m 3	42,2	40,8	33,7	30,3	kg
	100%	97%	80%	72%	
Teeltronde 1 t/m 3	31,8	30,1	23,6	29,6	kg
	100%	95%	74%	93%	

In tabel 4.3 wordt het elektriciteitsverbruik door belichting vergeleken. Als teeltronde 0 meegenomen wordt in het vergelijk, komt het elektraverbruik per vierkantenmeter van afdeling A 20% hoger uit dan in de praktijk, en komt het verbruik van afdeling C 13% lager uit dan de praktijk. Dit lijkt een verslechtering van de situatie zonder teeltronde 0, maar in tabel 4.4 en 4.5 wordt zichtbaar dat de extra energie-input in teeltronde 0 veel efficiënter wordt ingezet dan de beperkte energie input in de praktijk.

Periode:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
Teeltronde 0 t/m 3	284	254	190	226	kWh/m ²
	100%	89%	67%	80%	
Teeltronde 1 t/m 3	237	209	154	226	kWh/m ²
	100%	88%	65%	95%	

Tabel 4.4 laat het verschil zien tussen het elektriciteitsverbruik per kg product. Hoe lager het verbruik, hoe efficiënter het systeem omgaat met elektriciteit. Het buitenlicht in de periode van teeltronde 0 neemt af en de belichtingsuren per dag nemen geleidelijk toe. In de praktijk is in deze periode amper belicht omdat de jonge plant kort na de teeltwissel nog maar weinig licht nodig heeft. In Futagrow is er continu een produceren gewas, dus is er ook continu lichtbehoefte. In de periode van teeltronde 0 t/m 3 gaat de praktijk 11% minder efficiënt om met elektriciteit als afdeling A, terwijl het elektriciteitsverbruik van afdeling C zelfs 27% efficiënter wordt omgezet in productie als in de praktijk. Het meest efficiënt met elektriciteit zijn B en C met de minste kWh per kg.

Periode:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
Teeltronde 0 t/m 3	6,7	6,2	5,6	7,5	kWh/kg
	100%	92%	84%	111%	
Teeltronde 1 t/m 3	7,5	6,9	6,5	7,7	kWh/kg
	100%	93%	88%	103%	

Niet alleen kunstlicht wordt in de teeltronde 0 efficiënter ingezet in Futagrow dan in de praktijk, maar ook het beschikbare licht van buiten wordt beter benut. In Teeltronde 0 neemt het percentage buitenlicht ten opzichte van kunstlicht af van 100% naar ca. 25%. Tijdens teeltronde 1 en 2 blijft het aandeel buitenlicht rond de 25%, waarna het tijdens teeltronde 3 weer toe neemt tot 100% (zie afbeelding 3.11). In teeltronde 0 is dus veel meer buitenlicht beschikbaar als ten tijde van teeltronde 1 en 2. In tabel 4.5 is dit zichtbaar gemaakt door de omzetting van lichtsommen in kg productie weer te geven. De lichtsom bestaat uit buitenlicht en kunstlicht tezamen. In de praktijk wordt “gratis” buitenlicht minder efficiënt benut tijdens

teeltronde 0 als in de Futagrow afdeling. De productie in teeltronde 0 is in alle Futagrow afdelingen ongeveer gelijk, de productie in de praktijk is in deze periode echter nihil. Door teeltronde 0 mee te nemen in het vergelijk wordt zichtbaar dat de praktijk 26% minder efficiënt is in het omzetten van licht in product dan Futagrow.

De afdelingen B en C zijn minder efficiënt omgegaan met licht als afdeling A. Redenen hiervoor vallen in teeltronde 1 t/m 3 en zijn in voorgaande paragrafen reeds beschreven. Interessant is dat afdeling tijdens teeltrond 0 t/m 3 dezelfde omzettingsefficiëntie laat zien als tijdens teeltronde 1 t/m 3 (83.1 en 83.3 Mol/kg), terwijl het aantal kWh/kg wel verschilt (6,7 en 7,5 kWh/kg). Oorzaak is het grotere aandeel (gratis) buitenlicht in teeltronde 0.

Periode:	Ref. A	Proef B	Proef C	Praktijk	
Teeltronde 0 t/m 3	83,1	86,9	90,4	104,7	Mol/kg
	100%	105%	109%	126%	
Teeltronde 1 t/m 3	83,3	88,3	94,6	90,1	Mol/kg
	100%	106%	114%	108%	

4.1 Discussie, conclusie en aanbevelingen

Conclusie afdeling A Futagrow:

Ten opzichte van de belichte tomatenteelt in de praktijk wordt in het Futagrow efficiënter omgegaan met het beschikbare buitenlicht en kunstlicht. Het 'gratis' buitenlicht wordt 365 dagen per jaar omgezet in productie van groenten.

Conclusie afdeling B Futagrow:

Met hybride topbelichting in combinatie met LED tussenlicht kan fors energie bespaard worden bij een gelijkblijvende lichtsom. De productie is echter 5% lager dan in afdeling A en werd veroorzaakt door onbalans in het gewas. De onbalans is ontstaan door een sterk "groeibuis" effect van de LED-balk, welke dicht bij de wortels van de jonge plant hing. Het effect van de LED-balk op het gewas is aanzienlijk, maar de positie van de tussenlicht balk was niet de juiste. Met name de warmte van de LED-balk heeft voor een verstoring gezorgd. Het "groeibuis effect" heeft in het nadeel van de teelt in afdeling B gewerkt.

Aanbeveling: Het is aan te bevelen te onderzoeken of het "groeibuis effect" van de LED-balk als tussenlicht kan worden ingezet in het voordeel van de teelt. Het tussenlicht beïnvloed naast de ontwikkeling van het trossen aan het oude gewas, ook de snelheid en grofheid van de trossen van het jonge gewas. Het zou wenselijker zijn als de snelheid beter over de trossen van het jonge gewas verdeeld wordt en niet alleen de onderste drie trossen er van profiteren ten koste van de bovenliggende trossen. Mogelijk kan een extra teelt voordeel gehaald worden door de LED-balk nabij de 3^e tros onder de kop te hangen, waardoor de warmte van de LED-balk het actieve deel van het gewas beïnvloed. Ook is extra warmte bij de kop van het gewas wenselijk omdat het aandeel LED-licht van boven in de toekomst toeneemt en de stralingswarmte van SON-T dan ontbreekt.

Conclusie afdeling C Futagrow:

Het verschil tussen gerealiseerde lichtsom en gerealiseerd elektra verbruik biedt perspectief. De besparing op elektrische energie per m² ten opzichte van afdeling A is 35% terwijl de lichtsom maar 16% lager is. In het algemeen wordt aangehouden dat 1% licht overeenkomt

met 1% productie. Volgens deze theorie zou het productie verlies beperkt kunnen blijven tot 16%. In de onderzoeksperiode is de productie van afdeling C echter 26% lager uitgevallen dan in afdeling A. Het productieverlies zit voor een groot deel in kwaliteitsproblemen van de laatste trossen van een teeltronde en in de lagere stengeldichtheid. Zonder deze kwaliteitsproblemen had 1 tot 1,5 kilo meer geproduceerd kunnen worden in teeltrond 0, 1 en 2. Afdeling C is minder efficiënt is geweest in het omzetten van licht in productie als afdeling A. De lagere lichtsom in afdeling C is gecompenseerd door een lagere stengeldichtheid, echter bleek dit niet voldoende om een gezonde tomatenteelt onder lage lichtsom te realiseren.

Realisatie doelstelling

In paragraaf 2.2 zijn de doelstellingen als volgt omschreven:

Doelstelling van de proef is om tussen de 25% en de 40% elektrische energie per m² te besparen in de proefafdelingen B en C, waarbij het productieverlies een veel lager percentage kent.

Elektrische energiebesparing per vierkante meter

Kijkende naar de elektrische energiebesparing per vierkante meter is in afdeling C ten opzichte van afdeling A een besparing op elektriciteit gerealiseerd van 35% per m², terwijl de productie 26% lager is. Indien ook teeltronde 0 binnen het onderzoek had gevallen, zou de besparing op elektriciteit wederom op 35% komen, terwijl de productie dan maar 20% lager is. Conclusie: De doelstelling voor elektrische energiebesparing is gerealiseerd, maar het productieverlies is fors.

In afdeling B is ten opzichte van afdeling A een besparing op elektriciteit gerealiseerd van 12%, terwijl de productie 5% lager is. Het tussenlicht heeft een sterk effect gehad op de ontwikkeling van het gewas, maar niet het gewenste effect. Aanbeveling is om in een nieuw onderzoek de positie van het tussenlicht te wijzigen door de LED-balk niet bij de wortels van het jonge gewas, maar tussen de "V" van het gewas te monteren. Energiebesparing door het uitschakelen van tussenlicht is in die situatie beter mogelijk en zowel het licht als de warmte wordt dan daar afgegeven waar de plant het nodig heeft.

Conclusie: De doelstelling voor elektrische energiebesparing in B is 13% lager uitgevallen dan begroot.

Energiebesparing per kg product

Kijkende naar de besparing op elektrische energie per kg product is in afdeling C tussen de 12% en 18% minder energie per kg gebruik dan in afdeling A. Ten opzichte van de praktijk is de besparing per kg product in afdeling C zelfs tussen de 13% en de 30%. Als de kwaliteitsproblemen voorkomen kunnen worden is een hogere besparing mogelijk.

Kijkende naar de besparing op elektrische energie per kg product is in afdeling B tussen de 7% en 8% minder energie per kg gebruik dan in afdeling A. Ten opzichte van de praktijk is de besparing per kg product in afdeling B zelfs tussen de 10% en de 19%.

Eind conclusie belichtingsonderzoek:

Door minder te belichten is een forse energiebesparing per vierkante meter mogelijk en neemt ook het energieverbruik per kg product aanzienlijk af. Een lagere lichtsom heeft in

een efficiëntere omzetting van elektrische energie geresulteerd. Ten opzichte van de praktijk zet het Futagrow teeltsysteem iedere mol licht om in 8% meer kg, en doordat de praktijk enkele maanden geen productie heeft loopt dit in het onderzoek zelfs op tot 19%. De toepassing van LED-tussenlicht heeft in het Futagrow systeem een sterk effect gehad, dit effect werkte echter nog niet in het voordeel, maar biedt kansen voor vervolgonderzoek.

5. Onderzoek EC verhoging in de nacht

5.1 Inleiding

De tomatenteelt is voortdurend in ontwikkeling; daarom zijn nieuwe strategieën nodig om in de toekomst de teelt te verbeteren met minder energie. Dit onderzoek is gericht op het effect van hoge EC niveaus in de nacht op de kwaliteit, opbrengst, ontwikkeling en wateropname. In de tomatenteelt wordt veel energie (warmte) in de kas gebracht met als doel vocht wegstoken. Dit onderzoek richt zich op het voorkomen van vocht in de kas, door de plant tot rust te dwingen middels het verhogen van de EC in de nacht. Wanneer het gewas in de nacht minimaal verdampt, kan het schermdoek dicht en wordt energie bespaard door de extra isolatie van de kas. De theorie is dat door het verhogen van de EC in de nacht de worteldruk wordt weggenomen en verdamping tot stilstand komt.

In het Futagrow teeltsysteem wordt substraatloos geteeld, waardoor er geen grote waterbuffer bij de wortels aanwezig is. Dit biedt de mogelijkheid om binnen enkele minuten om te schakelen van laag EC niveau naar hoog EC niveau en weer terug.

5.2 Proefopzet

Voor de proef zijn twee goten uitgevoerd met nauwkeurige flowmeters, welke de ingaande en uitgaande waterstromen continu meten. De referentie goot heeft dag en nacht dezelfde EC, terwijl de EC van de proefgoot 's nachts wordt verhoogt. Onderstaande tabel geeft het EC verloop over de onderzoeksperiode weer.

De afkorting staan voor:

D: Dag
 N: Nacht
 SD: Standaard Dag
 SN: Standaard Nacht
 HN: Hoog Nacht

Tabel 5.1	Weken na het planten		
	1-3	4-8	9-12
Behandeling	(D / N)	(D / N)	(D / N)
SD / SN	3.7 / 3.7	4,0 / 4,0	4,5 / 4,5
SD / HN	3.7 / 3.7	4.0 / 6.0	4.5 / 7.0

De schakelmomenten zijn vast ingesteld op 6:00 uur en op 19:00 uur.

Plantdatum: 18-04-2014
 Start meetperiode: 05-05-2014

Einde meetperiode: 11-07-2014

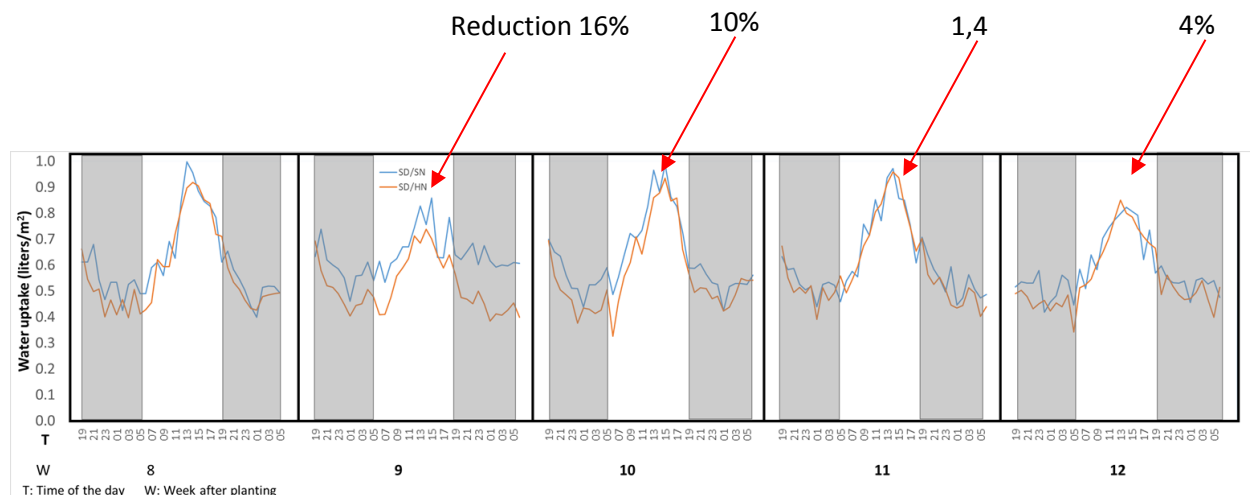
Er is gekozen om de EC overdag in beide behandelingen op het zelfde niveau te houden. De verwachting was dat hierdoor de productie en met name het vruchtgewicht achter zal blijven op de goot met hoog EC in de nacht. Dit onderzoek richt zich in eerste instantie op de vraag of het mogelijk is de verdamping te sturen met EC variatie.

Effect op wateropname:

Over de hele meetperiode was de totale wateropname lager bij behandeling met hoge EC nachts (afb. 4.2). Echter, werd de opname van water sterkt verminderd tijdens de eerste dagen nadat het EC-niveau hoger is gezet in de behandeling SD / HN. De sterke reductie in wateropname duurt enkele dagen, waar het effect afneemt. Zo werd een opmerkelijk verschil in wateropname waargenomen tussen SD / SN en SD / HN behandelingen in week van 16 juni 2014 (week 9 na het planten), deze week werd de EC verhoogd van 6,0 naar 7,0 in de nacht voor de SD / HN behandeling. Totale wateropname nam in die dagen af met 16%.

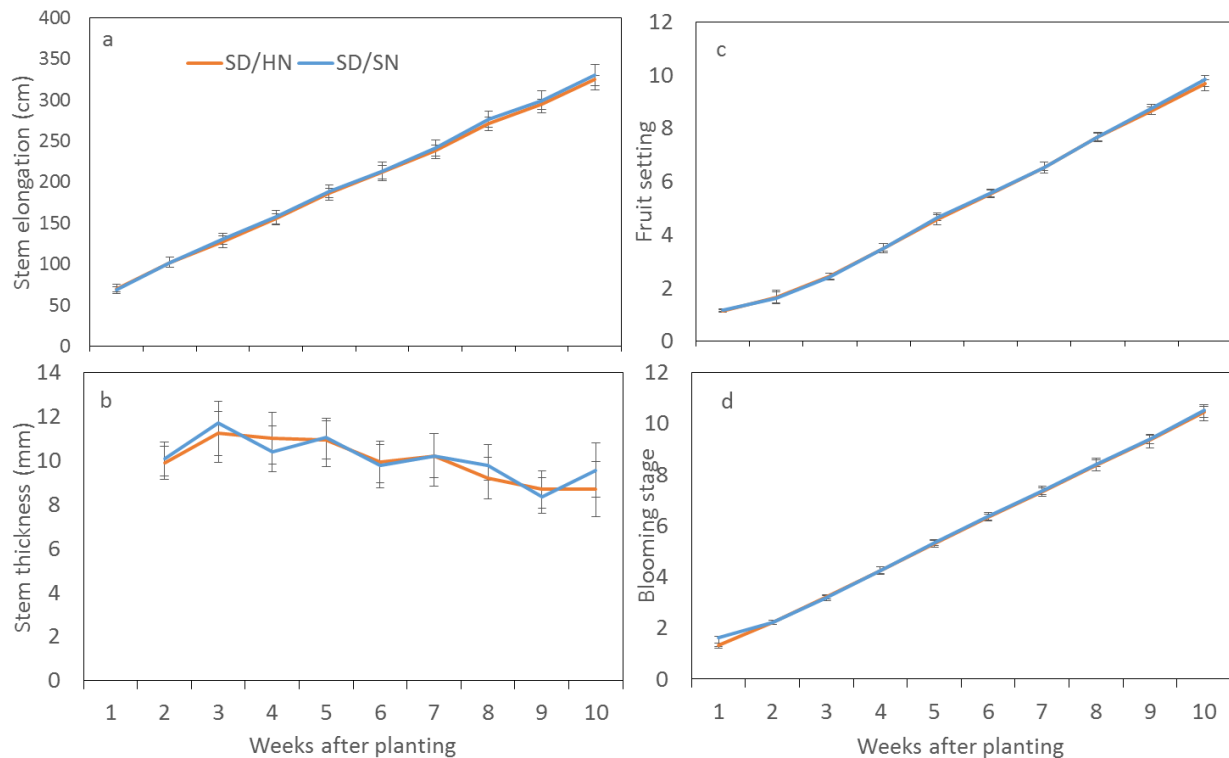
De verschillen in wateropname waren minder uitgesproken in de volgende weken. Niettemin was de nachtelijke wateropname van planten met een hoge EC lager. Opvallend is dat de water opname overdag vrijwel gelijk is in beide behandelingen.

Het verspreidingspatroon voor wateropname over dag is voor beide behandelingen ongeveer 60/40% Dag / Nacht. Verschillen in waterverbruik tussen de twee behandelingen waren duidelijker op dagen met hogere straling.



Afbeelding 5.2 Wateropname van planten blootgesteld aan standaard EC niveaus bij dag en nacht (SD / SN), en voor planten onderworpen aan standaard EC-niveau op dag en hoge EC-niveau 's nachts (SD / HN). De meest representatieve dag voor elke week wordt afgebeeld. Nachtperiode wordt aangegeven door het gearceerde gebied.

Effect op gewas- en vruchtontwikkeling:



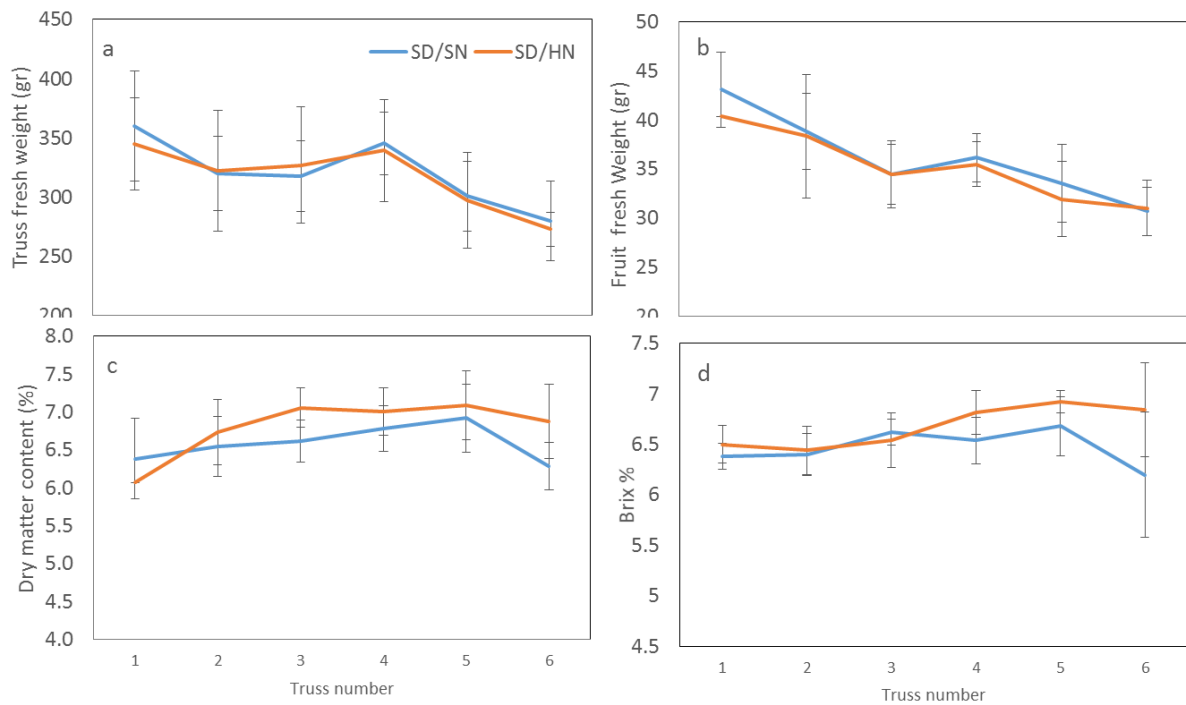
Afb. 5.3 Plantreacties

Trosgewicht, vruchtgewicht en droge stof gehalte

Verschillen in trosgewicht en vruchtgewicht werden in de eerste 10 weken na planten niet gedetecteerd tussen SD / SN en SD / HN. In beide behandelingen liet het trosgewicht en vruchtgewicht een afnemende trend zien (Afb. 5.4). Niettemin werd het drogestofgehalte van SD / HN na tros 2 verhoogd.

Suikergehalte

Er is een verschil waargenomen in suikergehalte. In het algemeen was het suikergehalte van de referentiebehandeling lager dan die van de hoge EC nachts. Na tros 3 nam het suikergehalte in de SD / HN behandeling toe.



Afb. 5.4 Totaal trosgewicht (a), vruchtgewicht (b), drogestofgehalte (c) en suikergehalte van planten onderworpen aan standaard EC niveaus op dag en nacht (SD / SN) en voor planten onderworpen aan standaard EC-niveau op dag en hoge EC-niveau 's nachts (SD / HN).

5.3 Analyse, conclusie en aanbevelingen

Doel onderzoek: Wat is het effect van EC verhoging in de nacht op:

- Water opname
- Productie, trosgewicht, vrucht gewicht, droge stof, suiker, lengtegroei.

Na dit onderzoek wilden we weten of er een effect was en hoe de plant reageert.

Qua plantopbouw zijn de EC proef en de referentie statistisch het zelfde. Geen significante verschillen.

Het verschil in drogestof gehalte en brix is duidelijk.

Opvallend is dat het incidenteel verhogen van de EC een duidelijk effect heeft:

- De water opname neemt sterk af, maar herstelt zich na ca. 1 week (eenmalig effect).
- De trossen die worden aangemaakt kort na de EC verhoging hebben kleinere vruchten.

De EC verhoging loopt van 19.00 tot 5.00 uur. In deze periode zit 40% van de totale water opname op een dag. Deze verhouding is in de referentie ook 60/40.

Vragen m.b.t. vervolg:

Geven deze resultaten aanleiding om de effecten die we zien in vervolg onderzoek zo in te zetten dat ze in ons voordeel werken?

- De wateropname daalt voor een korte periode. Er is dus een effect.
- De plant herstelt het evenwicht, mogelijk kan dit herstellend effect benut worden.

Wat zouden we dan willen bereiken?

- Minimaal gelijk vruchtgewicht.
- Minder verdamping tijdens scherm periode. (doel is geen kier in scherm)

Waar liggen kansen?

- Gewasstand sturen
- Nutriënt opname sturen
- Worteldruk wegnemen aan het einde van dag (voorkomen vrij water)

Alternatief voorstel in plaats van EC verhoging: In nacht minder water geven door water korte periodes uit te zetten.

Dit alternatief is niet positief beoordeeld omdat uit eerder onderzoek blijkt dat het de zuurstof opname beperkt.

Effect of different EC level (day/night) on tomato water uptake, quality and yield

Supervisor (Wageningen):

PhD. Ep Heuvelink

Supervisor (Demokwekerij):

Ing. Jeroen Sanders

Participant:

Procopio Adrian

Reg. number: 851225-672-050

Internship Horticultural Production Chains - HPC-70424

Wageningen UR

July 2014

Table of Contents

Abstract	42
1. Introduction	43
2. Objective	43
3. Approach	44
4. Materials and Methods	44
4.1 Setup and growing conditions	44
4.2 Measurements	45
5 Results	47
6 Discussion	51
References	53

Abstract

Tomato cultivation is in continuous development; therefore, new strategies to improve cultivation with the less energy sources are necessary for the future. The aim of this research was to investigate the effect of high EC level at night in tomato quality, yield, development and water uptake. Tomato plants (*Lycopersicon esculentum* cv. Briosso) were grown in the Futagrow system, which is a semi-hydroponic growing system with hoistable gutters and plants at two different developmental stage. Two different treatments in two gutters, one with plants subjected to the same standard EC levels for cultivation at day and night (SD/SN), considered as a reference and another with standard at day and high at night (SD/HN). Plant development was not affected by the high EC imposition at night in comparison with the reference treatment. In both treatments, SD/SN and SD/HN, total truss weight and fruit weight no significant differences were found. Fruit dry matter content for truss number 3 was significantly higher in plants subjected to a high EC level at night, for the other truss numbers fruit dry matter tend to be higher for SD/HN. A trend for higher sugar content in SD/HN treatment was observed. Water uptake was reduced by high EC level at night. The more notorious difference occurred mainly in the days after in the EC was increased (i.e. brink from 6.0 to 7.0 mS/cm at night), thereafter the difference was reduced suggesting adaptation of plants.

Key words: tomato, EC level, water uptake, fresh weight, dry matter content.

1. Introduction

Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) is one horticultural crop that receives large attention due to its consumption as fresh or processed product. Therefore, yield and self-life have received enormous attention in breeding programs during last decades (Bai and Lindhout, 2007). However, growers have focused their attention on techniques that increase crop production.

Under greenhouse production where water can be used to provide nutrients to plant throughout dissolution of salts (nutrients) on water, it has been demonstrated that solution with high salt concentration can improve quality in tomato fruits (Li and Stanghellini, 2001; Krauss *et al.*, 2006).

Electrical conductivity (EC) relates directly to salinity levels in the nutrient solution. Hence, it represents a way to measure the concentration of dissolved solids in the water supplied to plants. Therefore, it is of high importance the manipulation of EC levels in cultivation under hydroponic systems, which can be modified easily, influencing the water transport because of salinity effects.

By increasing the EC levels, quality properties in tomato fruits are improved, such as content of reducing sugars and titratable acids, which influence taste and aroma of fruits (Auerswald *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2001; Krauss *et al.*, 2006, Dorais *et al.*, 2004). Increase in vitamin C, lycopene, and β -carotene have also been reported as a result from high EC in the nutrient solution (Krauss *et al.*, 2006; and Wu and Kubota, 2008).

- When EC level is changed drastically, it can affect plant water status resulting in fruit cracking because of cuticle rupture. Therefore, when high EC levels are used to improve quality, it has to be done gradually in order to avoid drastic variation in plant water status; otherwise it might be reflected in detrimental effects (Dorais *et al.*, 2004).

Other approaches in recent decades have focused towards the utilization of high EC during night and low during day (van Ieperen, 1996). Therefore, during the day when stomata are open and the plant experiences high transpiration, the strength of the nutrient solution is maintained at low levels avoiding salinity effects. During night, when transpiration is low, the nutrient strength is increased, hence reducing transpiration due to salinity effect.

In spite of the benefits found by modifying day and night EC levels, few researches has been done in this area. Therefore, it represent an area to explore in order to improve tomato quality, but also can be used as an alternative to reduce transpiration at night, which will reduce energy used to evaporate the water in greenhouses.

2. Objective

The aim of this research was to investigate the effect of high EC level at night, in order to reduce transpiration and therefore save energy usage because less heat used to remove water from the greenhouse. Effect of high salinity at night on yield and quality fruit was also investigated. This experiment was performed in the Futagrow system, which uses plants at

two different developmental stages, with a continuous renewal of plants, thus the effect of salinity on the long term was avoided.

3. Approach

Two EC levels (day/night) were used in order to evaluate yield, quality and transpiration in a tomato crop. Therefore, the setup of the experiment was focused on assessing what is the effect of increasing EC during the night while maintaining a standard EC during the day. Two treatments were conducted according to table 1.

4. Materials and Methods

4.1 Setup and growing conditions

Futagrow system

Futagrow system is a semi-hydroponic system, where nutrient solution is continuously recirculating through gutters, where the plants are planted. This system allows cultivation of tomato plants at two different stages of development. Thus, 9 weeks after planting, when the ninth flower cluster are blooming, the meristem of the plants are removed in order to avoid further development, this is considered as a “young crop”. At this point, the first harvesting truss from the “old crop” is achieved. Each crop is only maintained for growth and harvest for ca 18 weeks, when the crop has finished its harvestable life, new plants are transplanted in a different growing gutter. Thus, harvesting can be obtained every week of the year. During plant growth, both crops are managed with hoistable growing gutters that permits its movement upwards and downwards in the greenhouse. Therefore, in the early development of the plants, the “young crop” is placed in the upper part in order to use the light more efficiently and provide enough light for its development, while in the old crop is maintained in the bottom.

Plant material

Six-week old tomato plants (*Lycopersicon esculentum* cv. Briosso) were pruned in order to promote two stems per plant, thereafter were planted in a two layer cultivation system with hoistable growing gutters on the 18th of April 2014. Separation between plants was 0.3m. Plant density was 2 plants per m² (two plants with 2 stems per square meter). Meristem of the plants were removed on week 10 after planting, therefore, ca 10 trusses were formed per stem.

Nutrient solution and EC levels

During the first 3 weeks after transplanting, nutrient solution was supplied according to van Ieperen (1996) (mol m⁻³): K⁺, 9.5; Ca²⁺, 3.6; Mg²⁺, 2.2; NH₄⁺, 1.4; NO₃³⁻, 15; PO₄³⁻, 1.4; SO₄²⁻; 4.1; Fe³⁺, 0.026; Mn²⁺, 0.006; Zn²⁺, 0.003; B⁻, 0.017; Cu²⁺, 0.0004; Mo⁺, 0.0003. The pH was maintained between 5.5 and 6.0 during the growing period. After 3 weeks of cultivation, two different EC regimes were used during the experiment: one with standard EC cultivation during day and night (SD/SN) and another with standard EC during day and high EC at night (SD/HN). EC level for the different treatments were conducted according to table 1. Realized EC levels and pH from the nutrient solution are showed in Appendix I. The different EC regimes were obtained by modifying the proportion of macronutrients in the nutrient solution.

The experiment was performed in a compartment containing 30 gutters (15 corresponding to the old crop and 15 to the young crop), each of 22m in length. Subjection with high EC level at night was performed in two gutters (27 and 29). However, in order to avoid bias due to its position, only plants from the gutter 27, which was located in the inner part of the compartment, were used for calculations. Gutter 25 was used for plants subjected to standard EC conditions at day and night, considered as a reference. More detailed information is provided in Appendix 2. Switch from day and night period was set at 0600 and 1900 hours. CO₂ was supplied at 900 ppm.

Table 1. EC level (day/night) during 12 weeks of development of tomato cultivation (mScm⁻¹)

Treatment	Weeks after planting		
	1-3 (D/N)	4-8 (D/N)	9-12 (D/N)
SD/SN	3.7 / 3.7	4.0 / 4.0	4.5 / 4.5
SD/HN	3.7 / 3.7	4.0 / 6.0	4.5 / 7.0

Movement of gutter (up and down) was done on Wednesdays and Fridays for different labour cultivation such as side shoots removal, guiding stems along the rope, and flower pruning to homogenize number of fruits per truss.

Due to the short time allocated for this internship research, the following up for the total crop cultivation was not possible. Therefore, the results presented in this report covers up to harvest of ca truss number six. Different treatments with variation at D/N EC level were conducted up to week 12 after planting, afterwards EC level was kept 4.5 for day and night.

4.2 Measurements

Plant Development

Measurements of stem elongation, stem thickness, blooming stage and fruit setting was performed one time per week in 10 plants per treatment. Values for blooming stage were formed by truss level in blooming, and the number of flowers blooming, e.g. 2.4, truss number 2 with 4 flowers blooming. For fruit setting, values were given according by the last truss with set fruits, e.g. 3.5, truss 3 with three set fruits. Set fruit, was considered when the flower had been senesced and fallen off.

Fruit fresh weight and dry matter content

Harvesting was done every week, trusses were collected when completely red. Total truss weight was measured in 10 plants per treatment. The second fruit from each truss was removed, and the fresh weight was measured. Thereafter, fruits were oven dried at 105°C for 24h to measure the dry weight. Dry weight content was measured by the formula (DW/FW)*100.

Sugar fruit content

Sugar content was measured once per week by a brix meter for five fruits per treatment.

Water uptake

Data for water supply and drain was recorded by a system from PRIVA Company. The system consist of sensors that measure the water flow by giving electric pulses by certain amount of

millilitres of water. Thus, for the drain water, the liquid was collected in a box at the end of the gutters, and from there pumped to a big tank. The sensor was collocated in the hose coming out of the box. For the water supply, the sensor was collocated in the hose before the water enters the gutters. Because of the semi-hydroponic characteristics of the Futagrow system, the nutrient solution is recirculating continuously.

In order to measure the water supply and drain, the system was installed in four gutters, two used for the treatment with high EC at night, and gutters two as a control. Thus, data generated by the sensors was directed to a computer database. Water uptake was calculated by the difference between water supply and drain.

Due to different problems in the system during the first weeks of growing, it was not possible to make calculation for the first 7 weeks, and then data was reliable only from week 8 after planting.

Data was analysed statistically using Microsoft office Excel 2013 to detect significant differences using a Students t-test.

5 Results

Plant development

High EC levels at night did not show significant differences in comparison with SD/SN treatment. Therefore, measurements for stem elongation, blooming stage, fruit setting stage, and stem thickness were not significant. (Fig. 1). However, in week 4, stem thickness showed a slightly increase in the plants subjected to high EC at night but without statistical significance.

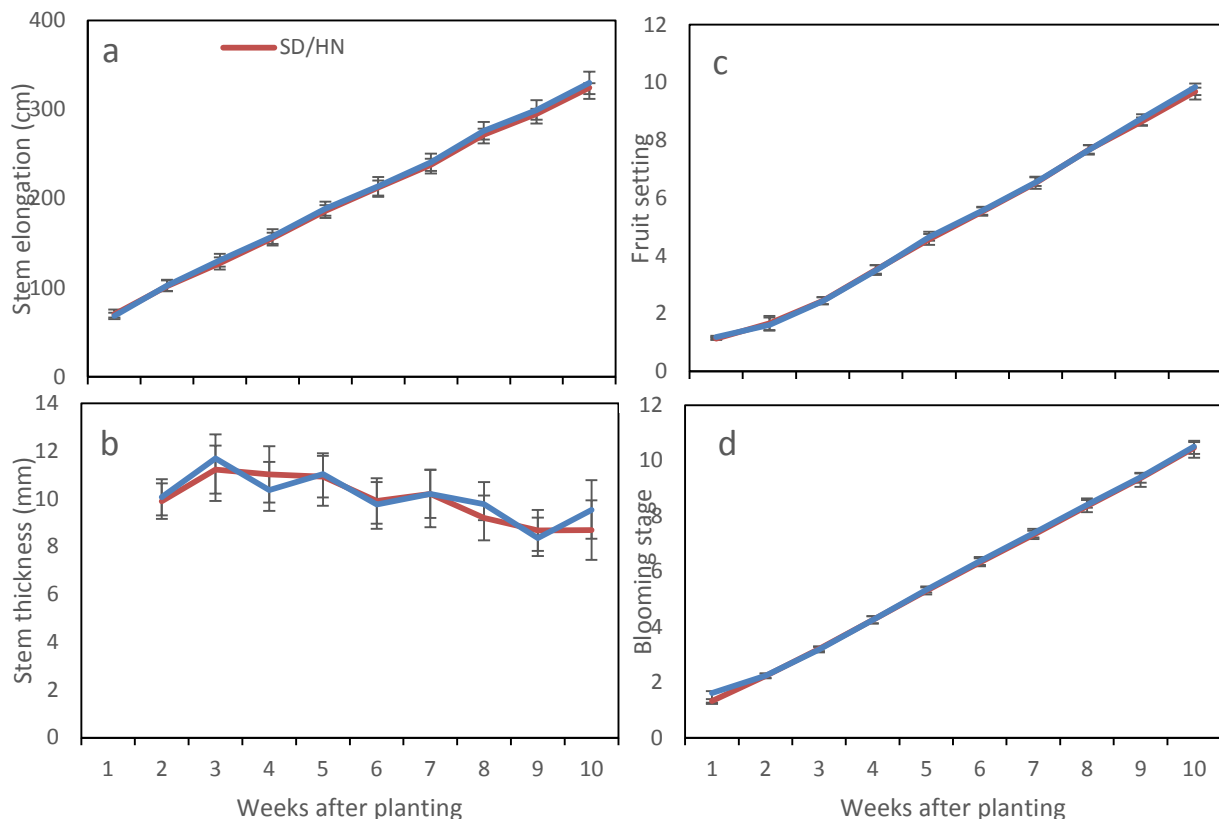


Fig 1. Plant development for plants subjected to standard EC levels at day and night (SD/SN), and for plants subjected to standard EC level at day and high EC level at night (SD/HN). Bars indicate standard deviation (n=10)

Yield and quality of harvested fruits

Truss weight, fruit fresh weight and dry matter content

Differences in truss fresh weight and fruit fresh weight were not detected between SD/SN and SD/HN. Furthermore, in both treatments there was a tendency to decrease in truss weight and fruit fresh weight (Fig. 3 a, b). Nevertheless, dry matter content was increased after truss 2 for SD/HN being significant at truss number 3 with 7.06% for SD/SN, and 6.62% for SD/SN ($P=0.002$), and almost significant at truss 6 with 6.87% and 6.29%, for SD/HN and SD/SN respectively ($P= 0.06$). (Fig. 2 c)

Sugar content

No significant differences were observed in sugar content. However, in general, sugar content was lower for the reference treatment compared to high EC at night. Moreover, after truss number 3, sugar content tend to increase in SD/HN treatment. The higher value was measured in fruits from plants subjected to SD/HN treatment on truss number 6 with 6.8%; while for SD/SN, 6.2% for the same truss number (Fig. 2 d).

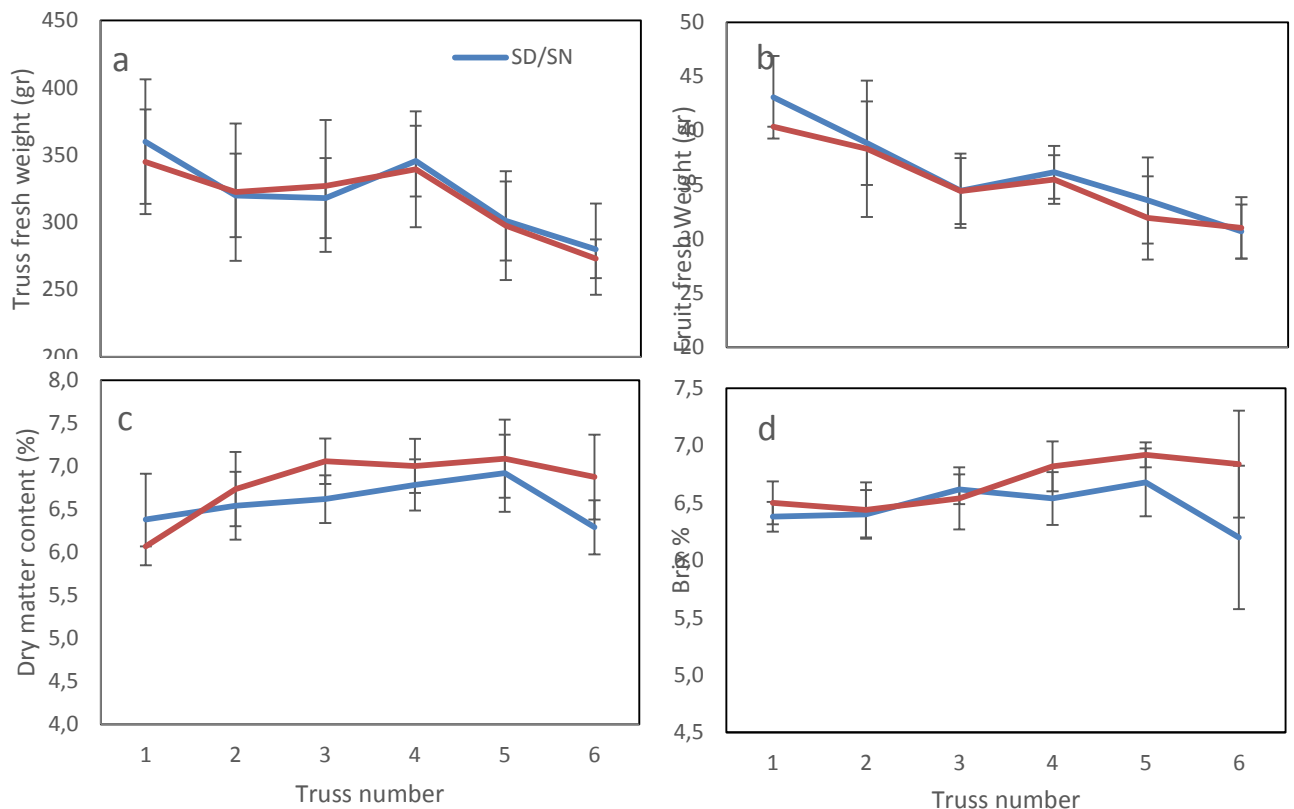


Figure 2. Total truss weight (a), fruit fresh weight (b), dry matter content (c), and sugar content of plants subjected to standard EC levels at day and night (SD/SN), and for plants subjected to standard EC level at day and high EC level at night (SD/HN). Bars indicate standard deviation (n=10, for truss weight and n=5 for fruit fresh weight, dry weight content and sugar content)

Water consumption

During the growing period, the EC levels in the crop was established as indicated in methods. However, during the first seven weeks, the system to quantify the amount of water supply and drain was not totally accurate. Therefore, only after the 8th week when data was accurate, it was used for calculations. However, only the most representative day from each week in the period from week 8 to 12 after planting were are presented in this report.

In general total water uptake per square meter per day was lower in the treatment with high EC level at night (Figure 4). However, water uptake was notably reduced during the days after the EC level was increased in the treatment SD/HN, but the reduction tend to disappear over the following weeks. For instance, remarkable difference in water uptake was observed between SD/HN and SD/HN treatments in week at 16 June 2014 (week 9 after planting), when the EC was increased from 6.0 to 7.0 at night for the SD/HN treatment (Figs. 4 &5). Total water uptake

was 15.4 and 13 litres per square meter per day, for the reference and the treatment with high EC at night respectively, which represent a reduction of 16% of water usage. Furthermore, for the same date, water uptake corresponding to day and night period was also lower for the SD/HN treatment, being 7.8/5.2 litres per square meter (D/N), while for SD/SN was 8.9/6.5 (D/N), which represents a drastic change in water uptake during day when the EC was increased.

However, the differences in water uptake were less pronounced the following weeks (Fig. 4 & 5). Nevertheless, during the night the plants subjected to high EC showed reduction in water uptake, but in the day period when both treatments received the same EC level the water uptake tend to increase up to similar levels as the reference treatment (Fig. 5). Therefore, the pattern of water uptake for the SD/HN treatment was to decrease at night and to recover at daytime. Overall, the distribution pattern for water uptake during the whole day was *ca* 60/40% D/N for both treatments. Differences in water consumption between the two treatments were more evident in days with higher radiation (data not shown). Total water uptake per day per square meter was lower at high EC at night.

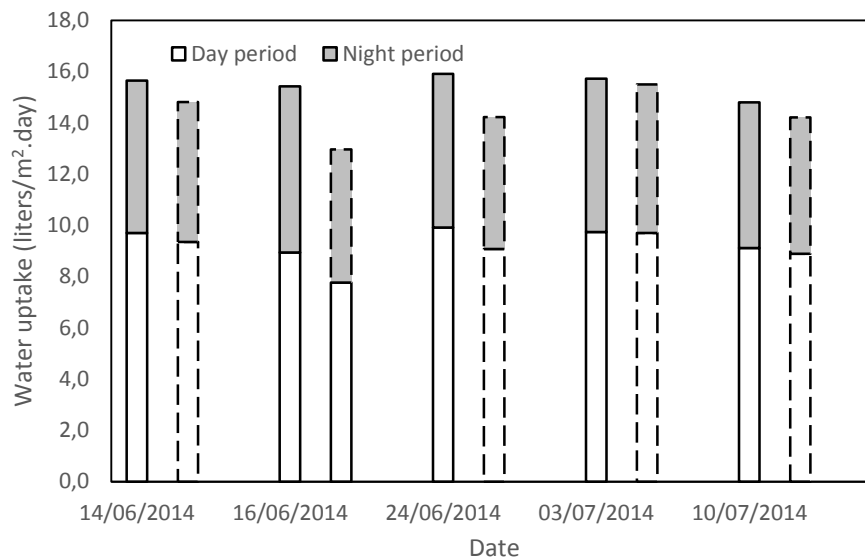


Figure 3. Water uptake of plants subjected to standard EC levels at day and night (SD/SN), and for plants subjected to standard EC level at day and high EC level at night (SD/HN). Continuous line represent SD/HD, and dashed line represent SD/HN treatment. Dates: 14 June 2014, 16 June 2014, 24 June 2014, 03 July 2014 and 10 July 2014, correspond to week 8, 9, 10, 11, 12 respectively.

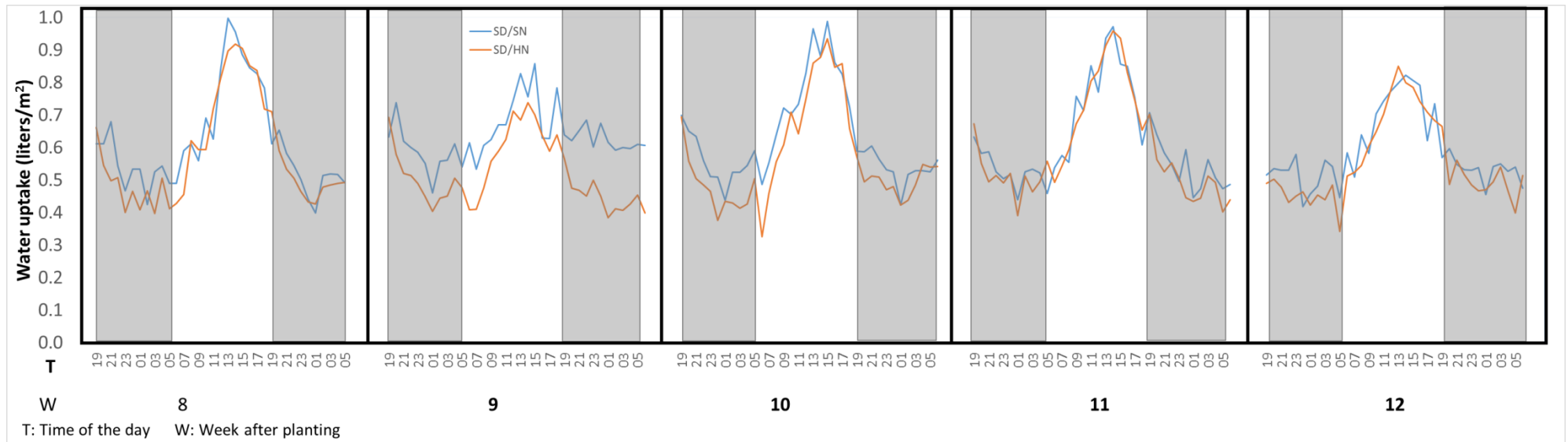


Figure 4. Water uptake of plants subjected to standard EC levels at day and night (SD/SN), and for plants subjected to standard EC level at day and high EC level at night (SD/HN). The most representative day for each week is depicted. Night period is indicated by the shadowed area.

6 Discussion

The aim of this research was to investigate the effect of different EC levels at day and night on tomato yield, fruit quality and water uptake.

Plant development was not affected by high EC level at night. This disagrees with findings by van Ieperen 1996, mainly because in his experiments he used more extremes EC levels during the complete growing period (5/5, 9/9, 1/9, 9/9, 9/1 dS m⁻¹). Moreover, reduction in leaf area and leaf area index in combination with a partial increase of number of leaves has been reported because of increase in EC level (Li *et al.*, 2000). Even though, those parameters were not measured in this experiment, visual differences were not observed. However, stem thickness showed a slight increase on week 4 after planting for SD/HN (Fig1), probably as an adaptation from the increase in EC level at night.

Decrease in in truss and fruit weight was observed in both treatments over the time (Fig. 2a,b). This could have been caused because of plant manipulation during the weekly measuring, due to it was observed lower weight in comparison to trusses from other not plants not used for sampling. Perhaps also high Leaf area index influenced low production in both treatments SD/SN and SD/HN, because leaf removal only up to *ca* truss number 3 in the time when the experiment was conducted, which might have had great effects in dry matter distribution among the different the plant parts.

Truss weight and fruit fresh weight were not significantly reduced when comparing the SD/SN and SD/HN treatments for the harvesting period until truss number six (Fig. 2a,b). No reduction in fruit yield was also measured in a similar approach conducted by Santamaria *et al.* (2004), with tomato plants subjected to 2/2 and 2/8 EC conditions at Day/Night conditions. However, a notably increase in dry matter content for fruits in treatment SD/HN was measured after truss number 2, and being significant for truss number 3 (Fig 2c). This is in agreement with findings from Li *et al.* (2001), van Ieperen (1996), Plaut *et al.* (2004). These results also indicate a clear influence on fruit growth immediately after the high EC was imposed at night (when truss 3 started to develop). Nevertheless, this influence was less notably in the following truss numbers, yet fruit dry matter content was almost significantly higher at truss weight 6. Reduction in the fruit size was also perceived in truss number 3 and six (data not shown). Then, it is possible to conclude that plant growth affection by the high EC is reflected in the trusses that are in early development at the time of the imposition, which has been reported by Cuartero and Fernández-Muñoz (1999), that argued that upper inflorescences are more sensitive to salt in short cycle crops (harvest of 4-6 trusses). Thus, same fruit yield was attained via high dry matter content.

Although not significant differences for sugar content were observed, fruits from plants subjected to SD/HD treatment showed a clear tendency to increase fruit sugar content (Fig. 2d). This is in agreement with many studies that have reported increase in sugar content in tomato fruits as a result of an increase in electrical conductivity (Auerswald *et al.*, 1999; Krauss *et al.*, 2006; Wu and Kubota 2008, Yurtseven *et al.*, 2005, Reina-Sanchez *et al.*, 2005)

Fruit cracking has also been reported to have less incidence in high EC conditions (Chrétien *et al.*, 2000), however during this experiment only few cracking fruit were found and therefore no comparable difference in fruit cracking incidence were measured. Despite many studies have report high incidence of BER (Blossom end rot) with high salinity conditions (van Ieperen 1996),

BER in the harvested fruits was not observed at all during the experiment. This might be because the difference between EC levels used for the treatments were not so high (the highest difference was of 2.5 mS at week 8 after planting). Moreover, the EC levels used in our experiment were increased over the growing period (Table 1). In contrast, van Ieperen 1996, Santamaria et al, 2004 used fixed EC levels over the whole growing period, and the differences in EC levels used between treatments were higher, e.g. Santamaria *et al.* (2004) used 2/2 and 2/6 mS/cm for D/N.

Daily water uptake followed the same pattern as experiments conducted by Le Bot and Kirkby (1992) in a growth chamber with 22-days-old tomato plants. However, distribution corresponding to day/night period differed slightly, 68/32%, and 60/40% in our experiments, this difference was caused because of relatively high temperatures during the day in the greenhouse. Water consumption was clearly reduced after the high EC imposition commenced at night (Fig.4) showing a pattern for the following weeks with, but with a tendency to adaptation and therefore less differences compared to SD/SN (Fig 5). However, a clear reduction in water uptake of 16% in SD/HN compared to SD/SN, this agrees with results from Reina-Sanchez *et al.*,(2005), who found a reduction in total water uptake of almost 40% in plants subjected to high salinity levels (27mM NaCl-1 compared to 0mMNaCl in the nutrient solution). Nevertheless, in a similar experiment conducted by Santamaria *et al.*, 2004, water consumption was not affected by high EC at night, this was probably because they only water consumption at two points during the growing period, therefore, plants have experience adaptation as observed in our experiment (Figs. 4 & 5).

It has been reported that high EC levels affects the water flow into the fruit, resulting in a reduction of fruit expansion, which causes yield reduction (Johnson *et al*, 1992). Many studies have confirmed this premise, Li *et al.*, 2001, for instance found that increasing the concentration of the nutrient solution significantly decreased fresh yield of tomato via reduction of fruit size, caused by a reduction of water import in the fruit. However, Chrétien *et al.* (2000) observed reduction in fruit cracking, whereas did not observe reduction in yield. In our results however, high EC level at night clearly affected fruit development in early development resulting in an increase in dry matter content and sugar content, and reducing fruit size, but with no reduction in yield. Similarly, Nederhoff (1999) observed that low EC during day and high during night (2/8) showed potential to improve fruit quality with low reduction in yield. On the other hand, improved quality without affecting yield has also been reported (Santamaria *et al.*, 2004)

Hence, from the results discussed, fruit dry matter content and sugar content are expected to increase for truss number 8 and/or 9 due to the clear difference in water uptake in by the plants subjected to high EC at night in week 9 when truss number 8 and 9 were early in development. Moreover, for future research, it is important to measure the water uptake during the weeks before the electrical conductivity is changed in order to confirm if there is differences in water uptake. Nevertheless, it is worth to say that the conducted research represent a more realistic approach to normal growing conditions because it is closer to EC levels commonly used by tomato growers. In conclusion, fruit yield was not affected by increasing EC levels at night. Benefits from high EC were reflected in increase of fruit dry matter content and sugar content, however a decrease in fruit size was observed. Water consumption was remarkably reduced the

days after EC was increased at night, affecting fruit trusses in that were in early development; thereafter plants showed an trend to adapt to high EC circumstances.

7. References

- Auerswald H., Schwarz D., Kornelson C., Krumbein A., Brückner B. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 82:227-242.
- Bai Y., and Lindhout P. 2007. Domestication and Breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future. 100(5); 1085-1094.
- Chrétien, S., A. Gosselin, and M. Dorais. 2000. High electrical conductivity and radiation-based water management improve fruit quality of greenhouse tomatoes grown in rockwool. *Hort Science* 35:627-631.
- Cuartero J. and Fernández-Muñoz R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*. 78: 83-125.
- Dorais M., Demers D., Papadopoulos A., van Ieperen W. 2004. Greenhouse tomato fruit cuticle cracking. *Horticultural Reviews*. 30
- Johnson, R.W.; Dixon, M.A.; Lee, D.R. 1992. Water relations of the tomato during fruit-growth. *Plant Cell and Environment*. 15 (8): 947-953
- Krauss, Schnitzler W. H., Grassmann J., and Voitke M. 2006. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 54, 441-448.
- Le Bot J. and Kirkby E. A. (1992) Diurnal uptake of nitrate and potassium during the vegetative growth of tomato plants. *Journal of Plant Nutrition*, 15:2, 247-264,
- Li, Y.L. and Stanghellini, C., 2001 .Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Scientia Horticulturae*. 89 9-21
- Li, Y.L., Stanghellini, C., Challa, H., 2001. Effect of EC and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Sci. Hort.* 8, 11-29.
- Nederhoff, E. 1999. Effects of different day/night conductivities on blossom-end rot, quality and production of greenhouse tomatoes. *Acta Horticulturae*. 481: 495-502.
- Plaut Z., Grava A., Yehezkel C., and Matan E. 2004. How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiologia Plantarum*, 122; 429-442
- Reina-Sanchez A., Romero-Aranda R., and Cuartero J. 2005. Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water, *Agricultural water management*. 78; 54-66
- Santamaria P., Cantore V., Conversa G., Serio F. 2004. Effect of night salinity level on water use, physiological responses, yield and quality of tomato, *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 79(1): 59-66
- Van Ieperen, W. 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. *Journal of Horticultural Sciences*. 71:99–111.
- Wu., M. and Kubota C. 2008. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae*. 116 (2): 122-129.
- Yurtseven E., Kesmez G.D., and Unlukara A. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central

Appendix I

Week after planting	Date	EC		pH	
		Unit 6	Unit 4	Unit 6	Unit 4
0	18/04/2014	4.7	0.1	5.4	5.6
0	19/04/2014	4.5	3.8	5.5	5.7
0	20/04/2014	4.7	3.8	5.5	5.8
1	21/04/2014	4.6	3.7	5.6	5.7
1	22/04/2014	5.3	3.6	5.4	5.5
1	23/04/2014	5.2	3.6	5.4	5.6
1	24/04/2014	5.1	3.6	5.4	5.6
1	25/04/2014	5.6	3.5	5.7	5.9
1	26/04/2014	6.0	3.7	5.6	5.7
1	27/04/2014	6.1	3.7	5.5	5.7
2	28/04/2014	6.1	3.7	5.4	5.6
2	29/04/2014	6.0	3.5	5.4	5.6
2	30/04/2014	6.1	3.6	5.4	5.6
2	01/05/2014	6.1	3.6	5.4	5.6
2	02/05/2014	6.0	3.5	5.4	5.6
2	03/05/2014	6.1	3.7	5.4	5.6
2	04/05/2014	6.1	3.5	5.4	5.6
3	05/05/2014	6.1	3.7	5.4	5.6
3	06/05/2014	6.1	3.6	5.4	5.6
3	07/05/2014	6.0	3.7	5.4	5.6
3	08/05/2014	5.9	3.6	5.4	5.6
3	09/05/2014	5.7	3.4	5.5	5.6
3	10/05/2014	5.6	3.7	5.5	5.7
3	11/05/2014	5.5	3.5	5.4	5.6
4	12/05/2014	5.4	3.6	5.4	5.6
4	13/05/2014	5.3	3.5	5.6	5.7
4	14/05/2014	5.0	3.5	5.7	5.9
4	15/05/2014	4.8	3.9	5.7	5.9
4	16/05/2014	4.5	3.6	5.7	5.9
4	17/05/2014	6.5	4.0	5.0	5.2
4	18/05/2014	5.4	3.3	5.6	5.8
5	19/05/2014	6.0	3.7	5.4	5.6
5	20/05/2014	5.5	4.0	5.4	5.7
5	21/05/2014	6.7	3.9	5.4	5.6
5	22/05/2014	6.5	3.4	5.5	5.7
5	23/05/2014	6.2	3.9	5.5	5.7
5	24/05/2014	6.1	3.3	6.0	5.8
5	25/05/2014	6.1	3.5	6.1	5.7
6	26/05/2014	6.1	3.2	6.2	5.7
6	27/05/2014	6.1	3.6	6.1	5.7
6	28/05/2014	6.1	3.7	6.2	5.8
6	29/05/2014	6.1	3.6	6.1	5.8
6	30/05/2014	6.1	3.9	6.2	5.8
6	31/05/2014	6.1	3.6	6.0	5.8
6	01/06/2014	6.1	3.7	6.1	5.8
7	02/06/2014	6.1	3.6	6.1	5.8
7	03/06/2014	6.1	3.7	6.0	5.8
7	04/06/2014	6.1	3.9	6.1	5.9
7	05/06/2014	6.1	3.9	6.1	5.9
7	06/06/2014	6.1	3.8	6.1	5.8
7	07/06/2014	6.1	3.7	6.0	5.8

7	08/06/2014	6.1	3.6	6.0	5.9
8	09/06/2014	6.2	4.2	5.9	5.8
8	10/06/2014	6.1	3.8	5.9	5.8
8	11/06/2014	6.0	3.8	6.0	5.8
8	12/06/2014	6.0	3.9	6.1	5.9
8	13/06/2014	5.9	3.7	6.0	5.9
8	14/06/2014	5.7	4.2	6.0	5.9
8	15/06/2014	5.6	3.8	6.0	5.9
9	16/06/2014	5.6	3.8	6.0	5.9
9	17/06/2014	7.1	3.8	6.0	5.9
9	18/06/2014	7.1	3.7	6.0	5.9
9	19/06/2014	7.1	3.8	5.9	5.8
9	20/06/2014	7.0	3.9	6.0	5.8
9	21/06/2014	7.1	3.7	5.9	5.8
9	22/06/2014	7.1	3.7	6.0	5.8
10	23/06/2014	7.0	3.8	5.9	5.8
10	24/06/2014	7.2	3.7	5.8	5.7
10	25/06/2014	7.1	3.9	5.9	5.8
10	26/06/2014	7.1	3.9	5.8	5.7
10	27/06/2014	7.1	4.6	5.7	5.6
10	28/06/2014	7.1	4.4	5.7	5.6
10	29/06/2014	7.1	4.1	5.6	5.5
11	30/06/2014	7.1	4.5	5.5	5.5
11	01/07/2014	7.0	4.5	5.5	5.4
11	02/07/2014	7.1	4.1	5.7	5.6
11	03/07/2014	7.1	4.4	5.5	5.5
11	04/07/2014	7.1	3.9	5.4	5.4
11	05/07/2014	7.1	4.4	5.3	5.3
11	06/07/2014	7.1	3.9	5.4	5.3
12	07/07/2014	7.1	4.0	5.3	5.2
12	08/07/2014	7.0	3.9	5.5	5.5
12	09/07/2014	7.0	3.9	5.4	5.3
12	10/07/2014	7.0	4.3	5.3	5.2
12	11/07/2014	7.1	4.4	5.1	5.1
12	12/07/2014	7.1	4.4	5.2	5.2
12	13/07/2014	7.1	4.4	5.3	5.3

Nutrient solution for the LD/LN treatment was used from Unit 4 during the whole experiment. Nutrient solution for treatment LD/HN, was used from as follow:

	Day	Night	
From 18 April to 13 May	Unit 4	-	
From 13 May to 16 June	Unit 4	Unit 6	

Appendix II Layout experimental set up

