

Aardbei: effecten van fotoperiode en lichtspectrum op trosinductie en strekking

Deelrapport V in project "Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor
praktische toepassing in de kas I&II"



Mei 2023

G. Trouwborst, E.P. Noordhoek, D. de Jager, R. van Endschot, B. Jongenelen, S.W.
Hogewoning

Aardbei: effecten van fotoperiode en lichtspectrum op trosinductie en strekking

Deelrapport V in project "Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor
praktische toepassing in de kas I & II"

Mei 2023

G. Trouwborst¹, E.P. Noordhoek¹, D. de Jager¹, R. van Endschoot², B. Jongenelen², S.W.
Hogewoning¹

¹Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

²Delphy B.V.

Agro Business Park 5,

6708 PV Wageningen

REFERAAT

G. Trouwborst, E.P. Noordhoek, D. de Jager, R. van Endschoot, B. Jongenelen, S.W. Hogewoning. 2022. Aardbei: effecten van fotoperiode en lichtspectrum op trosinductie en strekking. Deelrapport V in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas I & II”. Plant Lighting B.V. Bunnik. 119p.



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Stichting
Kennis in je Kas



©signify



© 2023 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het ministerie van Landbouw, Natuur en voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland en mede gefinancierd door de stichting Kennis in je Kas. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Lighting B.V. en de bovengenoemde opdrachtgever. Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit dit rapport.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
DANKWOORD	8
1 INLEIDING.....	9
1.1 Kader energiezuinige belichting tuinbouw breed.....	9
1.2 Aardbei	9
1.3 Groeiwijze aardbei en gevolgen voor de teelt.....	12
1.4 Doelen per proefronde en leeswijzer	13
2 RONDE 1: FOTOPERIODISCHE MISLEIDING	15
2.1 Materiaal en methoden proefronde 1.....	15
2.2 Resultaten proefronde 1	23
2.3 Conclusies proefronde 1.....	38
3 RONDE 2: FOTOPERIODISCHE MISLEIDING EN STREKKING	39
3.1 Materiaal en methoden proefronde 2.....	39
3.2 Resultaten proefronde 2	45
3.3 Conclusies proefronde 2.....	67
4 RONDE 3: STREKKING MET BEHOUD VAN FOTOPERIODISCHE MISLEIDING.....	69
4.1 Materiaal en methoden proefronde 3.....	69
4.2 Resultaten proefronde 3	75
4.3 Conclusies	88
5 ALGEMENE DISCUSSIE EN CONCLUSIES	90
5.1 Samenvattende discussie	90
5.2 Conclusies	93
6 SLOTBESCHOUWING	94
6.1 Teelt in balans?	94
6.2 Junidrager jaarrond?.....	95
6.3 Doordrager jaarrond?	96
6.4 Energieaspecten.....	98
REFERENTIES.....	99
BIJLAGE	102
1. Nutriëntenschema's.....	102
2. Extra resultaten proefronde 1.....	103
3. Extra resultaten proefronde 2.....	107
4. Literatuuronderzoek aardbei: plantopbouw en fotoperiode.....	109

Samenvatting

Dit onderzoek had als doel om bouwstenen aan te leveren voor een jaarronde “inducerende” aardbeienteelt. Hier liggen kansen door te telen met een verse (niet gekoelde) junidrager onder tros-inducerende omstandigheden of door een verse doordrager te telen. Echter, bij inducerend telen blijkt het een grote uitdaging om in balans te telen. Als de planten overbelast raken, neemt in eerste instantie de vruchtmaat af. Ook kan er een pauzeperiode ontstaan waarin geen nieuwe trossen ontwikkelen. Controle over de trossaanleg is dus cruciaal om in balans te telen.

Een jaarrondproductie wordt mogelijk door gebruik te maken van belichting tijdens de winterperiode. LED-belichting biedt hier grote kansen mede door het energiezuinige karakter ten opzichte van SON-t, en ook door de keuze in het kleurenspectrum. Bij specifieke lichtkleuren (golflengten) wordt er namelijk geen lange-dag-sigitaal afgegeven voor trosinductie terwijl er wel een lange dag is. Dit biedt mogelijkheden om na te gaan of aardbeiplanten te misleiden zijn voor hun daglengte waarneming voor trosinductie. Dit kan vervolgens bijdragen om de trossaanleg te controleren.

Gedurende drie proefrondes is het effect van daglengte en dynamische LED-belichting onderzocht op trosinductie en gewasstrekking. Er werden verschillende spectra na het einde van de ‘natuurlijke’ dag getest om na te gaan of de plant fotoperiodisch te misleiden is voor trosinductie; ofwel er wordt een lange dag belicht maar voor trosinductie wordt er een kortere dag waargenomen. Deze proeven vonden plaats in de klimaatcellen van Plant Lighting. Er werd zowel een doordragend als een junidrager ras onderzocht en de planten bevonden zich onder gesimuleerde wintercondities.

Tijdens de eerste proefronde bleek de junidrager Elsanta succesvol fotoperiodisch te misleiden voor trosinductie. In totaal werd een fotoperiode van 18 uur aangeboden bestaande uit een dag van 10.5 uur bijbelichting (gecombineerd met 8 uur lang gesimuleerd daglicht) gevolgd door 7.5 uur enkel rood licht als nabelichting. Dit gaf een gelijke trosinductie als een daglengte van 10.5 of 14 uur. Terwijl onder een daglengte van 18 uur met normaal assimilatielicht de trossaanleg volledig stopte.

Bij het doordragende ras Favori bleek de fotoperiodische misleiding minder succesvol. Het grote verschil in strekking tussen de verschillende behandelingen (hoe langer de dag, hoe meer strekking en lichtonderschepping en dus gewasfotosynthese) beïnvloedde namelijk de resultaten. Uiteindelijk hadden alle behandelingen een piek in plantbelasting gevolgd door een flinke afname in plantbelasting en een pauze in ontwikkeling. Tot de piek in plantbelasting verschilde het aantal trossen nauwelijks tussen de misleidingsbehandelingen en de controle. Uiteindelijk ontwikkelden er na de piek wel minder trossen dan onder de controle. Gemiddeld waren de trossen groter dan onder de controle. Een doordrager lijkt hoe dan ook uit balans te raken zodra er geen controle is over het aantal vruchten. Dit betekent dat er controle moet zijn over het aantal bladeren onder een tros, aantal neuzen, en

de trossgrootte. Als de controle op één of meerdere punten ontbreekt, kan er waarschijnlijk beter worden gestuurd op maximale strekking. De meest gestrekte behandelingen konden namelijk het langst de plantbelasting onderhouden.

Gedurende de tweede proefronde werd er gefocust op het verbeteren van de strekking. Dit werd onderzocht bij twee verschillende daglengtes en twee lichtspectra (RBWFR en WFR). Het WFR-spectrum had een lagere berekende fytochroomstatus (PSS), wat mogelijk stuurt op strekking. Ook werd de succesvolle fotoperiodische misleiding door middel van nabelichting met enkel rood licht opnieuw toegepast met en zonder een uur puur verrood (EOD-FR).

Bij zowel Favori als Sonsation werd de strekking bevorderd door het WFR-spectrum. Echter, dit effect was alleen aanwezig bij een fotoperiode van 14 uur en bij een jong, nog niet gesloten gewas. Ook verbeterde de strekking bij Sonsation niet ten opzichte van de strekking onder 18 uur daglengte. Het verschil in strekking was gedurende de tweede proefronde minder groot voor Favori dan het geval was tijdens de eerste proefronde. Favori liet onder een fotoperiode van 14 uur liet de meest stabiele plantbelasting zien. Dit kan erop wijzen dat de planten meer in balans waren dan gedurende de eerste proefronde. Daglengte kan dus mogelijk worden gebruikt om een doordrager rustiger en meer in balans te houden.

De junidrager Sonsation bleek ook succesvol fotoperiodisch te misleiden met enkel rood licht aan het einde van de dag. Echter het toevoegen van een uur verrood (EOD-FR) aan het einde van de fotoperiode om de strekking te bevorderen deed dit succes teniet. Mogelijk wordt dit uur verrood als lange-dag-sigitaal voor bloei waargenomen. Fotoperiodische misleiding leek ook Favori gunstig te beïnvloeden: de trosinductie onder nabelichting rood was lager dan de 18-uurs controle en lag dicht bij 14-uurs controle inclusief de blad/tros verhouding.

Gedurende de derde proefronde is het EOD-FR teruggebracht naar 10 minuten en getest bij twee golflengtes (730 en 760 nm). Voor Sonsation was dit succesvol: 10 minuten EOD-FR na 6 uur lang rood nabelichting verknoede de inductie niet. Bij deze 10 minuten voegt 760 nm niets toe boven 730 nm terwijl de strekking wel verbeterde. Sonsation liet onder 14 uur minder strekking zien. Dit verbeterde door EOD-FR maar kwam nog niet in de buurt van de strekking onder 18 uur daglengte.

Bij Favori bleef opnieuw de strekking onder 14 uur achter bij die onder 18 uur. Ook in deze proefronde was onder 14 uur de plantbelasting stabiel. De nabelichtingsbehandelingen lieten (in tegenstelling tot proefronde 2) een hogere trosinductie zien. Waarschijnlijk is gewasfotosynthese dat grotendeels bepaald wordt door gewasbreedte (lichtonderschepping) een medebepalende factor. De Controle 18 uur vertoonde in de eerste weken al overbelasting: trosontwikkeling (hoge generativiteit) zonder plantopbouw en bleef de gehele proefperiode achter in ontwikkeling. Op het moment dat een plant weer opnieuw in productie kwam, werd al snel overinductie waargenomen. Een 'normale' lange dag kan dus al snel tot een overbelaste plant leiden terwijl het nabelichtingsspectrum daarin een

verbetering laat zien: meer vegetatieve ontwikkeling. Op botanisch niveau lag de blad/tros-verhouding tussen de Controle 18 uur en de Controle 14 uur in.

Het blijft een grote uitdaging om een aardbei jaarrond in balans te telen. De wisselwerking tussen trosaanleg, gewasstrekking en de assimilatenbalans (vraag en aanbod van assimilaten) speelt hierin een grote rol. Wanneer de trosaanleg wordt gecontroleerd, heeft dit direct ook invloed op de assimilatenbalans. Daarentegen beïnvloedt de assimilatenbalans ook de trosaanleg/trosverschijning en tros grootte: bij een tekort aan assimilaten stopt de aanleg tijdelijk terwijl er bij een overschot ook meer trossen worden aangelegd en zijn de trossen groter. De gewasstrekking heeft grote invloed op de hoeveelheid onderschept licht en zo op de assimilatenbalans. De waargenomen strekkingsreactie onder de verschillende daglengtes lijkt een verbinding te hebben met het optreden van (beginnende) dormancy: hoe korter de dag, hoe minder strekking.

Bij een jaarrondteelt van een junidragers lijken er dus drie grote struikelblokken voor de teelt te zijn: (1) doorgaande trosinductie (korte dag of misleidingspectrum); (2) voldoende gewasstrekking / vermijden van dormancy (langere dag of misleidingsspectrum?); (3) telen in balans. Bij doordragers spelen dezelfde punten maar gaat het in het eerste punt juist om het vermijden van overinductie. Voor de eerste twee punten lijkt fotoperiodische misleiding doorslaggevend te zijn voor een succesvolle jaarrondteelt.

Dankwoord

Dit onderzoek is een deelproject binnen de projecten “fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas I en II” ondersteund door het programma ‘Kas als Energiebron’, gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland en mede gefinancierd door Stichting Kennis in je Kas en Signify. Stichting Aardbei Onderzoek heeft het laatste deel van proefronde 2 en proefronde 3 meegefinancierd.

We willen de volgende personen/organisaties hartelijk bedanken voor hun bijdrage:

- Van der Avoird Trayplant voor het geleverde plantgoed.
- BVB-substrates voor de aardbeienpotgrond.
- Beekenkamp voor de 18L containers.
- De BCO “aardbei stuurlicht” dank voor de bijdrage in de BCO: Peter van de Eertwegh (Brookberries), Peer Hermans en Erik Stappers (Signify), Tanja Roovers en Robin Stolk (Van der Avoird Trayplant), Rob van Enckevoort (Peelkroon), Rob van Leijsen en Rob van der Wouw (Jong Fruit), Martijn van Oers en Peter Herijgers (van Oers Fruit), Boudewijn van der Wal (Gijbert Kreling), Jan van Genderen (Royal Berry), Wil Beekers (Berryworld), Arno Loos (kwekerij Loos), Bart Goorts (Genson), en Marcel Suiker en Jan Robben (Flevoberry).
- De teeltadviseurs Bart Jongenelen en Remco van Endschoot van Delphy voor jullie rol bij de totstandkoming van het project, de teeltbegeleiding en het bloemonderzoek.
- Henny van Gulp danken we voor het coördineren van de BCO's tijdens de 3^e proefronde.
- Als laatste willen we de onderzoekscoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron bedanken voor hun steun bij de totstandkoming en de uitvoering van dit project.

Mei 2023,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Kader energiezuinige belichting tuinbouw breed

Voor een glastuinbouwsector met een gezonde toekomst staan we voor een aantal uitdagingen. Voor de marktpositie en arbeidsinvulling is een jaarrond en zo gelijk mogelijke productie aantrekkelijk. Vanuit duurzaamheidsoogpunt mag het energieverbruik niet te hoog zijn, en wordt er gestreefd naar fossielvrij en klimaatneutraal. Verder wordt het middelenpakket steeds kleiner, waardoor het belang van weerbaar telen en biologische bestrijding toeneemt. Een oplossing voor het één kan het ander ogenschijnlijk in de weg staan. Dat vraagt een geïntegreerde kijk op het geheel. Om vooruit te komen zijn deelonderzoeken nodig naar de specifieke vragen die spelen, om uiteindelijk de kennis van die deelgebieden weer zo te combineren dat het geheel kloppend is. In het ideale scenario wordt daglicht zo effectief mogelijk benut, door gebruik te maken van hoog doorlatende kassen en diffuus licht. Ook warmte moet zo min mogelijk worden verspild (isolatie, slim gebruik van schermdoeken, warmte/koude opslag). Desalniettemin zal er voor een jaarrond hoge productie licht tekort zijn bij de meeste teelten. Immers, als er in december gemiddeld 3 mol/m²/dag licht buiten is, en het gewas vraagt 15 mol/m²/dag, dan kom je niet onder belichting uit. Als er toch belicht moet worden, dan wel zo zuinig mogelijk. En op zo'n manier dat de belichting de warmtevraag grotendeels invult, en er ook geen overschot aan warmte is waardoor CO₂ verloren gaat via beluchting. LED biedt in dit kader grote kansen: de efficiëntste armaturen bereiken tegenwoordig rond de 3.8 µmol output per Joule input, tegenover 1.8 µmol/J bij SON-t. Zo kan een gelijke intensiteit belichting worden gerealiseerd met de helft minder elektra. De keuze voor LED biedt keuze in het kleurenspectrum. Daarmee kan de gewasontwikkeling worden gestuurd, en het heeft ook invloed op plantweerbaarheid en gedrag van plagen, predatoren en micro-organismen. Waarbij vooral niet vergeten moet worden dat in een kas de combinatie LED en daglicht kansen biedt: waar LED iets te kort komt kan het aanwezige daglicht mogelijk de oplossing bieden. Idealiter wordt de belichting zo ingezet dat het gewas goed ontwikkelt en produceert, weerbaarheid wordt gestimuleerd en predatoren goed functioneren. Het ideale scenario klinkt mooi, maar de benodigde kennis ontbreekt nog grotendeels. Dit deelonderzoek beoogt kennis te ontwikkelen over de effecten van licht (spectrum en daglengte) op trosinductie en gewasontwikkeling bij aardbei.

1.2 Aardbei

1.2.1 Jaarrond telen aardbei

Het areaal glasaardbei in Nederland groeit flink door, in 10 jaar tijd is het areaal verdubbeld naar ruwweg 500 hectare in 2021. Een jaarrondproductie wordt mogelijk door gebruik te maken van belichting tijdens de winterperiode. Op dit moment worden op het overgrote deel van het areaal aardbeien gekoelde junidragers geteeld. Deze teelt kenmerkt zich door

eerst een vegetatieve ontwikkeling en vervolgens vruchtdracht. Een oogstpiek is hierbij vrijwel onvermijdelijk.

Om continu te kunnen oogsten is er interesse in 'inducerend telen' waardoor een plant een continue vruchtdracht heeft, net als in de tomatenteelt. Hier liggen kansen door te telen met een verse junidrager onder tros-inducerende omstandigheden¹ (daglengte onder de 12-14 uur door te verduisteren in de zomer en te belichten tot maximaal 12-14 uur in de winter) of door een doordrager te telen. Echter, bij inducerend telen blijkt het een grote uitdaging om in balans te telen. Als de planten overbelast raken, neemt in eerste instantie de vruchtmaat af. Ook kan er een pauzeperiode ontstaan waarin geen nieuwe trossen ontwikkelen. Controle over de trosaanleg is dus cruciaal om in balans te telen. Een voor de hand liggend sturingsmechanisme is daglengte. Echter, bij een kortere daglengte neemt de lichtsom af en dat kost weer productie. Vooral in de winter is dat een probleem, want daarvoor compenseren met een hogere intensiteit belichting is kostbaar. Idealiter wordt zo lang mogelijk belicht voor een zo hoog mogelijke assimilatie, met behoud van controle over de trosaanleg.

1.2.2 Stuursignalen

Daglengte wordt waargenomen door fotoreceptoren in een plant. Fotoreceptoren zijn eiwitten die een bepaald stuursignaal afgeven bij een korte of juist lange dag. Deze fotoreceptoren zijn cruciaal voor het aansturen van de trosaanleg onder verschillende daglengtes. Daarnaast zijn deze fotoreceptoren gevoelig voor kleuren in het lichtspectrum. Bij specifieke lichtkleuren (golflengten) wordt er geen lange-dag-signaal afgegeven terwijl er wel een lange dag is. Met LED kan met specifieke lichtkleuren gestuurd worden. Dit biedt mogelijkheden om na te gaan of planten ook te misleiden zijn voor wat betreft hun daglengte waarneming.

Een lange daglengte leidt er bij junidragers (kortedag plant) toe dat ze geen trossen meer induceren. Bij doordragers (langedag plant) creëer je door een lange dag juist een overinductie waardoor er een oogstpiek komt en daarna een pauzestand ontstaat. De wens is dus om assimilatenproductie te scheiden van daglengte waarneming: een lange dag te geven zonder dat dit bij een junidrager ten koste gaat van trosinductie, terwijl dit bij een doordrager toch niet te veel inductie geeft.

In dit onderzoek is nagegaan of dit onder gecontroleerde omstandigheden mogelijk is. In klimaatcellen is met daglicht-simulatoren de winter nagebootst. Er is bijbelicht met LED, waarbij in de verschillende proefbehandelingen gevarieerd wordt in daglengte en in het lichtspectrum gedurende de dag. Gedurende twee jaar zijn er drie proefrondes uitgevoerd

¹ Junidragers kunnen ingedeeld worden naar een hoge of lage koudebehoefte. Voor rassen met een hoge koude-behoefte (high chill) zoals Sonsation zal een inducerende daglengte rond de 14 uur liggen. Voor rassen met een lage koude-behoefte (low chill) zal dit rond de 12 uur liggen.

met ieder een eigen aangescherpte doelstelling. Dit rapport bevat de resultaten van deze proefrondes.

1.2.3 Stip op de horizon

Als we op hoofdlijnen de onbelichte en belichte teelten van tomaat en paprika met elkaar vergelijken (Tabel 1), dan valt op dat er in een onbelichte situatie en in een belichte situatie op drogestof-niveau nauwelijks productiever verschillen zijn tussen tomaat en paprika. De vraag dringt zich dan op wat er mogelijk is bij aardbei als deze ook 'inducerend' wordt geteeld. Aangezien de vrucht van aardbei 8% drogestof bevat, lijkt eenzelfde productie als bij paprika mogelijk. Belangrijke zaken voor een vergelijkbare productie zijn:

- Lichtonderschepping. Bij paprika en tomaat liggen deze rond de 85%. Bij aardbei ligt de lichtonderschepping meestal veel lager (60-65%; Jochems *et al.* 2022). Het ligt voor de hand dat de lichtverdeling over het gewas voor paprika en tomaat gelijkmatiger is dan bij aardbei omdat de gewashoogte wezenlijk verschilt. Daardoor zou de gewasassimilatie bij een gelijke lichtabsorptie toch nog 5-10% kunnen verschillen (Sarlikioti *et al.* 2011).
- Bladfotosynthese: aardbei functioneert op bladniveau vergelijkbaar als paprika.
- Assimilatenverdeling: het aandeel assimilaten dat naar de vruchten gaat ligt bij paprika en tomaat rond de 65%. Het lijkt erop dat aardbei dit ook haalt (Jochems *et al.* 2022).
- Doorgaande inductie. Tomaat en paprika zijn daglengte-neutraal, dus daar is jaarrond inductie geen probleem. Bij aardbei ligt dit anders per type:
 - Junidragers (korte dag plant): onder lange dag stopt inductie. Junidrager Sontation blijft induceren onder 14 uur licht (dit rapport).
 - Doordragers (lange dag plant): hoe langer de dag, hoe meer inductie waardoor plant 'over de kop gaat' en in pauzestand terecht komt. NB dit rapport laat zien dat verminderde bladstrekking (lichtinterceptie) onder een kortere dag ook een grote invloed heeft op het terecht komen in een pauzestand.
- Er zal min of meer in balans geteeld moeten worden omdat een pauzestand veel productie kost. Om in balans te kunnen telen worden bij tomaat het aantal stengels, aantal trossen en trossgrootte gecontroleerd en is de blad/trosverhouding constant. Bij productie van paprika verloopt de zetting en productie ook in golven, maar door middel van vruchtsnoei kan wel een gelijkmatiger oogstpatroon worden verkregen. Verschillen in de cumulatieve productie tussen een golvend of meer stabiel patroon zijn bij paprika beperkt. Bij aardbei is er tot op heden geen controle over aantal neuzen, trossen en aantal vruchten per tros. Na een piekproductie duurt het lang voordat de plant hersteld is om een nieuwe productiegolf aan te kunnen.

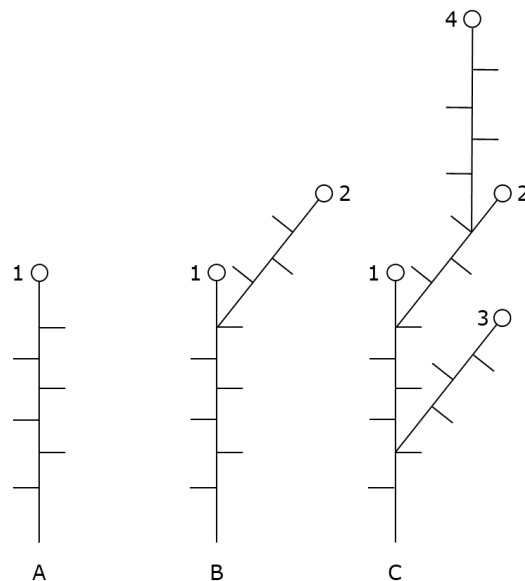
Als bovenstaande punten niet via teeltmaatregelen voor elkaar te krijgen zijn, zal er gericht moeten worden veredeld om een plant te krijgen met de juiste eigenschappen voor jaarrond productie.

Tabel 1. Ruwe kengetallen opbrengsten tomaat, paprika en aardbei jaarrond. Bij tomaat en paprika is er jaarlijks 1 planting en vindt er continue vruchtproductie plaats (inducerend telen). Bij aardbei worden er onbelicht 2-2.5 teeltrondes met een gekoelde junidragers uitgevoerd waarbij er 15-20 kg vers kan worden geoogst.

	Onbelicht [kg/m ² /jaar]	Belicht [kg/m ² /jaar]
Tomaat	60 (4%DS → 2.4 kg droog)	90 (4%DS → 3.6 kg droog)
Paprika	30 (8%DS → 2.4 kg droog)	45 (8%DS → 3.6 kg droog)
Aardbei	15-20 (8%DS → 1.2-1.6 kg droog)	

1.3 Groeiwijze aardbei en gevolgen voor de teelt

Aardbei is een kruidachtige meerjarige plant (perennial). De primaire stam wordt ook wel kroon genoemd. Deze bestaat uit meerdere bladeren en eindigt in een bloemtros (Savini *et al.* 2005; Figuur 1A). Okselknoppen kunnen of slapend (dormant) blijven, of een zijkroon gaan vormen met of zonder bladeren (doodbloeiër) of een rank gaan vormen (Heide *et al.* 2013). Aardbei vertoont sympodiale groei. Dit houdt in dat de bovenste okselknop dominant is over lager liggende knoppen en de functie van de hoofdkroon overneemt en enkele bladeren en opnieuw een tros vormt (Heide *et al.* 2013; Figuur 1B), net zoals bij tomaat. Als lager liggende knoppen toch uitlopen spreekt men van zijkronen of neuzen (Figuur 1C).



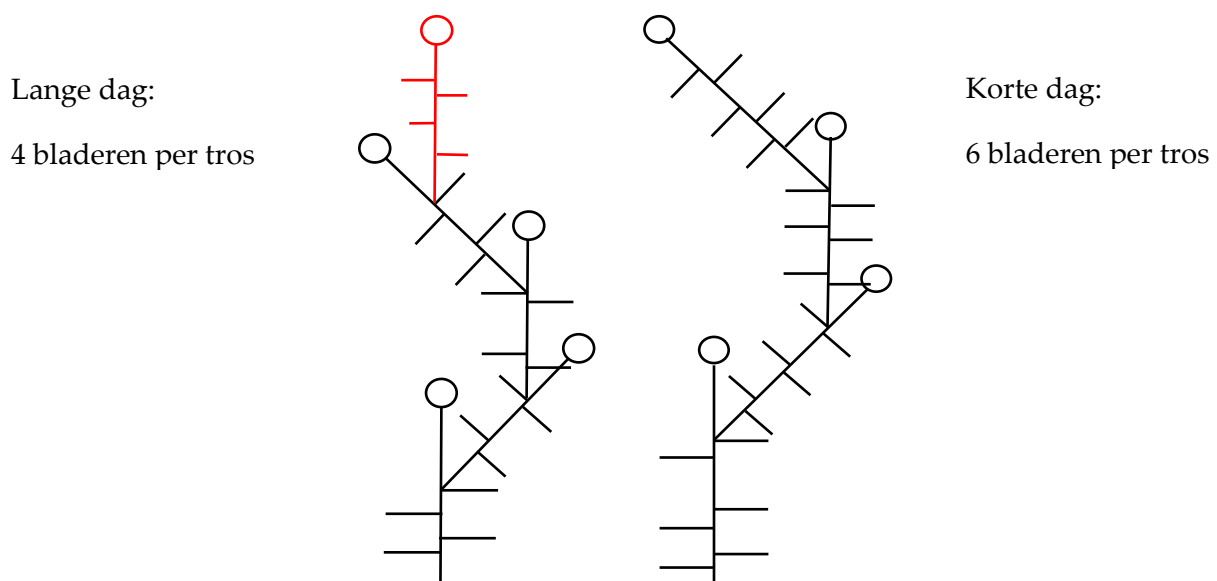
Figuur 1. De plantopbouw van de sympodiale groei van aardbei schematisch weergegeven. Een streepje staat voor een blad en een cirkel is een symbool voor een bloemtros. A: kroon met bladeren en eindigend in een bloemtros (1). B: Bovenste okselknop neemt de functie van de kroon over en vormt een verlenging op de hoofdkroon (2). C: een lager liggende uitlopende okselknop produceert een zijkroon (3). Tevens wordt een nieuwe verlenging op de hoofdkroon geproduceerd (4). Figuur is gebaseerd op Heide *et al.* (2013).

De ontwikkeling van zijkronen (neuzen) kan resulteren in de gelijktijdige ontwikkeling van meerdere trossen, gevolgd door een oogstpiek met veel (kleine) vruchten. Als deze productiepiek erg veel van de plant heeft geëist ontstaat er een ‘pauzestand’ waarin nauwelijks bloei is en dus geen productie. Deze ‘pauzestand’ kan enige weken duren. Voor een teelt in balans moet dus de plantbelasting onder controle zijn. Hiervoor moet er controle

zijn over het aantal zijkronen, aantal trossen en aantal vruchten per tros. Aangezien de junidrager behoort tot de korte dag planten en een doordrager behoort tot de lange dag planten, ligt sturing van de trosinductie door middel van daglengte voor de hand.

1.3.1 Theorie daglengte

Volgens Sønsteby en Heide (2007), (zie ook Rantanen *et al.* 2014), die het effect van daglengte bij zaailingen hebben onderzocht, worden er bij een doordrager (lange dag plant) onder een lange dag minder bladeren gevormd onder de eerste tros dan onder een kortere dag. Als dit effect zich doorzet in de opvolgende kronen zullen in een bepaalde tijd er onder lange dag meer trossen worden geïnduceerd dan onder een kortere dag (Figuur 2). Om overinductie bij een doordrager te vermijden is het dus zinnig om een kortere daglengte aan te houden. Uit het onderzoek van Sønsteby en Heide (2007) wordt echter niet duidelijk of en hoe zijkronen worden beïnvloed door daglengte. Als er onder korte dag meer zijkronen ontstaan, kan dit op gewasniveau een ander effect hebben dan het aantal bladeren per tros op kroonniveau. Zo is gerbera een korte dag plant, maar door overvloed aan assimilaten onder een lange dag lijkt er meer zijscheutontwikkeling en daardoor uiteindelijk evenveel of meer bloeminductie en productie plaats te kunnen vinden dan onder korte dag (Bongers *et al.* 2022).



Figuur 2. Theoretisch effect van daglengte op plantopbouw onder lange dag (LD) (links) en korte dag (KD) (rechts). Onder LD worden er als voorbeeld 4 bladeren per tros gevormd en ontwikkelt er 1 tros extra in dezelfde tijd. Onder KD worden er 6 bladeren per tros gevormd. Let op dat een extra uitlopende zijkroon het effect van korte dag fors kan veranderen. De vraag is welke daglengte meer bijdraagt aan zijkroonontwikkeling of dat dit alleen gestuurd wordt door de assimilatenbalans.

1.4 Doelen per proefronde en leeswijzer

Het hoofddoel van de proeven was het scheiden van effecten van licht op de assimilatie en trosinductie. Theoretisch is het geven van een lange dag in combinatie met een niet al te

hoge lichtintensiteit het meest efficiënt voor de fotosynthese (assimilatie). Immers de fotosynthese-lichtrespons verloopt via een verzadigingscurve waarbij de toename van de fotosynthese bij een toenemend lichtniveau in eerste instantie lineair verloopt en vervolgens verminderende meeropbrengsten geeft tot lichtverzadiging bereikt wordt. Ook hoeft er, als er een lange dag kan worden belicht, minder lampvermogen geïnstalleerd te worden om toch een gewenste lichtsom te halen. Echter, zoals eerder genoemd heeft een lange dag belichten als nadeel dat er bij een junidrager geen trossen meer worden geïnduceerd, en bij een doordrager te veel trossen worden geïnduceerd. De volgende onderzoeksvragen zijn opgesteld:

- Proefronde 1: Kan assimilatie gescheiden worden van de trosinductie?

Junidrager Elsanta geeft trosinductie bij een 18-uurs fotoperiode waarvan de laatste 7.5 uur puur rood licht voor fotoperiodische misleiding. Dit gaat echter ten koste van de strekking. Bij Favori heeft gewasbreedte (=lichtonderschepping) meer effect dan daglengte en fotoperiodische misleiding op de trosinductie.

- Proefronde 2: Kan assimilatie gescheiden worden van trosinductie met behoud van gewasstrekking (inzet EOD-FR en Wit-FR)?

Een kortere daglengte van 14 uur geeft doorgaande inductie bij junidrager Sonsation (dit stopt bij 18 uur daglengte) en bij doordrager Favori verloopt de productie gelijkmatiger. Sonsation is fotoperiodisch te misleiden met 6 uur puur rood licht na 12 uur een gemengd spectrum. De strekking blijft wel achter ten opzichte van de Controle 18 uur. EOD-FR van één uur na zes uur fotoperiodische misleiding (18-uur fotoperiode + 1 uur EOD-FR) werkt zeer positief op strekking maar verknoeit inductie voor Sonsation. Ook geeft het overinductie bij Favori. Blijkbaar wordt door een uur EOD-FR de fotoperiode als een lange dag waargenomen voor de junidrager Sonsation en de doordrager Favori. Wit-FR was vooral in beginstadium positief, bij gesloten gewas lijkt er minder effect.

- Proefronde 3: Kan assimilatie gescheiden worden van trosinductie met behoud van gewasstrekking, zonder de trosinductie te verknoeien (inzet EOD-FR van 10 minuten bij de golflengtes 730 en 760 nm)?

Sonsation is fotoperiodisch te misleiden met 6 uur puur rood licht na 12 uur een gemengd spectrum en 10 minuten EOD-FR verbetert de strekking en verknoeit de inductie niet. Bij Favori verbetert 10 minuten EOD-FR ook de strekking. In alle gevallen vond overinductie plaats. Het best strekkende gewas kan dit het beste doorstaan.

Leeswijzer:

Hoofdstuk 2 bevat de materiaal en methoden en de resultaten van proefronde 1. Hoofdstuk 3 bevat de materiaal en methoden en de resultaten van proefronde 2. Hoofdstuk 4 bevat de materiaal en methoden en de resultaten van proefronde 3. Hoofdstuk 5 bevat de algemene discussie en conclusies van de drie proefrondes. Hoofdstuk 6 bevat de slotbeschouwing. In ieder hoofdstuk worden de specifieke onderzoeksvragen herhaald en beantwoord. Bijlage 4 bevat een Engelstalige literatuurstudie over het plantfysiologische werkingsmechanisme voor daglengte-waarneming voor bloei.

2 Ronde 1: Fotoperiodische misleiding

Dit onderzoek startte met de volgende hoofdvraag: Kan assimilatie gescheiden worden van de trosinductie? Hiervoor is de trosinductie van een doordragende aardbei (Favori) en een junidragende aardbei (Elsanta) onderzocht bij verschillende daglengtes en lichtspectra om de daglengtewaarneming (fotoperiode) van de planten te misleiden. Planten werden 26 weken geteeld in een klimaatcel. De planten bevonden zich onder gesimuleerde wintercondities. In totaal werden er zes verschillende lichtbehandelingen getest.

2.1 Materiaal en methoden proefronde 1

2.1.1 Plantmateriaal

Het plantmateriaal was opgekweekt bij Van der Avoird Trayplant. Favori en Elsanta werden beide gestekt op 19 augustus 2020 en 10 dagen onder natuurlijke daglengte beworteld onder een miststelsel. Vanaf 29 augustus 2020 ontvingen de stekken een daglengte van 16 uur, bestaande uit een combinatie van natuurlijk daglicht en bijbelichting (RWBFR-LEDs) om Elsanta vegetatief te houden. Ook werd er geen koelingsfase toegepast voor beide rassen, dus was er sprake van vers stekmateriaal. Met name bij het junidragende ras Elsanta was de focus om te starten met zo vegetatief mogelijke planten.

Tijdens de opkweekfase hebben de stekken 16910 groeigraduren (GDH; basistemperatuur 4.5 °C) gehad. Op 12 oktober 2020 zijn die stekken in de zes klimaatcabines (ieder 2 m²) bij Plant Lighting geplaatst. Per behandeling werden er van beide rassen per strekkende meter 6 stekken geplant (Figuur 3; NB strekkende meter is ook vierkante meter omdat de klimaatcabines 2 m² groot zijn). De plantafstand was 17 cm. Het substraat bestond uit een mix van 20% zwartveen (medium grof), 20% zwartveen (grof), 20% perliet, 40% kokosveen (strawberry excellent van BVB Substrates).

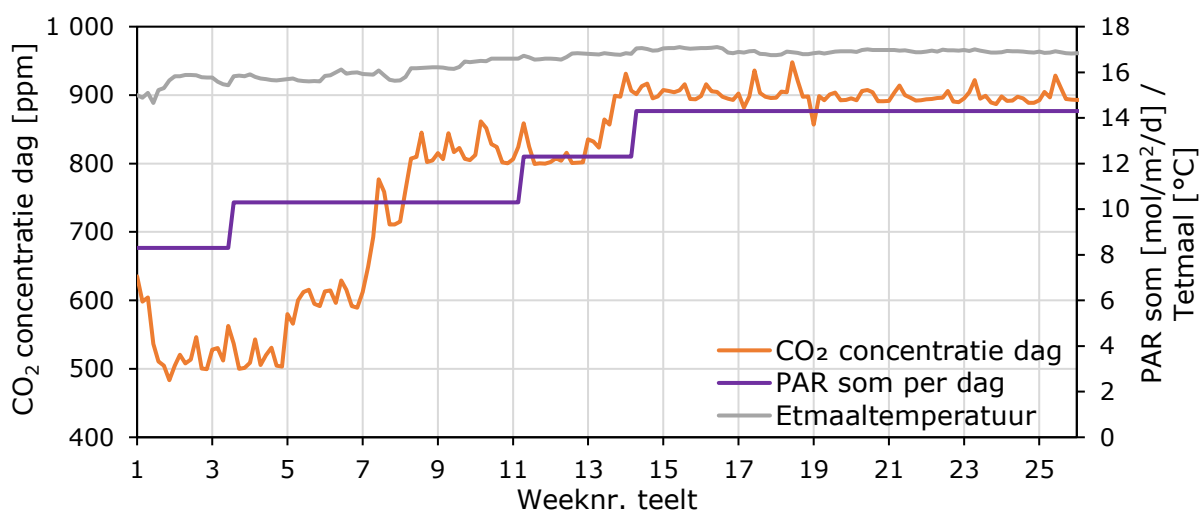


Figuur 3. Stekken van Favori (links) en Elsanta (rechts) zoals geplant in de zes klimaatcabines (2 m²) bij de start van de proef. Per behandeling waren er van beide rassen per strekkende meter 6 stekken geplant.

Overig plantmateriaal dat niet werd geplant, is onderzocht op de aanwezigheid van trossen door middel van een bloemonderzoek. Voor Elsanta bleken er 6 van de 9 onderzochte stekken al een tros aangelegd te hebben. Zoals eerder benoemd, werd voor dit onderzoek de voorkeur gegeven aan een zo vegetatief mogelijke plant. Om deze reden is besloten om de eerste trossen te verwijderen bij Elsanta. Dit is gedaan tot er 19000 groeigraaduren waren behaald in de klimaatcel. Een bestaande vuistregel luidt namelijk dat het 19000 groeigraaduren duurt tussen inductie en eerste open bloem van een tros. Na 19000 groeigraaduren werd dus aangenomen dat de trossen aangelegd waren tijdens de periode in de klimaatcel. Er werden 6 Favori-plantjes onderzocht, deze lieten een redelijk uniform beeld zien: de toptros zat in stadium 6-8 (2-8mm tros lengte), de tros in de bovenste okselknop zat gemiddeld in stadium 2. Al aangelegde trossen waren bij Favori geen probleem voor het onderzoek.

2.1.2 Klimaat

Het klimaat was voor alle zes de behandelingen hetzelfde (Figuur 4). De luchttemperatuur werd gestuurd op basis van het etmaalgemiddelde. De etmaaltemperatuur startte op 15 °C en nam geleidelijk toe tot 17 °C gedurende de proef. Steekproefsgewijze metingen van enkele dagen lieten zien dat in de klimaatcel de luchttemperatuur gemiddeld 1.3 °C hoger was dan de planttemperatuur. Aangezien planttemperatuur uiteindelijk bepalend is voor processen in de plant, werd besloten om de gerealiseerde groeigraaduren te berekenen via de berekende planttemperatuur (planttemperatuur=luchttemperatuur minus 1.3). In totaal werden er ruim 45000 groeigraaduren gerealiseerd in de klimaatcel. Er werd een maximale DIF van 1 °C aangehouden, omdat een te grote DIF mogelijk als een daglengteprikkel kan worden ervaren. De RV was overdag tussen de 60-70% en in de nacht rond de 75%.



Figuur 4. De totale lichtsom per dag en de dagelijkse CO₂-concentratie werden geleidelijk verhoogd gedurende de proef op basis van een ingeschatte assimilatenbehoefte van de planten. De intensiteit van de bijbelichting werd verhoogd van 50%, naar 67%, naar 83% naar 100%. De maximale lichtintensiteit was respectievelijk 185, 238 of 317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van 18, 14 of 10.5 uur.

Zowel de lichtsom als de CO₂-concentratie werden verhoogd gedurende de proef op basis van de geschatte assimilatenbehoefte van de planten (Figuur 4). Adviseurs van Delphy (Bart Jongenelen en Remco van Endschoot) gaven hierover advies. De CO₂-concentratie begon op 500 ppm en nam toe tot 900 ppm. De totale lichtsom was voor alle behandelingen gelijk en nam toe in vier stappen van 8.3 tot 14.3 mol/m²/d. De hoeveelheid gesimuleerd zonlicht bleef gedurende de proef constant (2.3 mol/m²/d) en enkel de bijbelichting en nabelichting werd in intensiteit verhoogd van 50%, 67%, 83% en 100% (respectievelijk 6, 8, 10, 12 mol PAR/m²/d).

2.1.3 Gewasverzorging

Verschillende gewaswerkzaamheden vonden plaats gedurende de proef. Dagelijks werden bloemen bestoven door trossen te trillen met behulp van een elektrische tandenborstel. Oude en beschadigde bladeren werden verwijderd om het gewas luchtig te houden. Ook werd er elke 7-10 dagen gespoten tegen meeldauw met Karma®. Daarnaast werden er gele vangplaten en *Amblyseius swirskii* ingezet tegen anderen plagen zoals trips en witte vlieg.

Tussen de verschillende rassen en behandelingen zat een groot verschil in waterbehoefte. Alle behandelingen hadden hun eigen watergift-systeem en konden apart worden aangestuurd. Op het moment dat de planten volgroeid waren, varieerde de waterbehoefte van 1.3 tot 3.7 liter per strekkende meter. Er werd gestreefd naar een drainpercentage van 20-30% van de dagelijkse hoeveelheid aangeboden water. Gedurende de teelt werden er twee nutriënten schema's gehanteerd voor de periode zonder vruchtdracht en voor de periode met vruchtdracht (Bijlage 1). De EC van de voedingsoplossing was 1.1-1.5, afhankelijk van de drain EC (vuistregel: som van gift+drain EC van 2.8-3.0). De pH was 5.5-5.8.

2.1.4 Behandelingen

Alle zes behandelingen kregen door middel van een zonlichtlamp een gesimuleerde winterdag van 8 uur 80 µmol/m²/s aangeboden (Figuur 5c). Dit resulteerde in een dagelijkse lichtsom van 2.3 mol/m². Naast zonlicht werd er ook bijbelichting toegepast voor alle behandelingen. Dit was LED-belichting met een rood, blauw, wit spectrum (RBW). De bijbelichting stond vóór en tijdens de gesimuleerde winterdag aan. Daarnaast ontvingen sommige behandelingen nabelichting nadat de dag ten einde was. Als nabelichting werden er drie verschillende spectra getest: rood, blauw, wit (RBW); rood, blauw, wit, verrood (RBWFR) en enkel rood (R).

In totaal werden er zes verschillende behandelingen getest (Tabel 2). Deze behandelingen verschilden of in daglengte (10.5 uur, 14 en 18 uur) of in het spectrum gebruikt voor de nabelichting (RBW, RBWFR of R). Voor de daglengte behandelingen (Controle 18 uur, 14 uur of 10.5 uur) bepaalde het RBW-spectrum de duur van de fotoperiode. De drie behandelingen met 7.5 uur nabelichting na het einde van de dag (16:30), kregen ieder 18 uur aan belichting (=fotoperiode) aangeboden. Gedurende de eerste 10.5 uur van de fotoperiode werd er bijbelicht met het RBW-spectrum. De gerealiseerde behandelingen zijn als volgt:

- 1) Een controlebehandeling met een fotoperiode van 18 uur en een bijbelichtingsspectrum RBW resulterend in een PSS² van 0.88.
- 2) Een controlebehandeling met een fotoperiode van 14 uur en een bijbelichtingsspectrum RBW resulterend in een PSS van 0.88.
- 3) Een controlebehandeling met een fotoperiode van 10.5 uur en een bijbelichtingsspectrum RBW resulterend in een PSS van 0.88.
- 4) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 10.5 uur werd bijbelicht met het RBW-spectrum en na de 'zonsondergang' er 7.5 uur werd nabelicht met RBWFR (PSS=0.86).
- 5) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 10.5 uur werd bijbelicht met het RBW-spectrum en na de 'zonsondergang' er 7.5 uur werd nabelicht met RBW.
- 6) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 10.5 uur werd bijbelicht met het RBW-spectrum en na de 'zonsondergang' er 7.5 uur werd nabelicht met puur rood licht.

In Tabel 3 wordt een samenvatting gegeven van de verschillende spectra.

Tabel 2. Overzicht van de verschillende behandelingen en de bijhorende belichtingstijden.

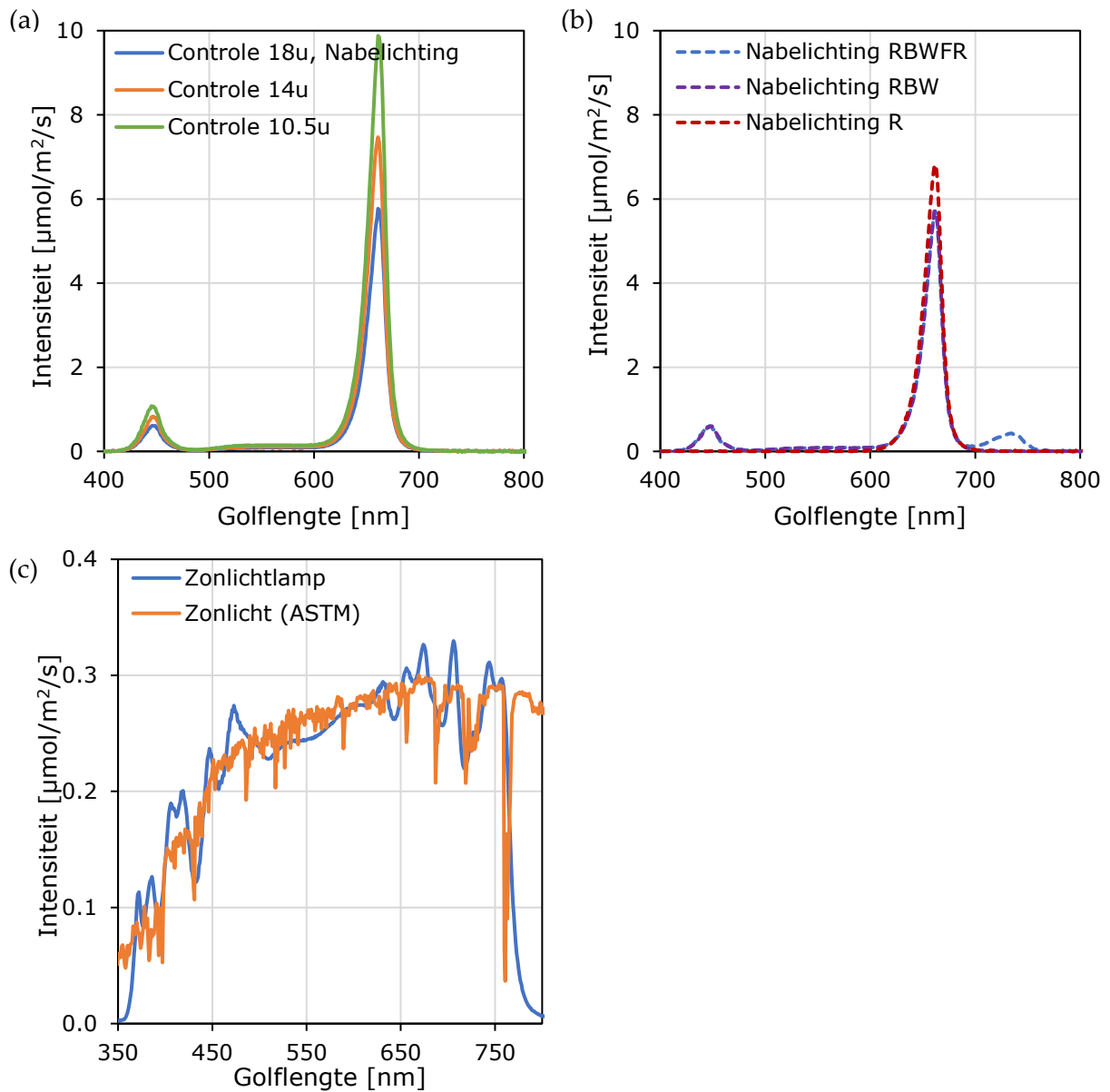
Gesimuleerde tijd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Controle 18u	RBW										Zonlicht													
	RBW										Zonlicht													
Controle 14u	RBW										Zonlicht													
	RBW										Zonlicht													
Controle 10.5u	RBW										Zonlicht													
	RBW										Zonlicht													
Nabelichting RBWFR	RBW										Zonlicht										RBWFR			
	RBW										Zonlicht										RBW			
Nabelichting R	RBW										Zonlicht										R			
	RBW										Zonlicht										R			

² PSS staat voor Phytochrome Photo Stationary state en is een maat voor de fytochrombalans in de plant. Deze kan op basis van het spectrum worden berekend. De berekende fytochrombalans onder daglicht is ~0.71. Verschillende planten reageren sterk op de PSS met betrekking tot strekking: hoger dan 0.71 geeft een compactere plant dan onder daglicht en lager dan 0.71 geeft een gestrektere plant vergeleken met daglicht. PSS is een betere maat voor lichtspectrum dan de rood/verrood verhouding.

Tabel 3. Details van de verschillende spectra. Percentages zijn ten opzichte van de totale hoeveelheid PAR. Voor het kunstmatig zonlicht was dit 8 uur lang $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Voor RBW, RBWFR en R was de eindintensiteit 185, 238 of $317 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van respectievelijk 18, 14 of 10.5 uur. Verrood behoort niet tot PAR, maar wordt wel als percentage weergegeven van de totale hoeveelheid PAR. De PAR-som is gelijk gehouden in de proef.

	Zonlicht	RBW	RBWFR	R
Blauw	28%	10%	10%	0%
Groen	33%	5%	5%	0%
Rood	39%	85%	85%	100%
Verrood	26%	0%	10%	0%
PSS	0.72	0.88	0.86	0.89

De grafieken van de verschillende spectra worden in Figuur 5 weergegeven. In Figuur 5a is te zien dat het RBW-spectrum niet voor iedere behandeling dezelfde intensiteit heeft. Voor deze proef is ervoor gekozen alle behandelingen dezelfde lichtsom te geven. Behandelingen met een kortere fotoperiode kregen om die reden een hogere intensiteit.



Figuur 5. Overzicht van de verschillende spectra. Grafiek (a) laat het RBW-spectrum zien voor de verschillende daglengtes en van de eerste 10.5 uur van de behandelingen met nabelichting. Grafiek (b) laat de verschillende gebruikte spectra tijdens de nabelichting zien. De intensiteiten in beide grafieken komen overeen met de maximale belichtingsintensiteit van respectievelijk 185, 238 of 317 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van 18, 14 of 10.5 uur. Grafiek (c) laat het spectrum van het kunstzonlicht zien (Artificial Sunlight Research Module, Speciality Lighting Holland, Breda, The Netherlands) ten opzichte van het standaard zonnenspectrum zoals gemeten door de American Society for Testing and Materials (ASTM, 2003).

2.1.5 Metingen

Tijdens de proef zijn er verschillende metingen en tellingen aan de planten uitgevoerd. Deze metingen hadden betrekking op de gewasopbouw, trosinductie en fotosynthese. Aan het einde van de proef heeft er nog een destructieve eind oogst plaatsgevonden.

Gewasopbouw:

Elke twee weken is de hoogte en breedte van het bladerdek per plant gemeten. De hoogte is gemeten vanaf de bovenkant van de substraatbak tot aan het hoogste punt van de plant. De breedte is gemeten als de maximale breedte die de bladeren beslaan gezien vanaf bovenaf. Daarnaast is de bladsteellengte en bladgrootte bepaald met een wekelijks interval en vanaf 5 januari 2021 tweewekelijks. Deze metingen werden gedaan voor een jong volgroeid blad. De bladsteellengte werd gemeten vanaf de aanhechting van de bladsteel aan het rizoom tot de bladschijf. Bladgrootte werd benaderd door de lengte en breedte te meten van één van de drie kleinere bladschijven. Aan de hand van de lengte en breedte kon het bladoppervlak worden geschat. Als laatst werd het aantal bladeren geteld met een interval van vier weken.

Trosinductie:

Wekelijks werd per plant het aantal trossen, het aantal open bloemen en het aantal gezette vruchten geteld. Een tros werd meegeteld als de eerste bloem was geopend. Een bloem werd gezien als open wanneer de stampers en meeldraden zichtbaar waren. Wanneer de witte kroonbladeren eraf begonnen te vallen, werd het als een gezette vrucht geteld. Het aantal open bloemen en gezette vruchten vormt samen de plantbelasting.

Oogst:

Wanneer de vruchten compleet rood waren gekleurd, werden ze geoogst. Twee keer per week werden de vruchten geoogst per plant. Van elke vrucht werd het versgewicht bepaald. Ook werd er genoteerd of de zetting goed, slecht of zeer slecht was (Figuur 6). Bij een goede zetting waren er geen plekken van een slechte zetting te zien. Bij één duidelijke plek van een slechte bestuiving werd de zetting als slecht gescoord. Bij meerdere plekken van een slechte bestuiving werd de vrucht als zeer slecht gescoord. Vruchten die als zeer slecht waren gescoord, werden als afval beschouwd en zijn niet meegenomen in de oogstdata. NB doordat er handmatig werd bestoven (getrild met elektrische tandenborstel), kan het zijn dat er relatief meer vruchten met een slechte zetting ontstaan dan bij bestuiving met hommels of bijen.

Als een tros volledig was leeg geoogst, werd deze verwijderd van de plant. De tros lengte werd vervolgens bepaald. Die was gedefinieerd als de volledige lengte van de aanhechting aan het rizoom tot waar de eerste bloem zich bevond. In proefronde 2 en 3 werd de ook de afstand tot de eerste trossplitsing gemeten en het aantal vruchten geteld.



Figuur 6. Voorbeelden van de score van de zetting als goed/slecht/zeer slecht. Zeer slechte vruchten werden als afval beschouwd.

Eind oogst:

Aan het einde van de proef (6-8 april 2021) vond er een eind oogst plaats waarbij extra plantmetingen gedaan konden worden. Voor de Elsanta's zijn het aantal neuzen, het aantal bladeren, het versgewicht van de bladeren en het aantal zichtbare nieuwe trossen zonder bloem bepaald (≥ 20 mm, stadium 9—compleet gevormd cluster—ligt bij ongeveer 12 mm). Vervolgens is er een bloemonderzoek uitgevoerd voor drie van de zes planten van iedere behandeling. Tijdens dat bloemonderzoek kon worden bepaald of er diep in de plant nog trossen waren aangelegd (< 20 mm, dus bloemstadia ≤ 9).

Voor de Favori's zijn een aantal extra metingen gedaan tijdens de eind oogst ten opzichte van de Elsanta's. Naast de bovengenoemde metingen is het bladgewicht per bladoppervlakte (Engels: Leaf Mass per Area = LMA) bepaald. Voor elke behandeling zijn er per plant drie bladeren geplukt, waarvan één blad jong volgroeid was en twee bladeren volgroeid maar niet verouderd. Van de bladeren zijn zowel het oppervlakte als het drooggewicht bepaald om de LMA te verkrijgen.

Fotosynthese:

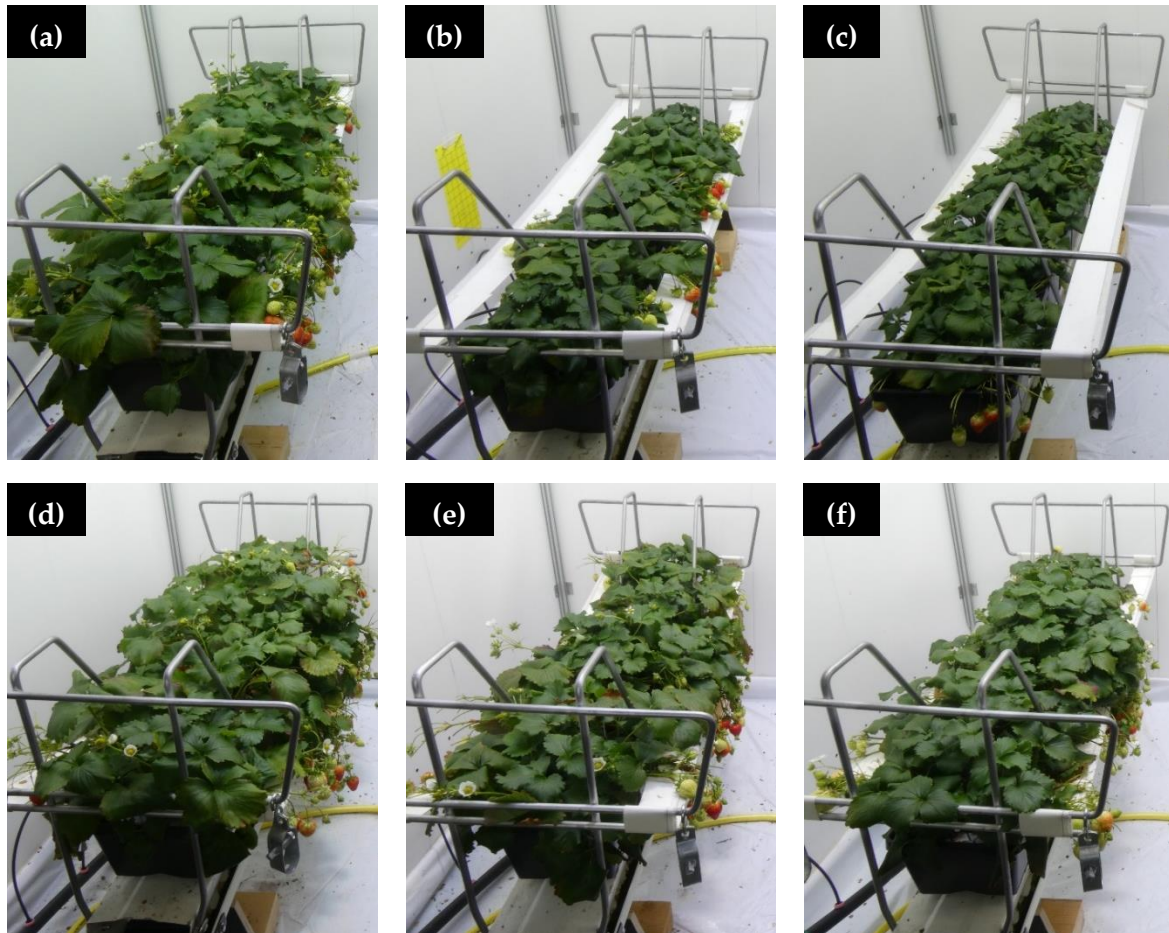
Gedurende de proef zijn op meerdere momenten fotosynthese metingen uitgevoerd om te bepalen of de bladeren goed functioneren onder de verschillende spectra. De gemeten bladeren waren relatief jong maar wel volgroeid. Als eerste zijn er lichtresponscurves gemeten voor de Favori planten op 26 en 27 januari 2021. De CO_2 -concentratie was ingesteld op 900 ppm (omgevingscondities). Vervolgens is er bij de volgende lichtintensiteiten gemeten: 0, 100, 200, 300, 500 en 700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Voor elke behandeling werd er gestreefd naar 4 herhalingen.

Vervolgens zijn er nog fotosynthese metingen gedaan voor zowel Favori en Elsanta bij een vaste lichtintensiteit van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De CO_2 -concentratie was ook nu ingesteld op 900 ppm (omgevingscondities). Voor elke behandeling werd er voor Favori gestreefd naar acht herhalingen en voor Elsanta zes herhalingen. Deze meting is op twee momenten uitgevoerd op 24 en 25 februari en op 1 april 2021.

2.2 Resultaten proefronde 1

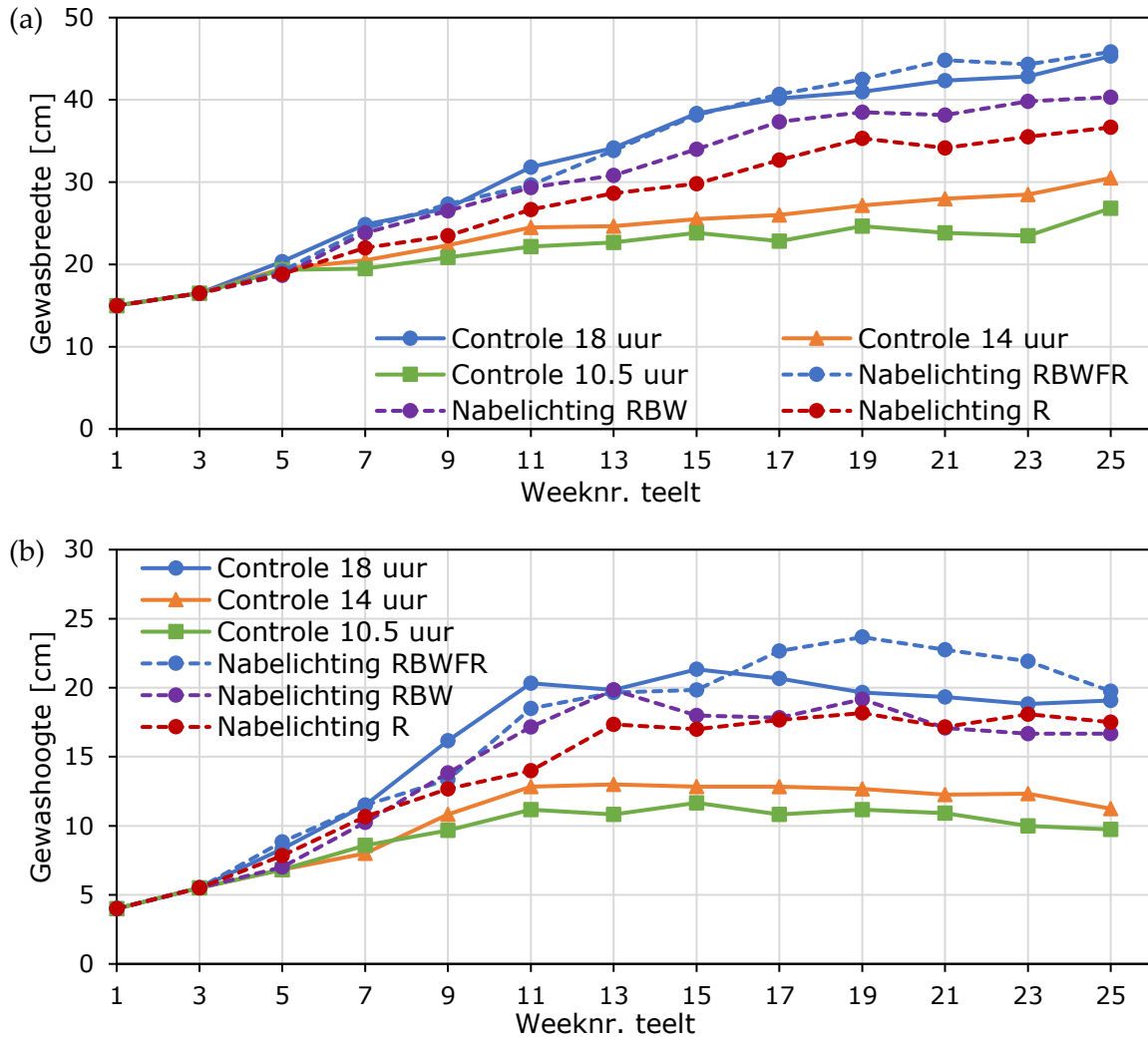
2.2.1 Favori (doordrager)

In Figuur 7 is een overzicht te zien van alle behandelingen na 26 weken teelt. Bij de Controle 18 uur (a) en de Nabelichting RBWFR (d) laten de planten de grootste strekking zien. De planten onder de behandelingen met Nabelichting RBW (e) en Nabelichting R (f) lieten iets minder strekking zien. De planten van de Controle 14 uur (b) en de Controle 10.5 (c) bleven veruit het kleinst.



Figuur 7. Favori planten na 26 weken teelt. Behandelingen zijn: (a) Controle 18 uur, (b) Controle 14 uur, (c) Controle 10.5 uur, (d) Nabelichting RBWFR, (e) Nabelichting RBW, (f) Nabelichting R.

Van alle behandelingen is de gewasbreedte en gewashoogte bepaald. Dit geeft een indicatie van bladbedekking en lichtonderschepping (Figuur 8). Deze grafieken bevestigen wat er ook in de overzichtsfoto's te zien is. Planten onder een fotoperiode van 18 uur (Controle 18 uur, Nabelichting RBWFR, RBW en R) laten de meeste strekking zien, waarbij de planten onder Nabelichting RBWFR en de Controle 18 uur het meest gestrekt zijn. De kortere fotoperiodes van 14 en 10.5 uur resulteren in veel compactere planten.



Figuur 8. Gewasbreedte (a) en gewashoogte (b) gemeten bij Favori. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.



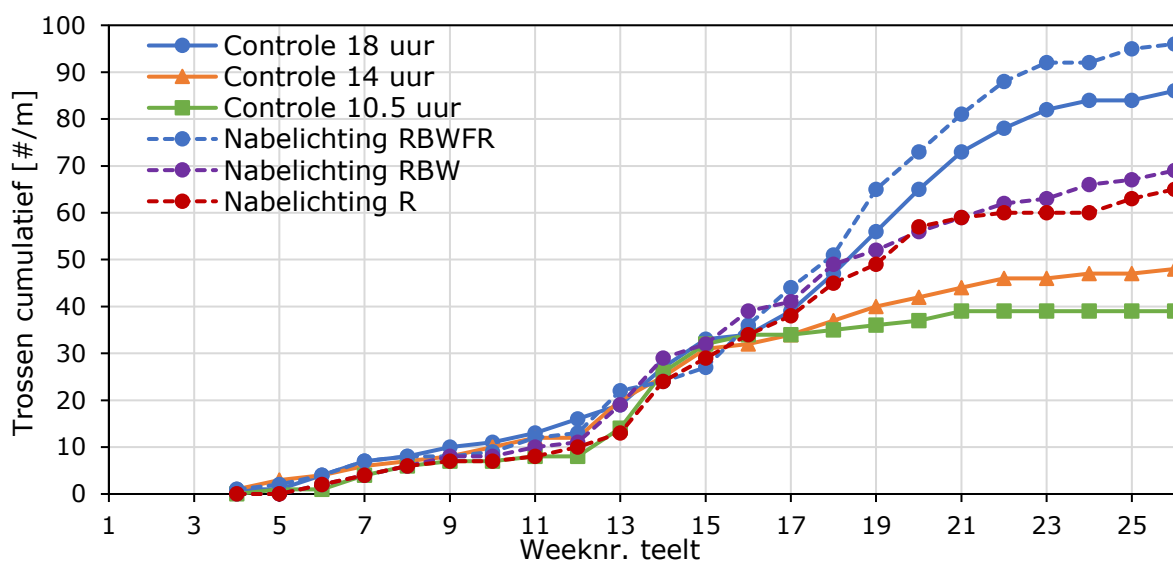
Figuur 9. Gewasbreedte van de behandelingen (a) Controle 18u en (b) Controle 10.5u. Foto's zijn gemaakt na 26 weken teelt. De witte liniaal geeft in beide foto's 50 cm weer.

Het verschil in bladbedekking wordt nogmaals duidelijk wanneer dit vanaf boven wordt bekeken (Figuur 9): De Controle 18 uur is veel breder dan de Controle 10.5 uur. Voor de aanmaak van assimilaten is de bladbedekking van groot belang voor het onderscheppen van licht. Een breder en dus meer gestrekt gewas is in staat om meer licht te onderscheppen. Dit

resulteert in een hogere aanmaak van assimilaten waardoor er dus een andere source-sinkbalans ontstaat dat ook invloed kan hebben op bloeminductie (Sønsteby *et al.* 2021b).

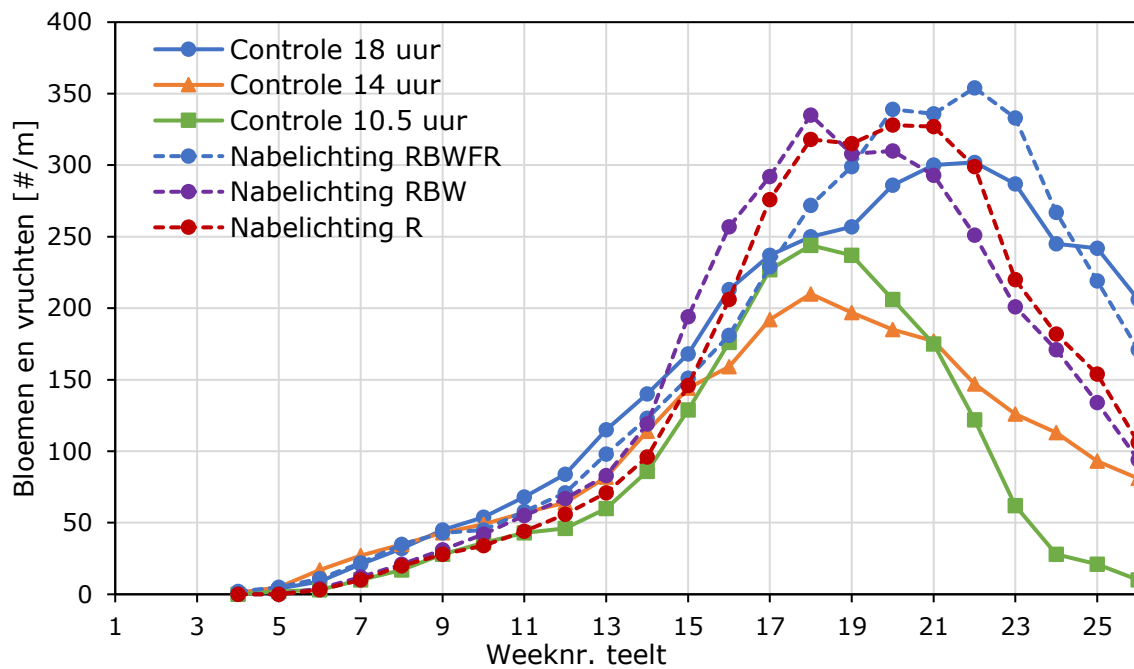
In Figuur 10 zijn het aantal cumulatieve trossen per behandeling te zien gedurende het proefverloop. In teeltweek 12 werden er 19000 groeigraaduren (GDH) behaald in de klimaatcel. Dit is volgens een vuistregel het aantal GDH van trossaanleg tot het openen van de eerste bloem. Vanaf teeltweek 12 kunnen dus trossen worden verwacht die zijn aangelegd in de klimaatcel. Na week 12 is er tot en met week 16 weinig verschil in het aantal cumulatieve trossen te zien. Vanaf week 17 beginnen de behandelingen uit elkaar te lopen.

Vervolgens ontstaat er een duidelijk verschil tussen de behandelingen. De meeste trossen zijn aangelegd onder de Nabelichting RBWFR en de Controle 18 uur. De nabelichtingsbehandelingen met RBW en R laten minder trossen zien. Veruit de minste trossen worden aangelegd bij de kortere dagen van 14 uur en 10.5 uur. Dit resultaat lijkt in eerste instantie de hypothese te bevestigen dat de doordrager *Favori* meer trossen aanlegt als de daglengte langer wordt. Ook lijkt het erop dat de plant fotoperiodisch te misleiden is door na het einde van de dag een RBW of een R spectrum aan te bieden. Deze nabelichtingsspectra laten namelijk relatief minder trossen zien, wat kan duiden op de waarneming van een kortere fotoperiode voor trosinductie. Desondanks lijkt er meer invloed te zijn op de trossaanleg dan alleen de fotoperiode of het spectrum. De behandelingen met de meeste cumulatieve trossen laten ook de meest gestrekte planten zien (zie bijvoorbeeld Figuur 8a). Lichtonderschepping van de planten lijkt hier dus een grote rol te spelen. Wanneer de planten meer licht kunnen onderscheppen, kunnen ze ook meer assimilaten aanmaken wat vervolgens ervoor zorgt dat ze minder snel overbelast zullen raken. Wanneer een aardbeienplant overbelast is, kan de ontwikkeling tijdelijk gepauzeerd worden, waardoor tijdelijk geen nieuwe trossen doorkomen. Sønsteby *et al.* (2021) concludeert ook dat een lagere assimilatenaanmaak de bloeminductie negatief beïnvloedt.



Figuur 10. Aantal cumulatieve trossen van *Favori*. Trossen zijn geteld vanaf het moment dat de eerste bloem open was. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten.

Dat alle behandelingen uiteindelijk overbelast waren, laat de grafiek van de plantbelasting duidelijk zien (Figuur 11). Alle behandelingen laten een piek in de plantbelasting zien, gevolgd door een sterke daling. Minder trossen in het geval van een kortere fotoperiode van 14 of 10.5 uur, of een Nabelichting met RBW of R, hebben er niet toe geleid dat de planten meer in balans waren. Het effect van gewasstrekking op de belastbaarheid wordt hier nogmaals bevestigd: behandelingen die als eerste een piek in belasting laten zien, waren het minst gestrekt. Een lagere lichtonderschepping lijkt er dus voor te hebben gezorgd dat de planten minder vruchten konden dragen.

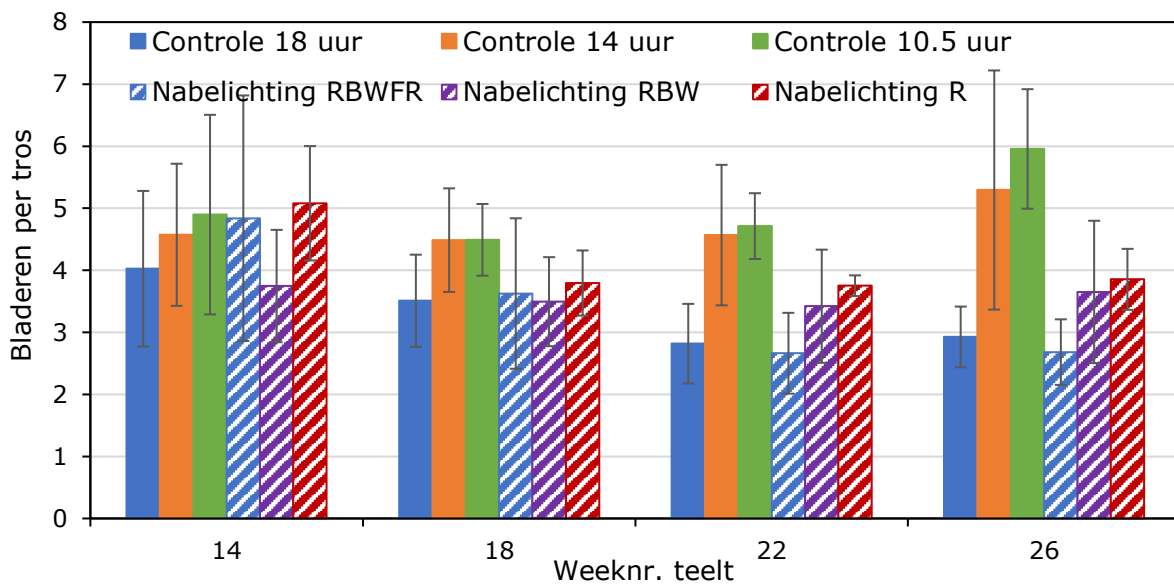


Figuur 11. Plantbelasting van Favori bestaande uit het aantal open bloemen en gezette vruchten. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten.

Het moment van pieken in plantbelasting komt bij alle behandelingen overeen met het moment dat het aantal cumulatieve trossen afvlakt. Hier valt uit te concluderen dat de behandelingen één voor één overbelast raakten met als gevolg het optreden van een pauzestand waardoor (tijdelijk) minder nieuwe trossen ontwikkelen. Een gewas dat meer gestrekt is, is in staat om relatief meer licht op te vangen waardoor de piek in plantbelasting later valt en hoger is. Dit was het geval bij Nabelichting RBWFR en Controle 18 uur.

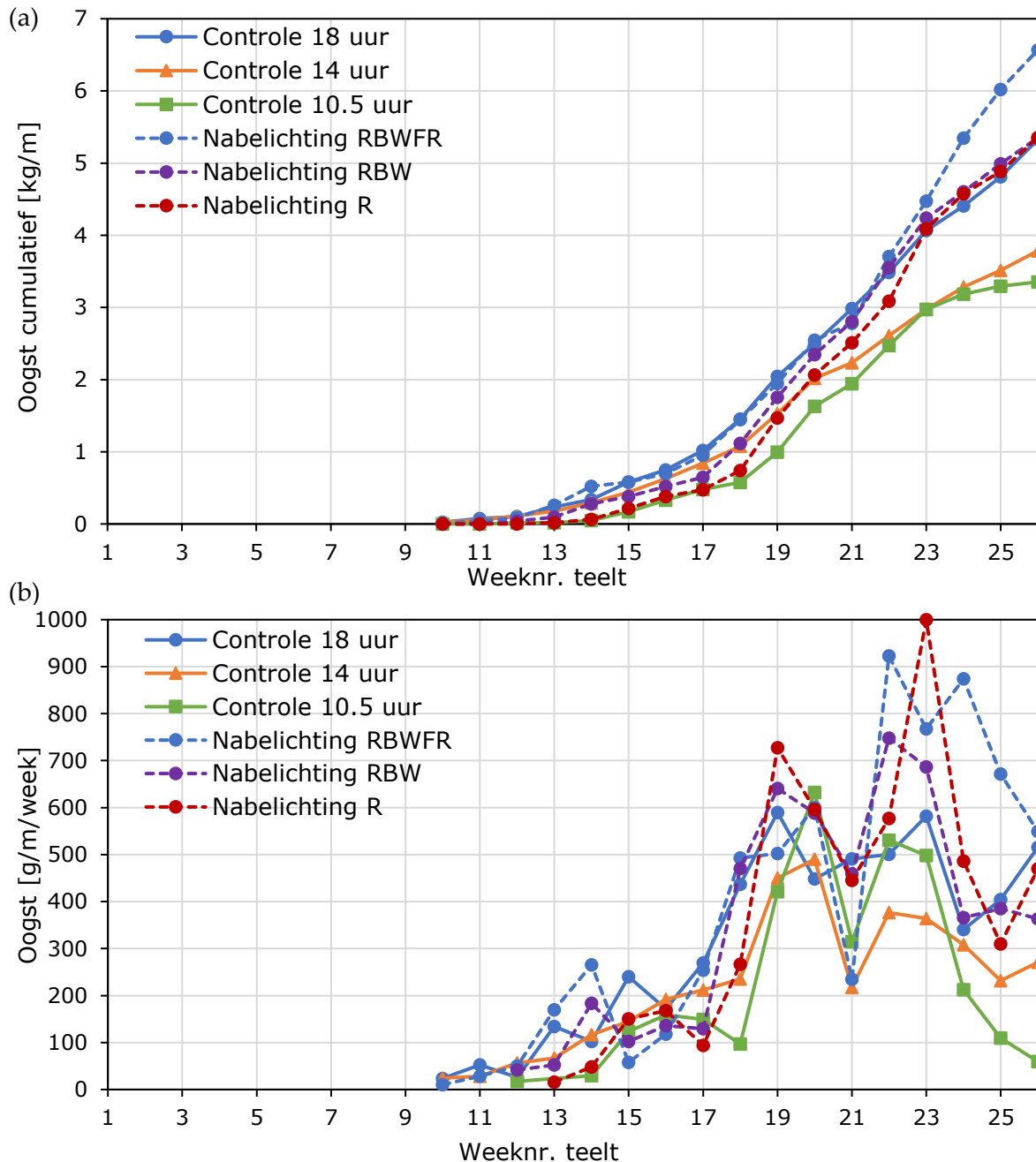
Om een aardbei in balans te telen moet de vraag en het aanbod van assimilaten op elkaar afgestemd zijn. De vraag naar assimilaten wordt grotendeels bepaald door de vruchten. Om hier controle over te hebben zijn drie punten van belang: de tros grootte, het aantal neuzen, en het aantal bladeren per tros. Deze drie punten bepalen samen uiteindelijk het aantal trossen en vruchten. Als er over één van deze drie punten geen controle is of mogelijk is, zal de plant op een bepaald moment overbelast raken. Om dit moment zo ver mogelijk uit te stellen, is sturen op een maximale strekking zinvol.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1.3.1 worden er bij een doordrager (lange dag plant) onder een lange dag minder bladeren gevormd onder de eerste tros dan onder een kortere dag (Sønsteby en Heide, 2007). Door het cumulatief aantal trossen te delen door het cumulatief aantal bladeren wordt een indicatie verkregen of dit bij Favori ook het geval is. Dit wordt weergegeven in Figuur 12. Te zien is dat, naarmate de proef voortduurt, er relatief meer bladeren per tros ontwikkelen onder de korte dagen. Rond week 14 zouden er nog nauwelijks verschillen moeten zijn omdat er dan nog nauwelijks trossen zijn die in de proef zijn geïnduceerd. Meer bladeren per tros zouden moeten zorgen voor een rustigere opbouw in plantbelasting waardoor de plant minder snel overbelast raakt mits dit niet wordt gecompenseerd door een grotere ontwikkeling van zijkronen of doodbloeiërs (zie ook hoofdstuk 1.3.1). Aangezien het aantal bladeren per opvolgende kroon niet kon worden vastgesteld, is dit figuur niet meer dan een indicatie.



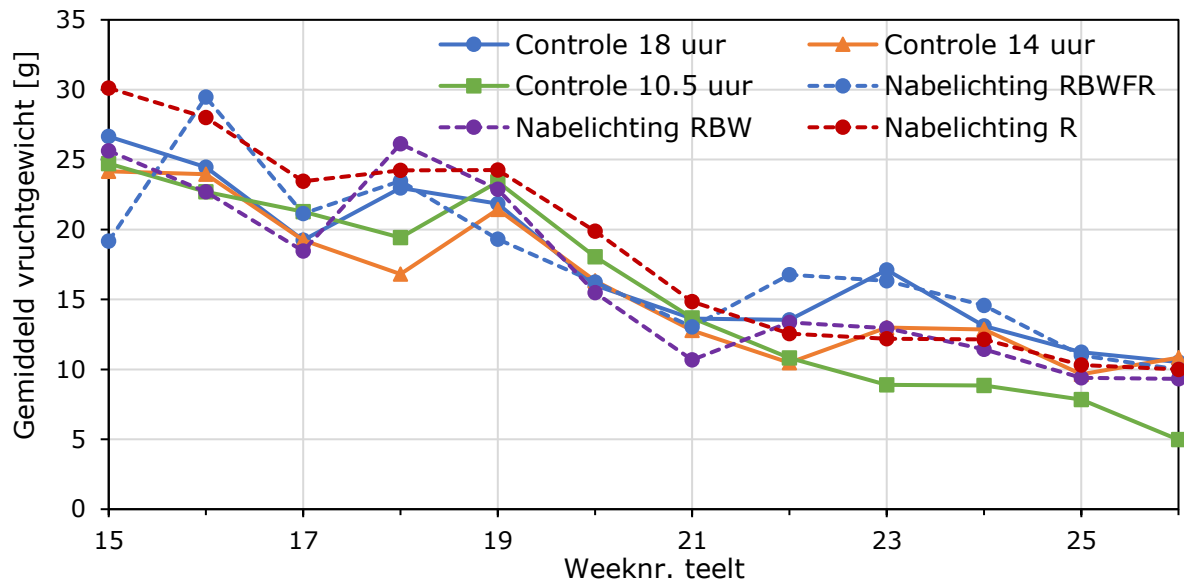
Figuur 12. Cumulatief aantal bladeren per cumulatief aantal trossen voor Favori gedurende het verloop van de teelt. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten. Foutenbalkjes geven de standaarddeviatie weer.

De cumulatieve oogst was het laagst voor de Controle 14 en 10.5 uur (Figuur 13a). Dit waren ook de behandelingen die het minst gestrekt waren (Figuur 8) en als eerste een piek in plantbelasting lieten zien (Figuur 11). Nabelichten met RBWFR gaf veruit de hoogste oogst, wat verklaard wordt door het hoge aantal cumulatieve trossen en ook de hoogste piek in plantbelasting. De behandelingen Controle 18 uur, Nabelichting RBW en Nabelichting R hadden alle drie eenzelfde cumulatieve oogst. De oogst per week (Figuur 13b) laat duidelijke pieken zien, de planten waren dus duidelijk uit balans.



Figuur 13. Cumulatieve oogst van Favori (a). Oogst per week van Favori (b). Waarden per strekkende meter zijn de som van 6 planten.

Op het moment dat het aanbod van assimilaten is afgestemd op de vraag, zal een plant hoogstwaarschijnlijk in staat zijn om de plantbelasting te kunnen handhaven. Ook zal dan het vruchtgewicht enigszins constant blijven over de tijd. Dit was echter ook niet het geval (zie Figuur 14). Gedurende de proef nam het gemiddelde vruchtgewicht af over de tijd. Dit bevestigt nogmaals dat alle behandelingen overbelast waren. De behandelingen met minder cumulatieve trossen (10.5 en 14 uur), waren net zo goed overbelast.



Figuur 14. Gemiddeld vruchtgewicht gedurende de teelt van Favori. Waarden zijn het gemiddelde van minimaal 3 vruchten.

Aan het einde van de proef vond een eindoogst plaats (Tabel 4). Een aantal resultaten worden hieronder besproken:

- De meest gestrekte behandelingen hadden ook het hoogste versgewicht aan bladeren.
- Ondanks dat het versgewicht van de bladeren verschilde tussen de behandelingen, was er geen verschil in het aantal bladeren per plant op moment van eindoogst. Ook het aantal neuzen per plant en aantal bladeren per neus verschilde nauwelijks. Het moment waarop de neuzen ontwikkeld zijn, is echter niet bekend.
- De LMA, leaf mass per area, was het hoogst voor de korte daglengtes (14 en 10.5 uur). Dit betekent dat de bladeren dikker waren in deze behandelingen. Dit duidt op (eco)dormancy.
- Alle behandelingen hadden ongeopende bloemknoppen, behalve de Controle 10.5 uur. Daarnaast had de behandeling Nabelichting RBWFR het minste aantal nieuwe trossen zonder geopende bloem. Dit kan erop duiden dat deze behandeling in een diep dal zou komen.

Extra data op basis van de gehele proef is ook weergegeven in Tabel 4. Het valt o.a. op dat:

- De trosgrootte verschilde met 1-2 vruchten tussen de behandelingen. De behandelingen met een lager aantal cumulatieve trossen (Controle 14 en 10.5 uur, Nabelichting RBW en R) hadden iets meer vruchten per tros.

Tabel 4. Eind oogst proefronde 1 van alle Favori planten. Waarden zijn gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=6). Waarden per strekkende meter zijn de som van 6 planten. Extra data gebaseerd op de gehele proef zijn onderaan in deze tabel weergegeven.

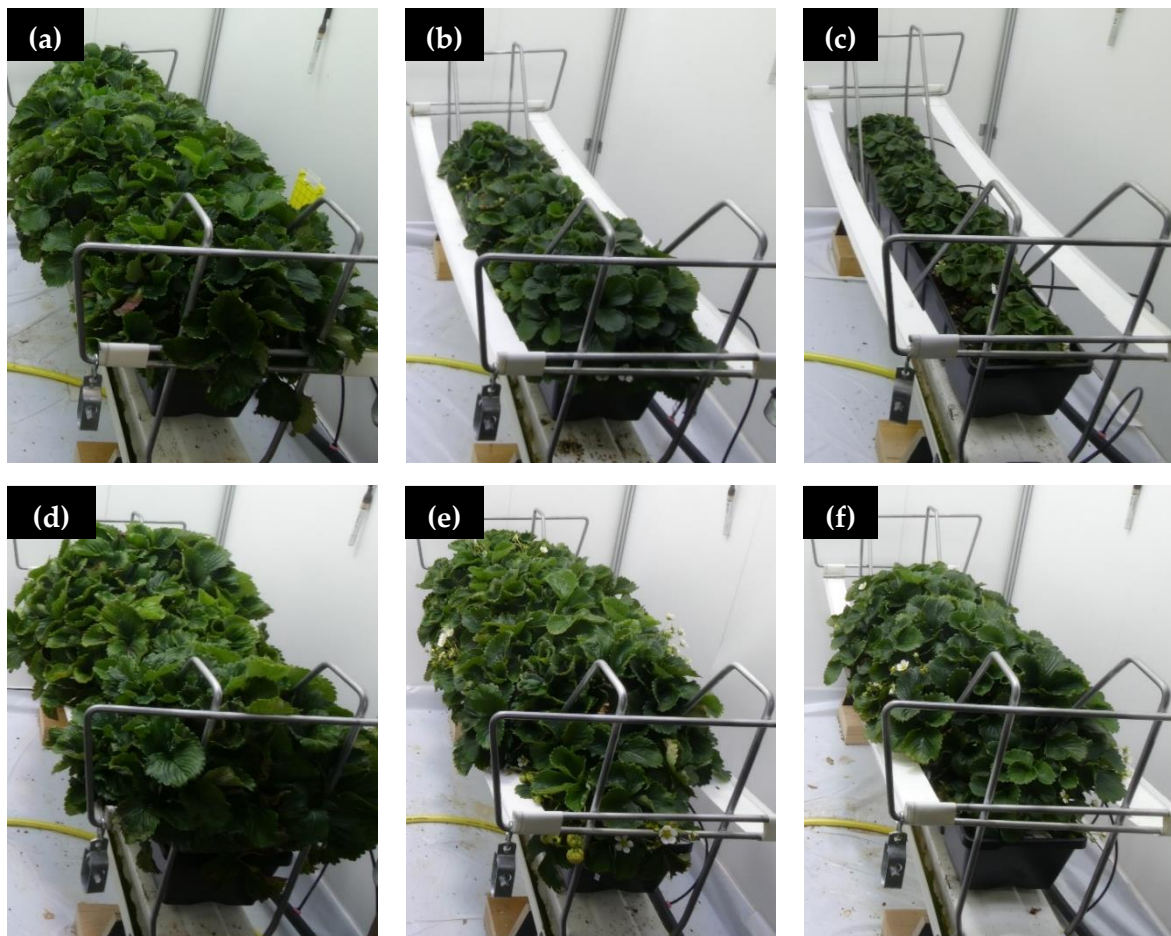
<i>Eind oogst</i>						
	<i>Controle 18u</i>	<i>Controle 14u</i>	<i>Controle 10.5u</i>	<i>Nabelichting RBWFR</i>	<i>Nabelichting RBW</i>	<i>Nabelichting R</i>
Bladeren versgewicht [g/plant]	98 (28)	69 (17)	60 (13)	107 (30)	94 (36)	86 (22)
Aantal bladeren [#/plant]	35 (11)	36 (9)	35 (5)	36 (11)	34 (11)	33 (8)
Aantal neuzen [#/plant]	3.7 (1.0)	4.5 (1.8)	4.0 (0.9)	4.2 (1.5)	4.2 (1.3)	4.2 (1.2)
Bladeren per neus	9.6 (1.8)	8.3 (1.1)	8.9 (1.7)	8.9 (2.1)	8.4 (1.4)	8.1 (0.9)
LMA [g/m ²] *	58 (7)	80 (6)	87 (7)	65 (6)	65 (8)	71 (6)
Aantal ongeopende bloemknoppen [#/m]	17	14	0	13	20	9
Trossen zonder open bloem [#m]	11	15	11	2	16	8
<i>Waarden gebaseerd op de gehele proef</i>						
Cumulatief aantal bladeren [#m]	252	242	227	255	243	251
Cumulatief aantal trossen [#m]	86	48	39	96	69	65
Cumulatief geogste vruchten [#m] **	339	261	258	423	377	364
Bladeren per tros	2.9 (0.5)	5.3 (1.9)	6.0 (1.0)	2.7 (0.5)	3.7 (1.1)	3.9 (0.5)
Vruchten per tros	7.3 (0.9)	8.8 (1.4)	8.4 (0.9)	6.8 (0.7)	8.0 (0.7)	8.5 (0.9)
Tros lengte [cm]	19.8 (4.9)	13.2 (3.5)	13.1 (3.1)	20.4 (5.3)	18.8 (4.4)	15.9 (4.4)
Vruchtuitgroei- duur [GDH]	10194 (694)	10976 (684)	11633 (520)	10185 (636)	10159 (595)	10745 (642)

* Enkel bladschijf

** Vruchten met een zeer slechte zetting (afval) zijn niet meegeteld.

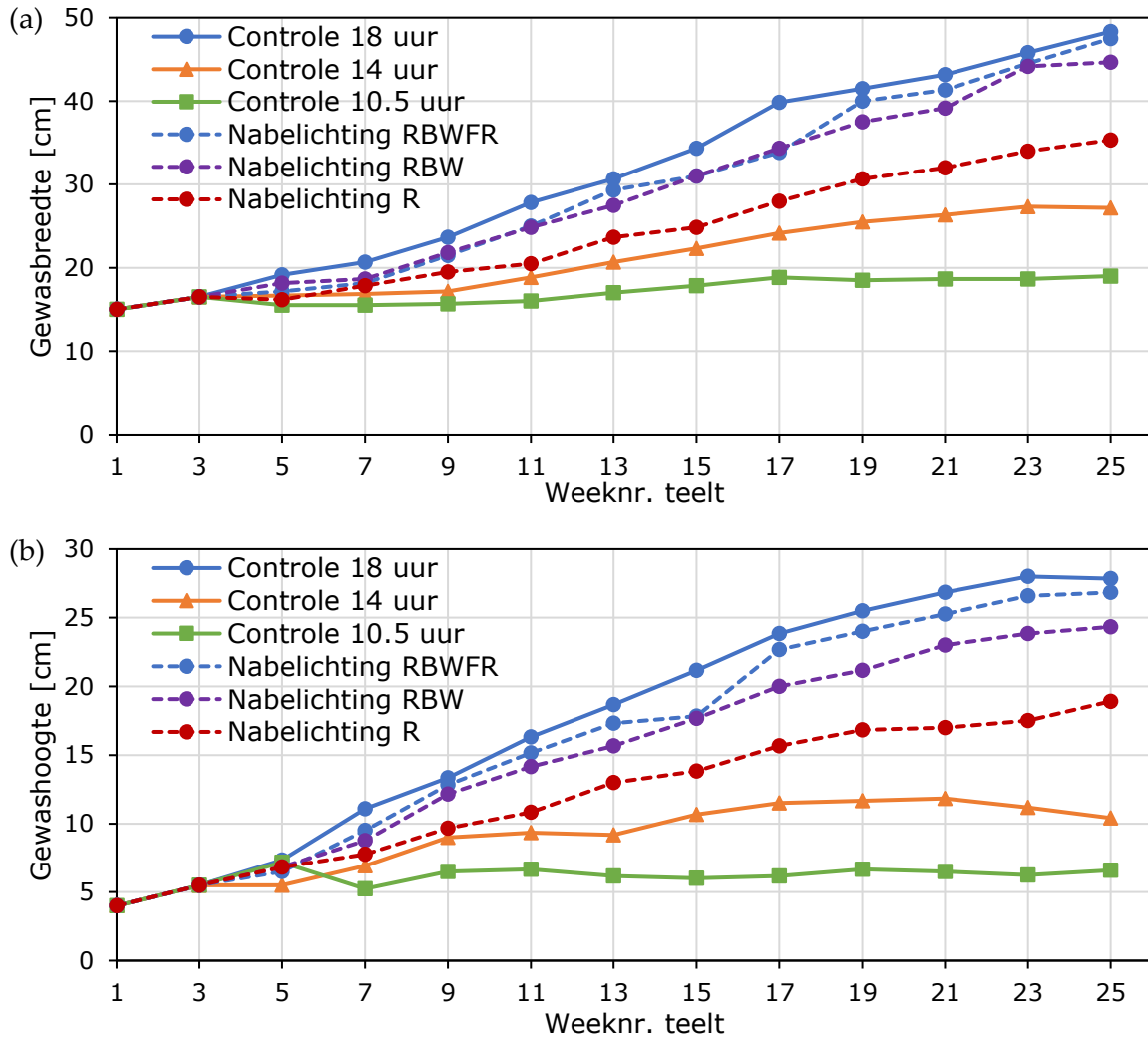
2.2.2 Elsanta (junidrager)

In Figuur 15 is een overzicht te zien van de Elsanta planten na 26 weken teelt. Ook hier zijn grote verschillen tussen de verschillende behandelingen te zien. De behandelingen met een kortere fotoperiode (Controle 14 en 10.5 uur) laten een erg compact gewas zien. Dit suggereert (eco)dormancy. Het gewas was echter niet volledig dormant, omdat er wel trosinductie plaats vond. Deze trossen waren echter slecht gestrekt en zijn daarom niet te zien op de foto's. Verder waren de planten onder een langere fotoperiode van 18 uur (Controle 18 uur en Nabelichting RBWFR, RBW en R) een stuk meer gestrekt. Bij geen van de behandelingen zijn er ranken waargenomen gedurende de proef.



Figuur 15. Elsanta planten na 26 weken teelt. Behandelingen zijn: (a) Controle 18 uur, (b) Controle 14uur, (c) Controle 10.5 uur, (d) Nabelichting RBWFR, (e) Nabelichting RBW, (f) Nabelichting R.

De metingen van gewasbreedte en gewashoogte (Figuur 16) laten duidelijk zien dat de Controle 10.5 uur en de Controle 14 uur nauwelijks zijn toegenomen in grootte gedurende de proef. Net als bij de Favori, zijn de Elsanta planten het meest gestrekt onder de Controle 18 uur en de Nabelichting RBWFR, gevolgd door de planten onder de Nabelichting RBW en de Nabelichting R.

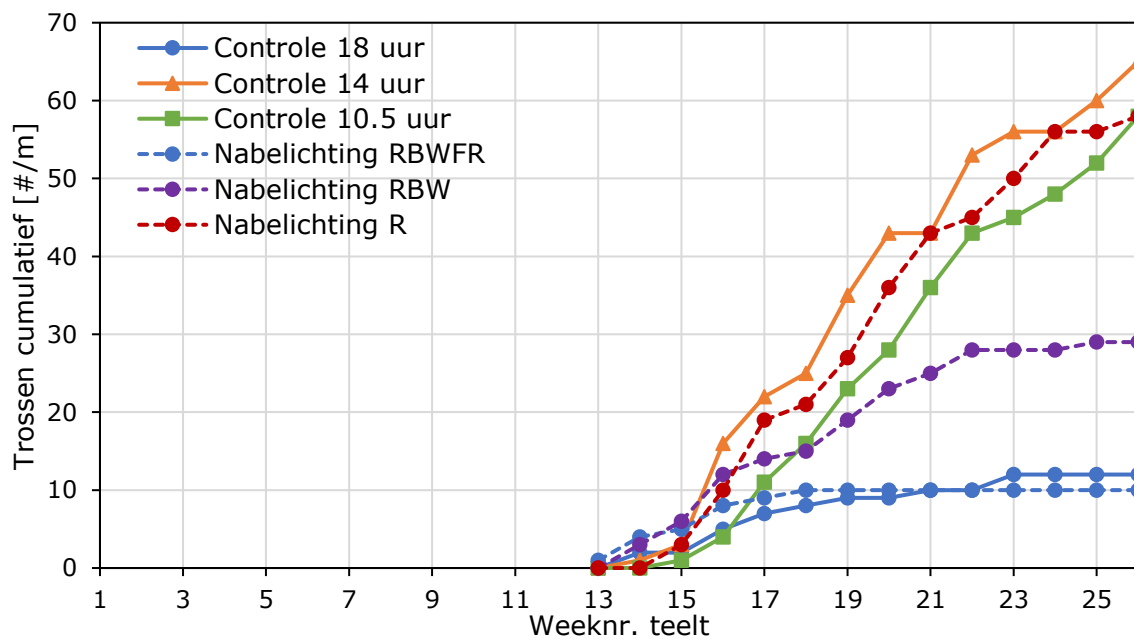


Figuur 16. Gewasbreedte (a) en gewashoogte (b) gemeten bij Elsanta. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.

Voor Elsanta is er een duidelijk verschil in het aantal cumulatieve trossen (Figuur 17). De behandelingen Controle 18 uur en Nabelichting RBWFR laten het laagste aantal trossen zien. Ook neemt het aantal trossen nauwelijks meer toe na teeltweek 19. Dit bevestigt de hypothese dat een junidrager geen trossen aanlegt onder een lange dag. Voor de korte daglengtes Controle 14 uur en 10.5 uur werden er relatief veel trossen waargenomen. Dit komt overeen met het feit dat Elsanta een (kwantitatieve) korte dag plant is.

Daarnaast laat de behandeling Nabelichting R ongeveer evenveel trossen zien als de Controle 14 en 10.5 uur. Dit bevestigt de hypothese dat aan het eind van de dag belichten met alleen rood licht wordt gezien als een korte fotoperiode voor trosinductie. Daarentegen ontvangt de plant een lange fotoperiode van 18 uur voor de assimilatie. De trosinductie wordt door deze manier van belichten niet gestopt onder een lange fotoperiode, omdat de plant voor bloei wel een korte dag waarneemt. De junidrager Elsanta kan dus fotoperiodisch worden misleid met puur rood licht na het einde van de dag.

Nabelichten met een RBW-spectrum laat de helft van het aantal trossen zien vergeleken met het nabelichten met een R-spectrum. Bij dit spectrum lijkt een junidrager dus niet volledig fotoperiodisch te misleiden. Nadere analyse van de data liet zien dat de helft van de planten vegetatief bleef en de andere helft generatief was. Na week 22 nam het aantal cumulatieve trossen nog nauwelijks toe, wat er op kan wijzen dat de drie nog generatieve planten ook zijn gestopt met het induceren van trossen. Al met al is de behandeling Nabelichting R een stuk succesvoller in het fotoperiodisch misleiden van de junidrager dan de Nabelichting RBW. Mogelijk speelt cryptochroom (blauw licht receptor) een rol in het waarnemen van daglengte onder RBW.



Figuur 17. Aantal cumulatieve trossen van Elsanta. Trossen zijn geteld vanaf het moment dat de eerste bloem open was. Aantallen per strekken meter zijn de som van 6 planten. Eerste trossen zijn verwijderd totdat er 19000 GDH waren behaald in de proef (vuistregel: 19000 GDH tussen trosinductie en bloei van eerste bloem).

Helaas zijn er van Elsanta geen vruchten geoogst, omdat de meeste vruchtjes versteenden. Dit had verschillende redenen. Ten eerste was de zetting van de vruchten ondermaats, mogelijk mede door het ontbreken van bevlieging in de klimaatcel. Bloemtrossen werden getrild met behulp van een elektrische tandenborstel om de zetting te bevorderen, maar dit bleek niet voldoende te zijn. Ook hadden de Elsanta planten veel last van meeldauw, die vervolgens ook de vruchten aantastte.

Net als bij de doordrager Favori waren er ook bij de junidrager Elsanta grote verschillen in strekking tussen de verschillende behandelingen. Echter heeft dit verschil in strekking veel minder invloed gehad op de trosinductie dan het geval lijkt te zijn bij Favori. Bij Elsanta hadden de behandelingen met de minste bladbedekking (Controle 10.5 en 14 uur) juist het hoogste aantal cumulatieve trossen doordat bij 18 uur daglengte de trosinductie stopte; tevens had trosinductie slechts beperkt effect op de plantbelasting door de verstening van de vruchten: Hierdoor bleef waarschijnlijk de bijbehorende sinksterkte fors achter.

Tabel 5. Eind oogst proefronde 1 van alle Elsanta planten. Waarden zijn gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=6). Waarden per meter zijn de som van 6 planten. Trossen <20mm, stadium ≤9 zijn nog niet volledig ontwikkeld en bevinden zich nog in de plant. Deze trossen zijn door middel van een bloemonderzoek geteld. Extra data gebaseerd op de gehele proef zijn onderaan in deze tabel weergegeven.

	Controle 18u	Controle 14u	Controle 10.5u	Nabelichting RBWFR	Nabelichting RBW	Nabelichting R
Bladeren versgewicht [g/plant]	347 (159)	90 (60)	38 (13)	344 (241)	288 (124)	165 (103)
Aantal bladeren [#/plant]	82 (32)	38 (21)	31 (9)	68 (36)	66 (22)	45 (16)
Aantal neuzen [#/plant]	11.3 (3.3)	4.7 (3.7)	3.5 (1.4)	8.8 (4.5)	7.2 (2.5)	4.5 (0.8)
Bladeren per neus	7.1 (1.2)	8.9 (1.5)	9.2 (1.4)	7.5 (0.5)	9.4 (1.5)	10.0 (3.4)
Trossen zonder open bloem [#m]	0	12	7	0	3	9
Trossen van stadium ≤9 [#/plant] *	0	11.3 (2.1)	8.0 (2.6)	0	1.3 (1.5)	9.0 (4.6)
Waarden gebaseerd op gehele proef						
Cumulatief aantal bladeren [#m]	603	287	240	491	472	341
Cumulatief aantal trossen [#m]	12	65	58	10	29	58
Bladeren per tros **	61.9 (53.8)	4.1 (0.3)	3.7 (0.7)	46.5 (53.3)	18.2 (13.0)	5.2 (1.4)
Tros lengte [cm]	12.9 (2.4)	7.5 (2.0)	5.0 (0.6)	13.2 (1.8)	11.0 (2.5)	8.8 (2.4)

* n=3 via bloemonderzoek

** Bladeren per tros is een gemiddelde van het cumulatief aantal bladeren gedeeld door het cumulatief aantal trossen aan het einde van de proef. De eerste trossen, die zijn verwijderd gedurende de eerste 19000 GDH, zijn meegenomen in deze berekening.

Aan het einde van de proef heeft er een eind oogst plaats gevonden (Tabel 5). Een aantal resultaten worden hieronder besproken:

- Behandelingen met het hoogste aantal trossen (Controle 14 uur, Controle 10.5 uur en Nabelichting R) hadden de minste bladmassa, het laagste aantal bladeren per plant en ook de minste neuzen. Daarnaast was het aantal bladeren per tros duidelijk lager dan bij de andere behandelingen. Deze behandelingen waren dus duidelijk generatief. Dit wordt nogmaals bevestigd door het hogere aantal trossen zonder open bloem en het aantal trossen geteld tijdens het bloemonderzoek (trossen kleiner dan 20mm, ≤9).
- De behandelingen met het minste aantal cumulatieve trossen (Controle 18 uur en Nabelichting RBWFR) hadden ook geen nieuwe trossen zonder open bloem. Tijdens het bloemonderzoek werden er voor deze behandelingen ook geen trossen waargenomen. Dit bevestigt nogmaals dat deze behandelingen stopten met het induceren van trossen.
- Bij de behandeling Nabelichting RBW nam het aantal cumulatieve trossen nauwelijks meer toe na teeltweek 22 (Figuur 17). Het lijkt erop dat de planten grotendeels stopten

met het induceren van trossen. Het relatief lage aantal trossen zonder open bloem en het lage aantal trossen geteld in het bloemonderzoek lijkt dit te bevestigen.

2.2.3 Fotosynthese

Gedurende de proef zijn er een aantal keer fotosynthese metingen uitgevoerd om te bepalen of de bladeren gezond functioneren onder de verschillende lichtspectra. Bij andere experimenten heeft de ervaring geleerd dat er problemen op kunnen treden met de fotosynthese wanneer een lange fotoperiode wordt gecombineerd met spectraal arm licht (bijvoorbeeld puur rood of puur rood/blauw). In de praktijk gemeten gezonde waarden bij aardbei zijn een CO₂ opname van 12-13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en een lichtefficiëntie (ΦPSII) van 0.7 bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.

In Tabel 6 worden de verschillende fotosynthese parameters gemeten voor zowel Favori als Elsanta weergegeven. Het valt op bij Favori dat alle behandelingen die een fotoperiode van 18 uur krijgen aangeboden (Controle 18 uur, Nabelichting RBWFR, RBW en R) een lichtefficiëntie (ΦPSII) van minder dan 0.6 hebben. Dit kan duiden op schade aan het fotosynthese-systeem. Ook is de netto CO₂-opname een stuk lager bij deze vier behandelingen, terwijl de huidmondjesopening (G_{sw}) wel overal goed was. Mogelijk heeft ook het moment van meten invloed: tijdens en kort na de oogstpiek gaat de bladkwaliteit visueel achteruit. Tevens hadden de 10.5 en 14-uurs behandeling voelbaar robuuster blad (kleiner en dikker). Dit komt onder andere tot uiting in een fors hogere LMA (Tabel 4).

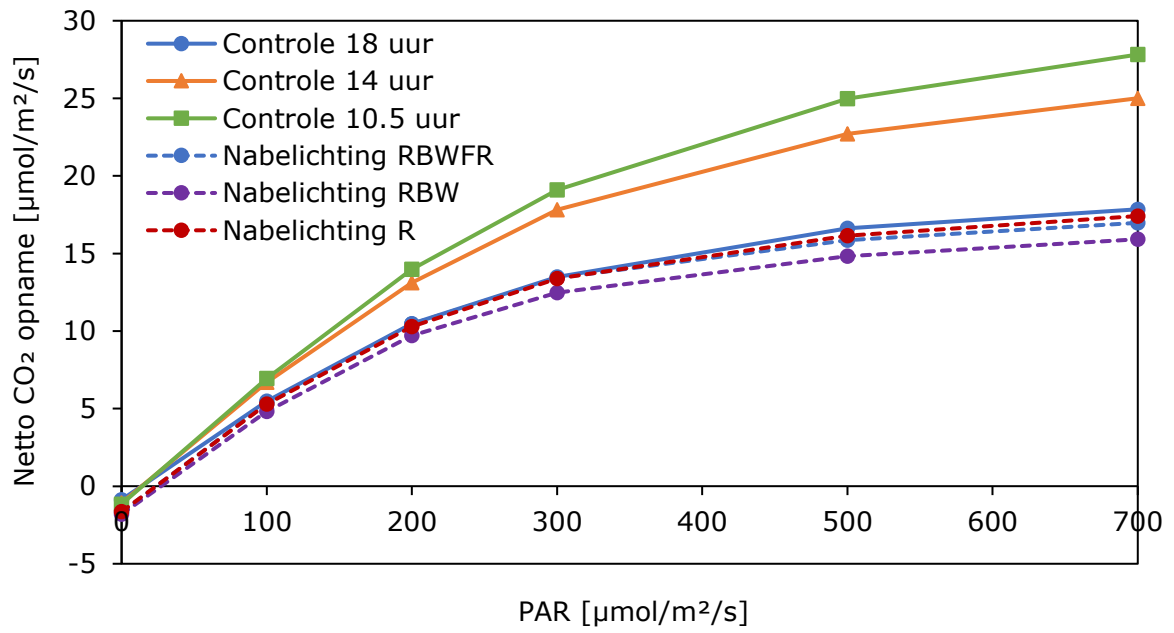
Daarentegen heeft Elsanta voor alle behandelingen eenzelfde waarde voor de ΦPSII . Alle waarden liggen rond de 0.7 wat erop duidt dat de fotosynthese goed functioneert. Ook ligt voor alle behandelingen de CO₂-opname (A) boven de 12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Het valt op dat de Controle 10.5 en 14 uur een iets hogere CO₂-opname hebben. Dit kan worden verklaard doordat bij deze behandelingen een hogere intensiteit wordt aangeboden om de lichtsom per dag gelijk te houden: deze behandelingen hadden net als Favori voelbaar robuuster blad wat als teken van (beginnende) dormancy beschouwd kan worden. Mogelijk ligt de verklaring ook deels in de hogere G_{sw} -waarde voor deze twee behandelingen.

Tabel 6. Fotosynthese-parameters gemeten voor jong volgroeide bladeren. Metingen zijn uitgevoerd bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Waarden zijn gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie. Het aantal herhalingen per behandeling staat in kolom "n". A = netto CO_2 opname [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]. ETR = elektronen transport snelheid [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]. ΦPSII = efficiëntie van fotosysteem II [-]. G_{sw} = huidmondjesgeleiding [$\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$].

Ras	Behandeling	A	ETR	ΦPSII	G_{sw}	n
Favori	Controle 18u	10.3 (1.1)	49 (4)	0.56 (0.05)	0.29 (0.03)	10
	Controle 14u	11.8 (1.1)	56 (2)	0.64 (0.03)	0.27 (0.04)	9
	Controle 10.5u	12.9 (0.3)	60 (1)	0.69 (0.01)	0.31 (0.04)	8
	Nabelichting RBWFR	10.7 (0.9)	52 (4)	0.59 (0.05)	0.30 (0.03)	8
	Nabelichting RBW	10.8 (1.1)	51 (5)	0.58 (0.06)	0.26 (0.06)	13
	Nabelichting R	10.9 (1.1)	51 (5)	0.59 (0.06)	0.34 (0.06)	7
Elsanta	Controle 18u	12.8 (0.6)	62 (1)	0.71 (0.01)	0.20 (0.06)	6
	Controle 14u	13.3 (0.5)	63 (1)	0.72 (0.01)	0.25 (0.03)	6
	Controle 10.5u	13.3 (0.5)	64 (1)	0.73 (0.01)	0.28 (0.03)	3
	Nabelichting RBWFR	12.2 (0.7)	60 (1)	0.68 (0.01)	0.17 (0.03)	6
	Nabelichting RBW	12.1 (0.8)	62 (1)	0.70 (0.01)	0.15 (0.04)	6
	Nabelichting R	12.6 (0.8)	62 (1)	0.71 (0.01)	0.18 (0.05)	6

In Figuur 18 zijn lichtresponscurves van Favori te zien. Deze grafiek geeft voor verschillende lichtintensiteiten de CO_2 -opname weer. Er is een duidelijk scheiding te zien tussen de behandelingen met een kortere fotoperiode van 10.5 en 14 uur en met een langere fotoperiode van 18 uur. Deels kan dit komen doordat de lichtintensiteit onder 10.5 en 14 uur hoger lag: robuustere bladeren met hogere LMA (Tabel 4). Echter, al bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is dit verschil in de CO_2 -opname zichtbaar, wat juist (enige) schade suggereert. Dit kan veroorzaakt zijn doordat tijdens het moment van meten de meeste behandelingen overbelast waren en dit moment van overbelasting voor 10.5 en 14 uur al achter de rug was.

De vraag blijft of er schade is aan het fotosysteem en of dit is veroorzaakt door met een fotoperiode van 18 uur te belichten. Zoals gezegd is bij de behandelingen met een kortere fotoperiode er gecompenseerd voor de lichtsom door een hogere lichtintensiteit aan te bieden. Dit betekent echter ook dat het effect van intensiteit en fotoperiode formeel niet te onderscheiden is. Al met al kunnen er geen harde conclusies getrokken worden over het effect van 18 uur belichten op het functioneren van de fotosynthese. Daarom is in proefronde 2 de fotosynthese een aantal keer gemeten net voor de lichtintensiteit naar een hogere stap ging.



Figuur 18. Lichtrespons van de fotosynthese gemeten bij Favori planten. De netto CO_2 -opname is het gemiddelde van 4 planten.

2.3 Conclusies proefronde 1

Dit onderzoek startte met de volgende hoofdvraag: Kan assimilatie gescheiden worden van de trosinductie? Deze vraag wordt voor beide rassen puntsgewijs beantwoord.

Conclusies doordrager Favori:

- Er vond onder een kortere dag minder trosaanleg plaats dan onder een 18-uurs dag. Dit lijkt echter meer gekoppeld te zijn aan het effect van daglengte op strekking en dus lichtonderschepping en gewasfotosynthese.
- Ook onder fotoperiodische misleiding (Nabelichting R of RWB) vond er uiteindelijk fors minder trosaanleg plaats dan onder de Controle 18 uur. Echter ook hier speelt mindere strekking en lichtonderschepping (gewasfotosynthese) een rol. De verminderde trosaanleg vond namelijk pas na proefweek 18 plaats. Dit is na de piek in plantbelasting (Figuur 10 en Figuur 11). Ook was de gemiddelde trosgrootte groter (Tabel 4) waardoor de piek in plantbelasting eerder en niet lager lag dan die van de Controle 18 uur (Figuur 11).
- Doordat de strekking zo verschilde tussen de behandelingen kan er geen zuiver antwoord worden gegeven op de onderzoeksvraag. Wel geeft de blad/trosverhouding een indicatie dat een kortere dag en fotoperiodische misleiding sturen op een tragere inductie per kroon (Figuur 12).
- Om een doordrager in balans te kunnen telen moet het aanbod van assimilaten zijn afgestemd op de vraag naar assimilaten. De vraag naar assimilaten wordt bepaald door het aantal neuzen, het aantal bladeren per tros, maar ook de trosgrootte. Controle over al deze drie punten is dan noodzakelijk.
- Als het niet lukt om al deze drie punten te controleren, dan wordt de plant uiteindelijk altijd overbelast. Om dit moment van overbelasting zo lang mogelijk uit te stellen, moet de strekking van de plant worden gemaximaliseerd. De lichtonderschepping wordt dan vergroot wat ervoor zorgt dat het aanbod van assimilaten ook hoger is. Het verbeteren van de strekking was een doelstelling voor proefronde 2.

Conclusies junidrager Elsanta:

- Bij Elsanta is een duidelijk effect van daglengte te zien op de aanleg van het aantal trossen. Bij een daglengte van 10.5 en 14 uur blijft Elsanta trossen aanleggen, terwijl Elsanta bij een daglengte van 18 uur stopt met het aanleggen van trossen.
- Elsanta is ook fotoperiodisch te misleiden. Door na de dag enkel rood licht aan te bieden, blijft de plant in trosaanleg, terwijl er toch een fotoperiode van totaal 18 uur wordt aangeboden. In dit geval wordt er voor de trosinductie een kortere dag waargenomen, maar voor fotosynthese een lange dag.
- De strekking bleef wel achter bij de succesvolle behandeling die met rood werd nabelicht. In proefronde 2 werd beoogd om de strekking te verbeteren.

3 Ronde 2: Fotoperiodische misleiding en strekking

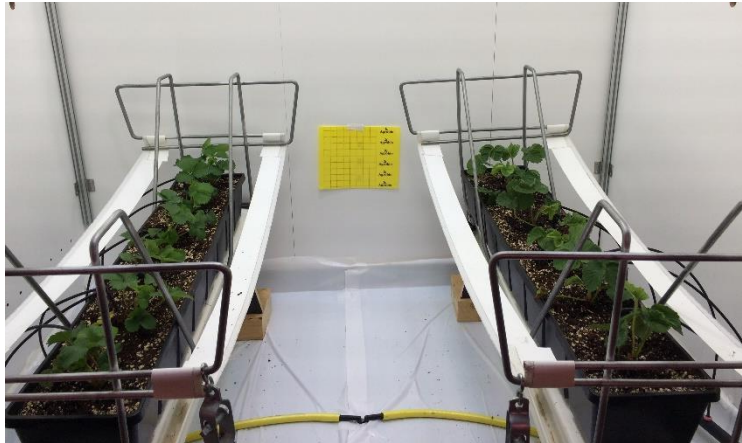
Dit onderzoek startte met de volgende hoofdvraag: Kan assimilatie gescheiden worden van trosinductie met behoud van gewasstrekking? Hiervoor is de trosinductie en strekking van een doordragende aardbei (Favori) en een junidragende aardbei (Sonsation) onderzocht bij twee verschillende daglengtes en lichtspectra om te sturen op strekking (inzet Wit-FR dat resulteert in een lagere PSS). Tevens werd de succesvolle fotoperiodische misleiding door de nabelichting met enkel rood licht van ronde 1 opnieuw toegepast met en zonder nabelichting met puur verrood (EOD-FR). Als basis werd het best strekkende spectrum uit ronde 1 gekozen: RBWFR. Planten werden voor 31-33 weken geteeld in een klimaatcel. De planten bevonden zich onder gesimuleerde wintercondities. In totaal werden er zes verschillende lichtbehandelingen getest.

3.1 Materiaal en methoden proefronde 2

3.1.1 Plantmateriaal

Stekken van de rassen Favori en Sonsation zijn grotendeels opgekweekt bij Van der Avoird Trayplant. Favori is gestekt op 18 januari 2021 bij Flevoberry en 23 februari bij Van der Avoird aangekomen. Sonsation werd gestekt op 19 februari 2021, de stekken waren afkomstig van een 16 uur belichte winterteelt van gekoelde Sonsation bij Brookberries. Gedurende de opkweek hebben de stekken een daglengte van 16 uur ontvangen. De gemiddelde dag/nacht temperatuur was 20.5/15.5 °C. Ook werd er geen koelingsfase toegepast voor beide rassen, dus was er sprake van vers plantmateriaal. In de opkweekfase hebben de Favori stekken ~26366 groeigraaduren (GDH; basistemperatuur 4.5 °C) gehad en Sonsation ~19667 groeigraaduren.

Op 15 april 2021 werden de planten in de klimaatcel met zes klimaatcabines bij Plant Lighting geplaatst. Per behandeling werden er van beide rassen per strekkende meter 6 plantjes geplant (Figuur 19). De plantafstand was 17 cm. Het substraat bestond uit een mix van 20% zwartveen (medium grof), 20% zwartveen (grof), 20% perliet, 40% kokosveen (strawberry excellent, BVB Substrates).



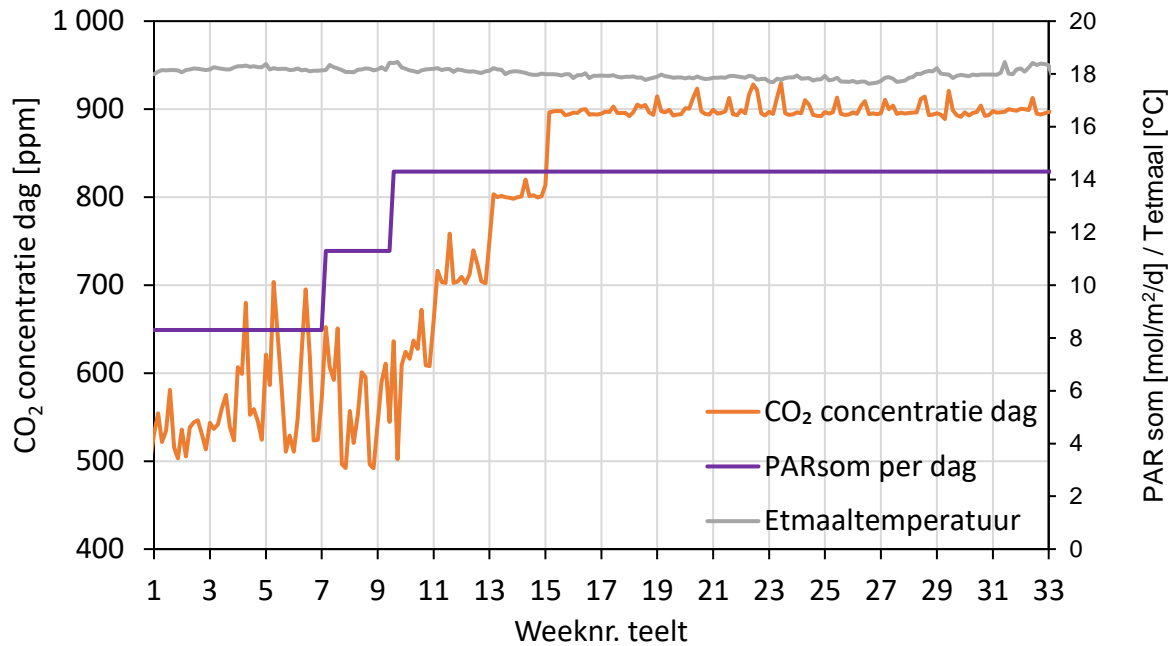
Figuur 19. Stekken van *Favori* (links) en *Sonsation* (rechts) zoals geplant in de zes klimaatcabines (2 m²) bij de start van de proef. Per behandeling waren er van beide rassen per strekkende meter 6 stekken geplant.

Niet geplant materiaal is onderzocht op trossaanleg door middel van een bloemonderzoek. Hieruit bleek dat de *Sonsation* plantjes al generatief waren, terwijl een zo vegetatief mogelijk plantmateriaal de voorkeur had. Om die reden zijn de eerste trossen en ranken verwijderd tot er 19000 groeigraaduren waren behaald in de klimaatcel. Een bestaande vuistregel luidt namelijk dat het 19000 groeigraaduren duurt tussen inductie en eerste open bloem van een tros. Na deze periode werd aangenomen dat de trossen aangelegd waren tijdens de periode in de klimaatcel.

3.1.2 Klimaat

Het klimaat was voor alle zes de behandelingen hetzelfde (Figuur 20). De luchttemperatuur werd gestuurd op basis van het etmaalgemiddelde. Er werd een etmaaltemperatuur van 18 °C aangehouden met een maximale toegestane DIF van 1 °C. In de klimaatcel was, net als in proefronde 1, de luchttemperatuur gemiddeld 1.3 °C hoger dan de planttemperatuur. Aangezien planttemperatuur uiteindelijk bepalend is voor processen in de plant, werd besloten om de gerealiseerde groeigraaduren in de proef te berekenen aan de hand van de planttemperatuur (planttemperatuur=luchttemperatuur-1.3°C). In totaal werden er ruim 67000 groeigraaduren gerealiseerd in de klimaatcel. De RV was overdag rond de 60% en in de nacht rond de 70%.

Zowel de lichtsom als de CO₂-concentratie werden verhoogd gedurende de proef op basis een inschatting van de assimilatenbehoefte van de planten (Figuur 20). De totale lichtsom was voor alle behandelingen gelijk en nam toe in drie stappen van 8.3 naar 11.3 tot 14.3 mol/m²/d. De hoeveelheid kunstmatig zonlicht van 2.3 mol/m²/d bleef gedurende de proef constant en alleen de bijbelichting en nabelichting werd in intensiteit verhoogd in stappen van 50%, 75% en 100% (respectievelijk 6, 9 en 12 mol PAR/m²/dag). Bij een plantbelasting van 50 bloemen+vruchten/m werd er opgeschakeld van 50% naar 75% en bij een plantbelasting van 100 bloemen+vruchten/m werd er opgeschakeld van 75% naar 100%. De CO₂-concentratie begon op 500 ppm en nam stapsgewijze toe tot 900 ppm.



Figuur 20. De totale lichtsom per dag en de dagelijkse CO₂-concentratie werden geleidelijk verhoogd gedurende de proef op basis van een inschatting van de assimilatenbehoefte van de planten. De intensiteit bijbelichting werd stapsgewijze verhoogd van 50% naar 75% naar 100% (respectievelijk 6, 9 en 12 mol PAR/m²/dag). Bij de maximale lichtintensiteit was dit respectievelijk 185 en 238 μmol/m²/s bij een fotoperiode van 18 en 14 uur.

3.1.3 Gewasverzorging

Verschillende gewaswerkzaamheden vonden plaats gedurende de proef. Dagelijks werden bloemen bestoven door trossen te trillen met behulp van een elektrische tandenborstel. Oude en beschadigde bladeren werden verwijderd om het gewas luchtig te houden. Ook werden ziekten en plagen waar mogelijk biologisch bestreden. In het geval dat dit niet mogelijk was, is er gekozen om chemische middelen in te zetten.

Tussen de verschillende rassen en behandelingen zat een groot verschil in waterbehoefte. Alle behandelingen hadden hun eigen watergiftsysteem en konden apart worden aangestuurd. Op het moment dat de planten volgroeid waren, varieerde de waterbehoefte van 1.7 (minst strekkende Favori) tot 4.9 liter (meest strekkende Sonsation) per strekkende meter. Er werd gestreefd naar een drain percentage van 10-30% van de dagelijkse hoeveelheid aangeboden water. Gedurende de teelt werden er twee nutriëntenschema's gehanteerd: één voor de periode zonder vruchtdracht en één voor de periode met vruchtdracht (Bijlage 1). De EC van de voedingsoplossing was 1.0-1.5, afhankelijk van de drain EC (som van gift+drain EC van 2.8-3.0). De pH was 5.5-5.8.

3.1.4 Behandelingen

Alle behandelingen kregen door middel van een zonlichtlamp een gesimuleerde winterdag met een constante lichtintensiteit van $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ voor 8 uur per dag (Figuur 5c). Dit resulteerde in een dagelijkse lichtsom van $2.3 \text{ mol}/\text{m}^2$. Naast zonlicht werd er ook bijbelichting toegepast voor alle behandelingen. Dit was LED-belichting met een rood, blauw, wit, verrood spectrum (RBWFR) of een wit, verrood spectrum (WFR; Figuur 20). Het grote verschil tussen deze twee spectra is de gerealiseerde PSS. Hoe lager de PSS, hoe meer strekking er wordt verwacht. De bijbelichting stond aan vóór en tijdens de gesimuleerde winterdag. Daarnaast ontvingen sommige behandelingen nabelichting nadat de gesimuleerde winterdag ten einde was. Als nabelichting werd er zes uur lang puur rood (R) licht toegediend, wel of niet aangevuld met een uur puur verrood (FR) licht. In Tabel 7 wordt een samenvatting gegeven van de verschillende spectra.

Tabel 7. Details van de verschillende spectra. Percentages zijn ten opzichte van de totale hoeveelheid PAR. Voor zonlicht was dit 8 uur lang $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Voor WFR, RBWFR en R was de eindintensiteit 185 en $238 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij respectievelijk 18 en 14 uur daglengte. Verrood behoort niet tot PAR, maar wordt wel als percentage weergegeven van de totale hoeveelheid PAR.

	Zonlicht	WFR	RBWFR	R	FR
Blauw	28%	30%	10%	0%	0%
Groen	33%	47%	5%	0%	0%
Rood	39%	23%	85%	100%	0%
Verrood	26%	10%	10%	0%	10%
PSS	0.72	0.75	0.86	0.89	0.17

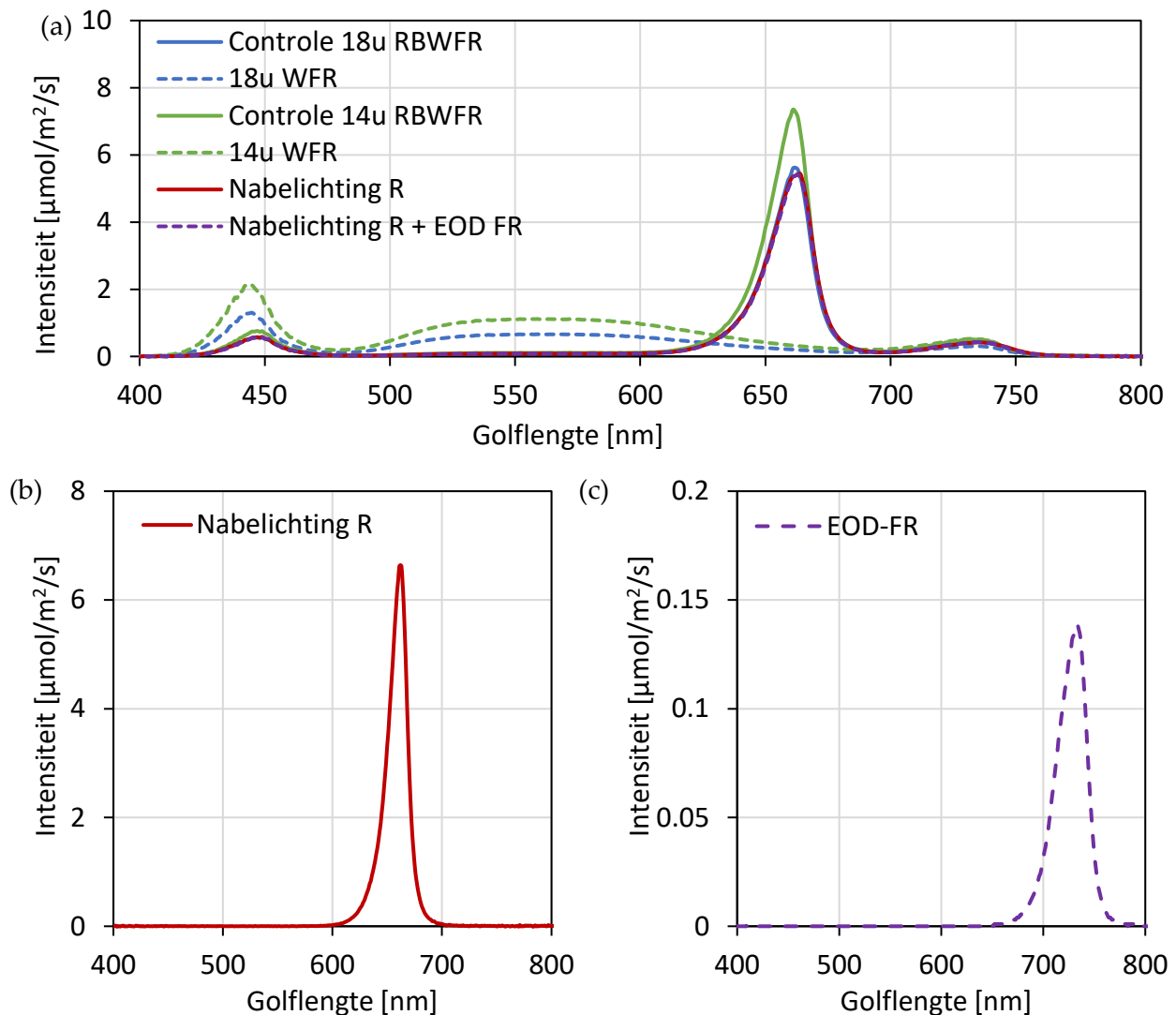
In totaal werden er zes verschillende behandelingen getest (zie Tabel 8). Deze behandelingen verschilden in daglengte (18 en 14 uur), spectrum gebruikt voor de bijbelichting (RBWFR of WFR) of nabelichting met puur rood met en zonder toepassing van een EOD-FR. De gerealiseerde behandelingen zijn als volgt:

- 1) Een controle behandeling met een fotoperiode van 18 uur en een bijbelichtingsspectrum RBWFR met een PSS van 0.86.
- 2) Een fotoperiode van 18 uur met een bijbelichtingsspectrum WFR met een PSS van 0.75. Een lagere PSS bevordert mogelijk strekking.
- 3) Een controle behandeling met een fotoperiode van 14 uur en een bijbelichtingsspectrum RBWFR met een PSS van 0.86.
- 4) Een fotoperiode van 14 uur met een bijbelichtingsspectrum WFR met een PSS van 0.75.
- 5) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 12 uur werd bijbelicht met het RBWFR-spectrum en na de 'zonsondergang' er voor 6 uur werd nabelicht met enkel rood licht.
- 6) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 12 uur werd bijbelicht met het RBWFR-spectrum en na de 'zonsondergang' er voor 6 uur werd nabelicht met enkel rood licht gevolgd door een uur puur verrood licht (EOD-FR) om strekking te bevorderen.

Tabel 8. Overzicht van de verschillende behandelingen en de bijhorende belichtingstijden.

Gesimuleerde tijd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Controle 18u RBWFR																								
18u WFR																								
Controle 14u RBWFR																								
14u WFR																								
Nabelichting R																								
Nabelichting R + EOD FR																								

De grafieken van de verschillende spectra worden in Figuur 21 weergegeven. In Figuur 21a is te zien dat de bijbelichtingsspectra niet voor iedere behandeling dezelfde intensiteit hebben. Voor deze proef is ervoor gekozen alle behandelingen dezelfde lichtsom te geven. Behandelingen met een kortere fotoperiode ontvangen om die reden een hogere intensiteit. Bij de maximale lichtintensiteit was dit respectievelijk 185 of 238 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van 18 of 14 uur. Figuur 21b en c laten het respectievelijk het spectrum van de nabelichting met enkel rood licht en de EOD-FR zien.



Figuur 21. Overzicht van de verschillende spectra. Grafiek (a) laat het bijbelichtingsspectrum zien voor alle behandelingen variërend tussen RBWFR en WFR vóór en tijdens de gesimuleerde 8-urige winterdag. Grafiek (b) laat het nabelichtingsspectrum met enkel rood licht zien. De intensiteiten in beide grafieken komen overeen met de maximale belichtingsintensiteit van respectievelijk 185 en 238 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van 18 en 14 uur. Grafiek (c) laat de EOD-FR zien. Hiervan bleef de intensiteit gelijk gedurende de proef (18.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

3.1.5 Metingen

Tijdens de tweede ronde zijn voornamelijk dezelfde planteigenschappen gemeten als tijdens de eerste ronde. Deze metingen hebben betrekking tot gewasopbouw, trosinductie en fotosynthese (Hoofdstuk 2.1.5).

Eindoogst:

Aan het einde van de proef vond er een eindoogst plaats waarbij extra plantmetingen gedaan konden worden. Voor Sonsation was dit na 31 weken teelt en voor Favori na 33 weken teelt. Voor zowel Sonsation en Favori planten zijn het aantal neuzen, het aantal bladeren, het versgewicht van de bladeren en het zichtbare aantal nieuwe trossen zonder

bloem bepaald. Voor Favori is het verschil in plantopbouw tussen een fotoperiode van 18 en 14 uur nog verder onderzocht met een bloemonderzoek.

Fotosynthese:

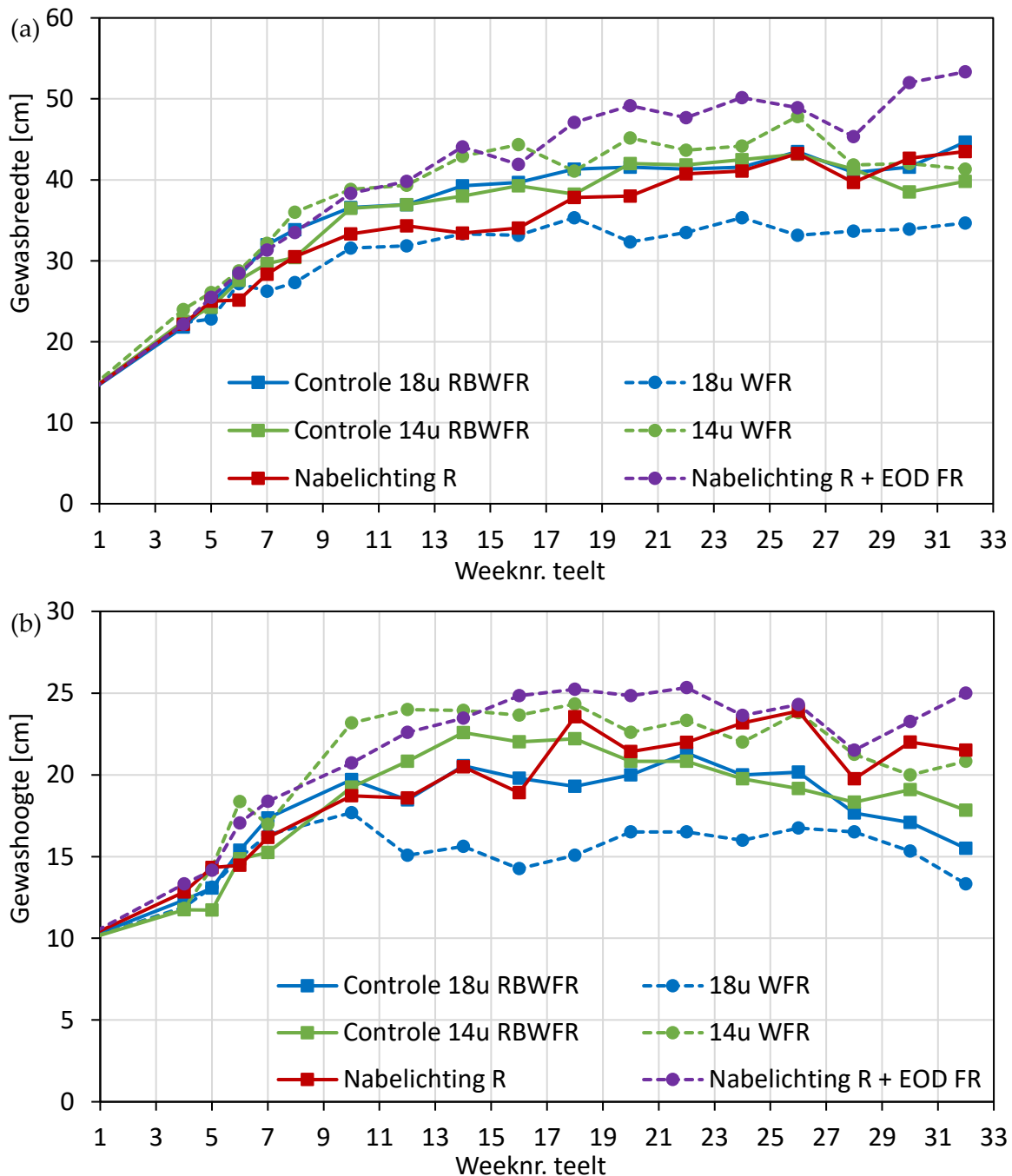
Om het effect van de fotoperiode en de nabelichting met enkel rood licht op het functioneren van de fotosynthese vast te stellen, is er drie keer fotosynthese gemeten. Deze metingen vonden plaats gedurende de verschillende stappen in toename van de lichtintensiteit (50%, 75% en 100%). Er werd gemeten bij een vaste lichtintensiteit van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De CO_2 -concentratie was ingesteld op 900 ppm.

3.2 Resultaten proefronde 2

3.2.1 Favori (doordrager)

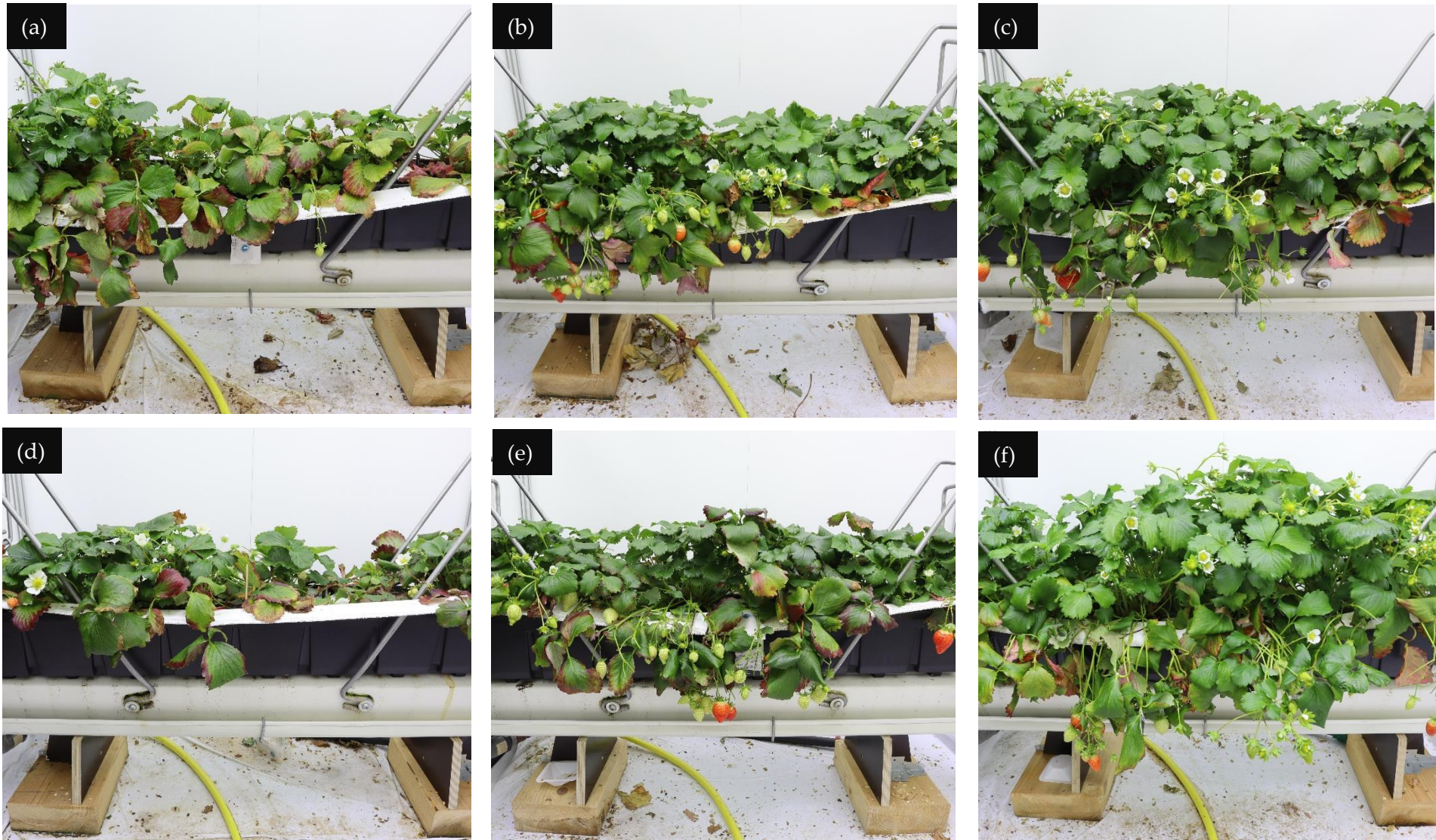
Gedurende de tweede proefronde waren er een stuk minder grote verschillen in strekking tussen de behandelingen dan het geval was tijdens de eerste proefronde. Hierdoor kan er zuiverder worden beoordeeld wat het effect van de behandelingen op de trosinductie en plantbelasting is. In Figuur 22 is de gewasbreedte en gewashoogte weergegeven gedurende de proef.

Alle behandelingen liggen redelijk dicht bij elkaar. Echter Nabelichting R met een EOD-FR steekt er bovenuit. Verrood aan het einde van de dag stimuleert dus strekking. Ook de 14 uur WFR (lagere PSS) gaf in eerste instantie een betere strekking dan de Controle 14 uur. Waarschijnlijk heeft de lagere PSS naarmate het gewas dichter groeit minder effect, dit wordt in 3.2.2 onderbouwd met spectrale metingen op rhizoomniveau. De behandeling 18uur WFR bleef echter veruit het kleinst. Waarschijnlijk kwam dit door een vroegtijdige overbelasting van deze behandeling (zie trosinductie verderop).



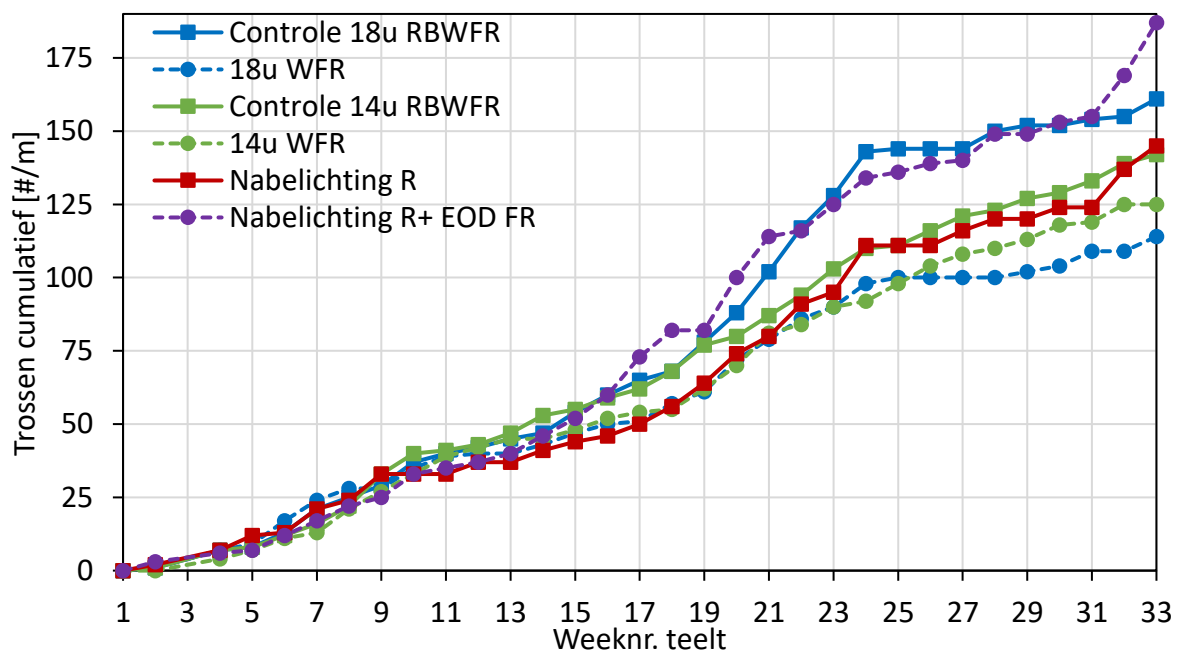
Figuur 22. Gewasbreedte (a) en gewashoogte (b) gemeten bij Favori. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.

Figuur 23 geeft een overzicht met foto's van alle behandelingen na 33 weken teelt. Met name de Controle 18 uur RBWFR en de 18 uur WFR laten een verouderd gewas zien (Figuur 23a, b). Deze planten zijn het kleinst en hebben veel verouderd blad. Ook de Controle 14 uur RBWFR en de 14 uur WFR zien er deels verouderd uit (Figuur 23c, d). De twee behandelingen met Nabelichting R ogen visueel het meest fris (Figuur 23e, f) en zouden beide nog langer mee kunnen. De behandeling met EOD-FR is het meest gestrekt en heeft fris blad (Figuur 23f).



Figuur 23. Favori planten na 33 weken teelt. Behandelingen zijn: (a) Controle 18u RBWFR, (b) Controle 14u RBWFR, (c) Nabelichting R, (d) 18u WFR, (e) 14u WFR, (f) Nabelichting R + EOD-FR.

In proefweek 11 werden er 19000 GDH behaald. Vanaf dat moment kan er gesproken worden van trossen die aangelegd zijn onder de verschillende behandelingen. Vanaf week 16 beginnen de behandelingen echt uit elkaar te lopen voor het aantal cumulatieve trossen (Figuur 24). De trosinductie was uiteindelijk het hoogst bij de Controle 18 uur RBWFR en de Nabelichting R+EOD-FR. Voor de Nabelichting R+EOD-FR is het opmerkelijk te zien dat het afsluitende uur verrood licht resulteert in een veel hogere trosinductie dan enkel de nabelichting rood. Beide 14-uurs behandelingen namen relatief gelijkmatig toe in het aantal trossen en zijn duidelijk langzamer dan de 18-uursbehandelingen. De behandeling Nabelichting R zonder EOD-FR liep gedurende de hele proef min of meer gelijk aan de twee 14-uurs behandelingen. Dit kan erop duiden dat nabelichten met puur rood licht als een korte fotoperiode voor trosinductie wordt waargenomen en afsluitend een uur verrood juist als lange dag. De behandeling 18 uur WFR had cumulatief gezien het minste aantal trossen. Rond week 6-7 was dit juist andersom waardoor deze behandeling al heel snel overbelast werd.



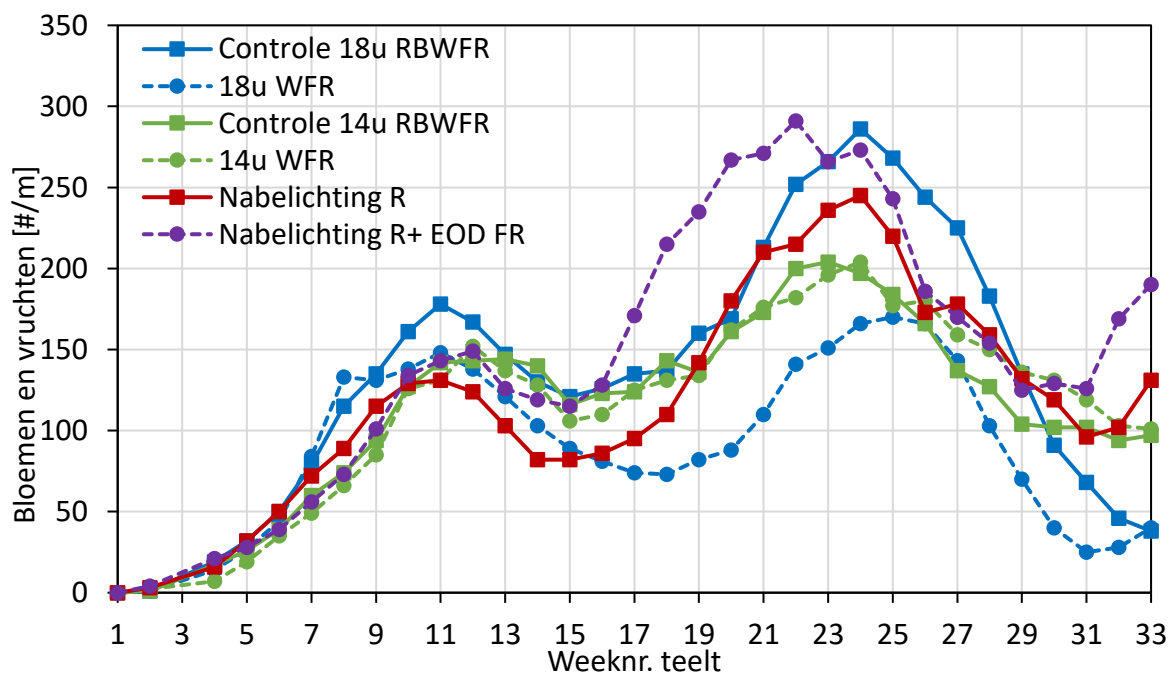
Figuur 24. Aantal cumulatieve trossen van Favori. Trossen zijn geteld vanaf het moment dat de eerste bloem open was. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten.

De plantbelasting laat vervolgens voor alle behandelingen duidelijk een golfbeweging zien met twee piekmomenten (Figuur 25). De Controle 18 uur RBWFR en de Nabelichting R + EOD-FR pieken het hoogst. Beide behandelingen hadden ook de meeste trossen. Echter de Nabelichting R + EOD-FR piekt als eerste tijdens het tweede piekmoment. Ook laat deze behandeling een minder diep dal zien aan het einde van de proef en start alweer met de derde productiegolf. Dit suggereert dat deze behandeling relatief minder overbelast was.

De twee 14-uurs behandelingen laten een vergelijkbare plantbelasting zien. Opvallend is dat deze behandelingen een rustige en stabiele plantbelasting hebben gehad. Dit kan erop

wijzen dat een kortere fotoperiode van 14 uur voor een rustigere trosinductie en meer stabiele plantbelasting zorgt. Nabelichting R liet voor het grootste deel van de proef een vergelijkbaar aantal trossen als de 14-uurs behandelingen zien (Figuur 24). Daarentegen was de plantbelasting minder rustig voor Nabelichting R. Waarschijnlijk omdat de piek in plantbelasting eerder lag met een kleinere plant dan de 14-uursbehandelingen. Daardoor wordt daarna het dal in plantbelasting dieper (piek en dal kunnen elkaar versterken).

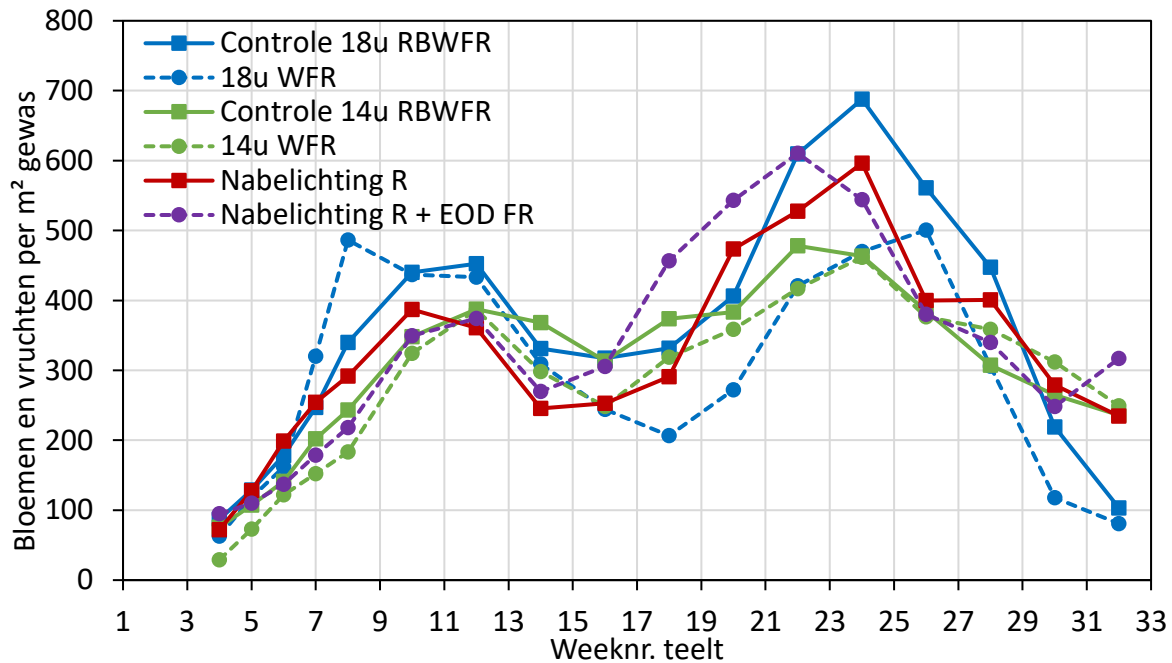
Ten slotte valt de behandeling 18 uur WFR op door de lage en tragere tweede piek. Deze behandeling zag er vroegtijdig zeer overbelast en uit balans uit. Met name de strekking en bladmassa bleven achter terwijl er wel veel trossen aanwezig waren (Figuur 27). Dit was met name het geval in teeltweek 7 en 8, echter is dit lastig terug te zien in de grafieken. In teeltweek 8 is er eenmaal ingegrepen door de plantbelasting voor een deel te verwijderen. Dit is terug te zien in de kleine afname in plantbelasting in Figuur 25. Helaas waren de planten al zo ver uit balans dat de behandeling niet meer strekte (Figuur 22) en ook het aantal trossen (Figuur 24) en de plantbelasting achter bleef (Figuur 25). Waarschijnlijk heeft het WFR-spectrum de snelheid waarmee de al aangelegde trossen (1^e 19000 GDH) uit de plant kwamen versneld. Dit wekt de suggestie dat er verschil gemaakt kan worden in trosinductie en tros-‘verschijning’. Zo is bij lelie ook bekend dat de verschijningsnelheid van de al aangelegde bladeren in de bol wordt beïnvloed door het gegeven lichtspectrum (Hogewoning *et al.* 2015).



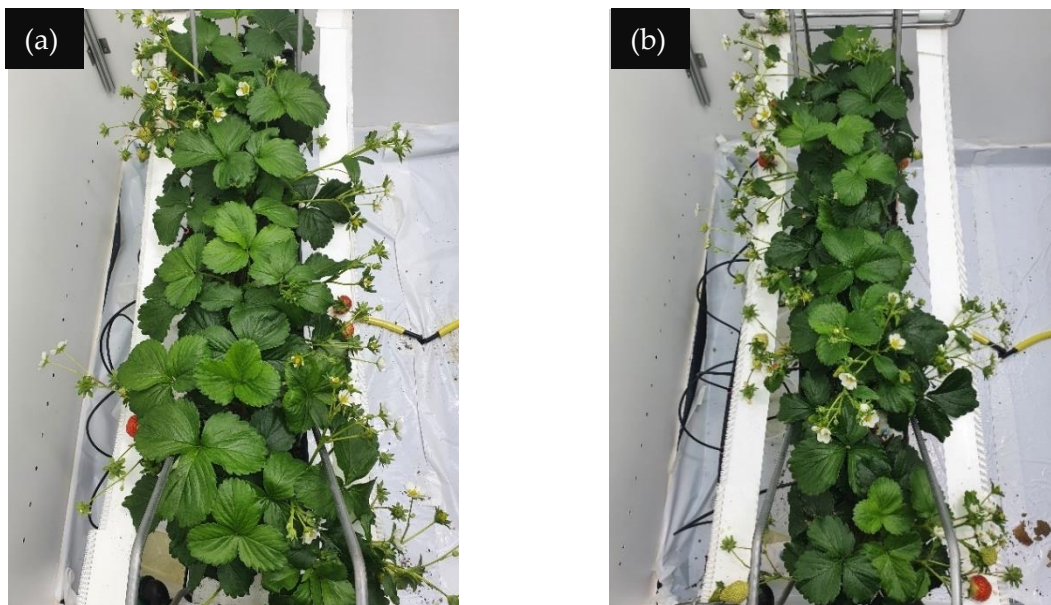
Figuur 25. Plantbelasting van Favori bestaande uit het aantal open bloemen en gezette vruchten. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten. In week 8 is de plantbelasting van 18u WFR verlaagd van 133 naar 119 door enkele trossen weg te knippen.

In Figuur 26 wordt nogmaals duidelijk gemaakt dat de behandeling 18 uur WFR vroegtijdig overbelast was. In deze grafiek is de plantbelasting gedeeld door het oppervlak dat de

bladeren beslaan. In teeltweek 8 is een duidelijke piek te zien voor 18 uur WFR. Vervolgens zijn deze planten volledig in een pauzestand gekomen. Een overbelasting voor een jong gewas kan dus op de lange termijn een groot negatief effect hebben op de plantopbouw en ook op plantbelasting en oogst.



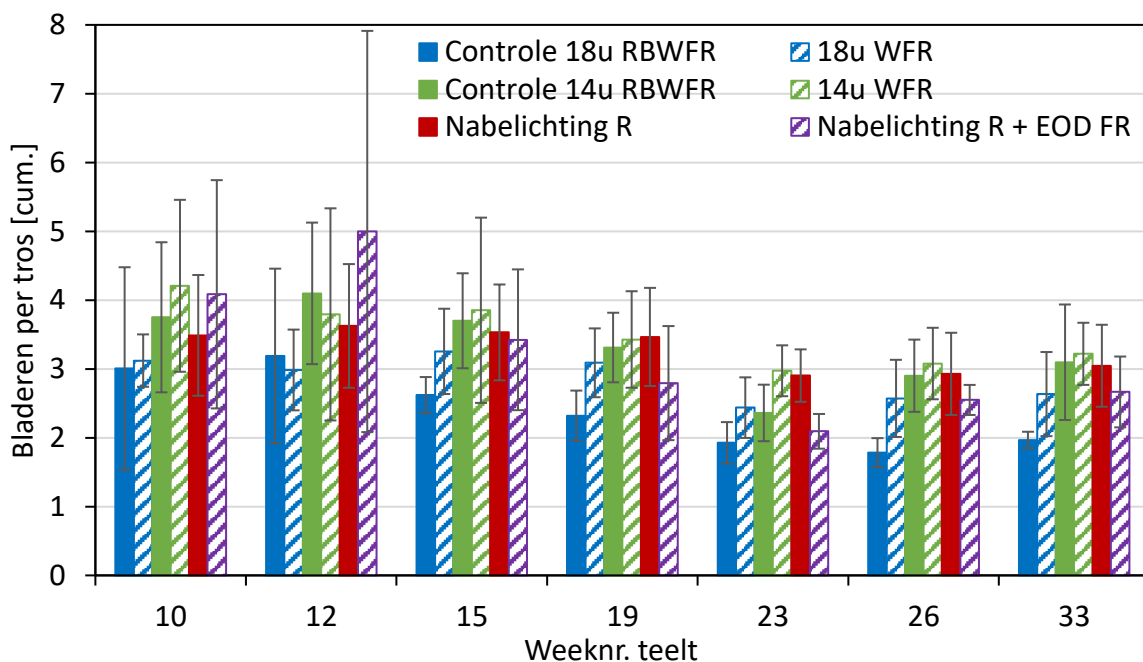
Figuur 26. Plantbelasting, bestaande uit bloemen en vruchten, weergegeven per m² gewasoppervlakte van Favori. Gewasoppervlakte is een schatting op basis van de gemeten gewasbreedte. Waarden zijn de som van 6 planten.



Figuur 27. Favori planten na 8 weken teelt voor (a) Controle 18 uur RBWFR en (b) 18 uur WFR. De planten onder 18 uur WFR waren visueel uit balans ten opzichte van de Controle 18 uur RBWFR. Bij (b) zijn er relatief veel trossen terwijl de bladmassa achter blijft.

Net als in proefronde 1 zijn periodiek het aantal bladeren geteld. Zoals aangegeven in hoofdstuk 1.3.1 worden er bij een doordrager (lange dag plant) onder een lange dag minder

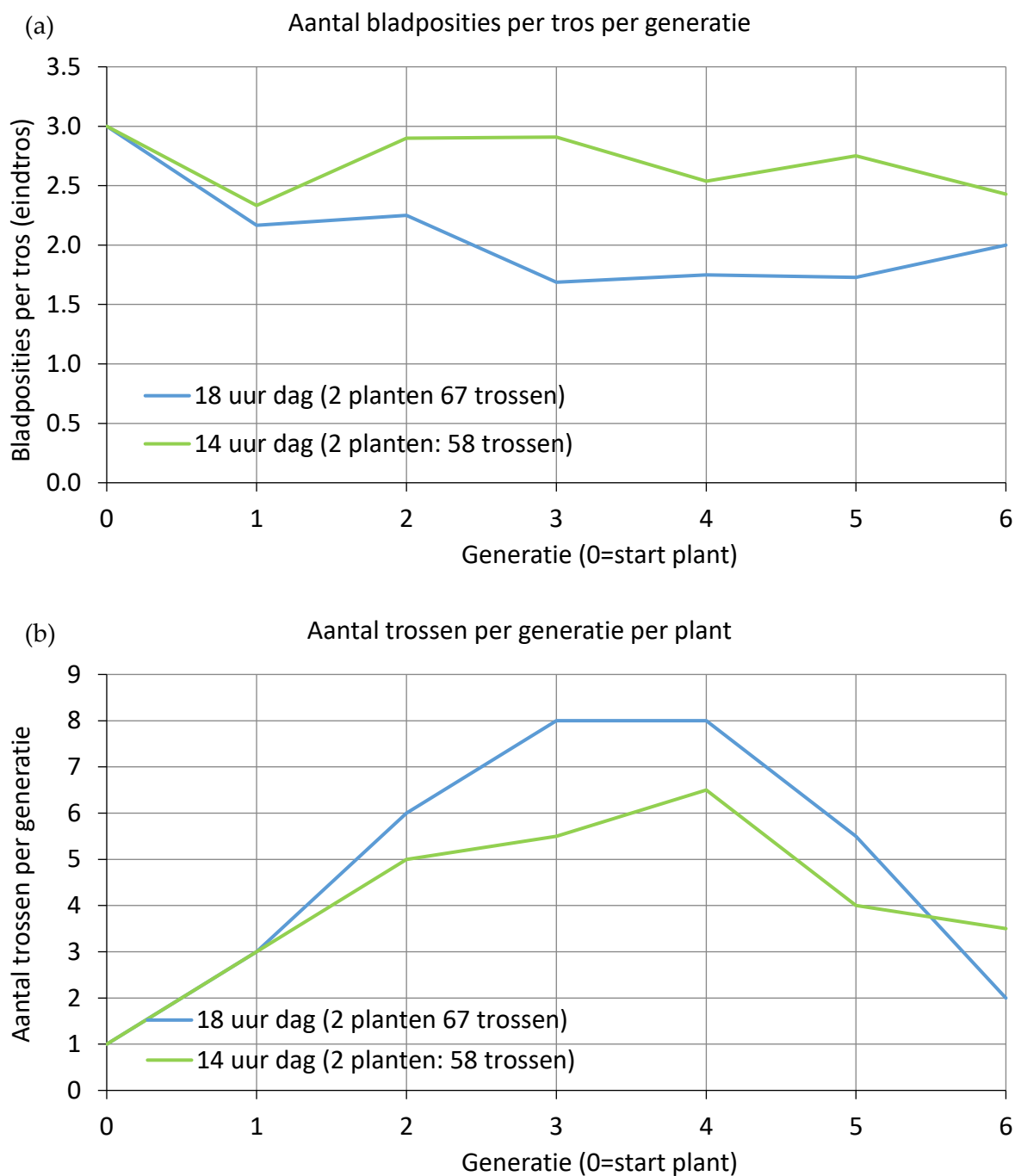
bladeren gevormd onder de eerste tros dan onder een kortere dag (Sønsteby en Heide, 2007). Door het cumulatief aantal trossen te delen door het cumulatief aantal bladeren wordt een indicatie verkregen of dit bij Favori ook het geval is. Dit wordt weergegeven in Figuur 28. Rond week 10-12 zouden er nog nauwelijks verschillen moeten zijn omdat er dan nog nauwelijks trossen zijn die in de proef zijn geïnduceerd. Aan het einde van de proef is duidelijk dat de 14-uursbehandelingen en de nabelichtingsbehandeling R minder bladeren per tros hebben dan de Controle 18 uur RBWFR. Meer bladeren per een tros zouden moeten zorgen voor een rustigere opbouw in plantbelasting waardoor de plant minder snel overbelast raakt mits dit niet wordt gecompenseerd door een grotere ontwikkeling van zijkronen of doodbloeiërs (zie ook Hoofdstuk 1.3.1). Aangezien het aantal bladeren per opvolgende kroon niet is vastgesteld, fungeert dit figuur opnieuw als niet meer dan een indicatie.



Figuur 28. Cumulatief aantal bladeren per het cumulatief aantal trossen voor Favori gedurende het verloop van de teelt. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten. Foutenbalken geven de standaarddeviatie weer.

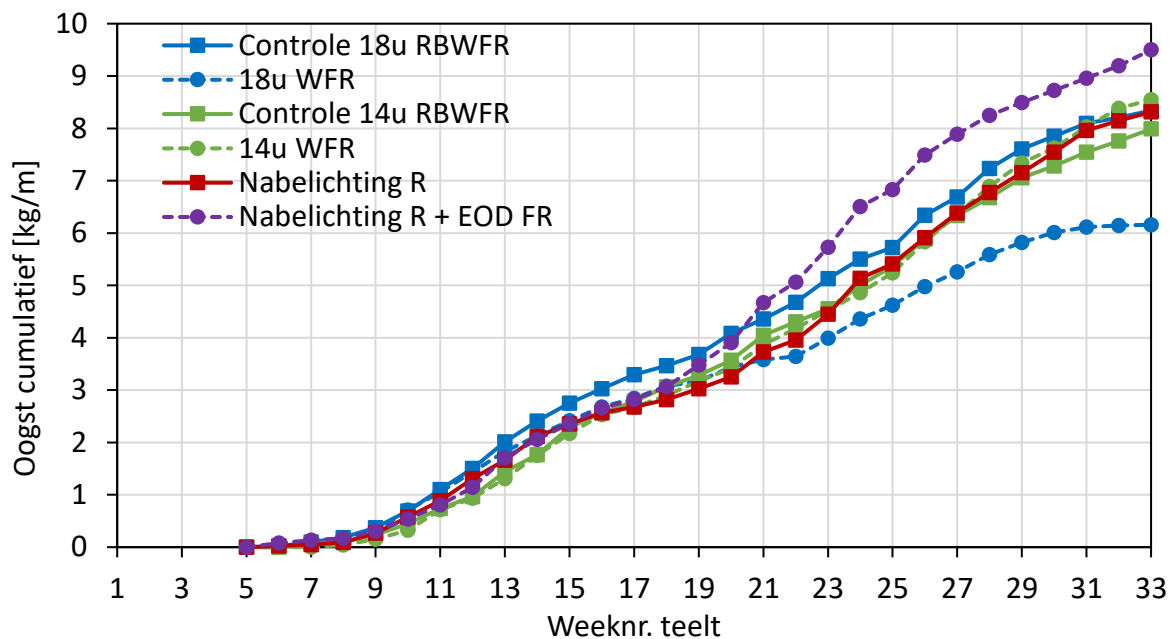
Aan het einde van de proef is door Remco van Endschoot nagegaan wat de plantopbouw is geweest van de 18 en de 14-uurs dag (2 planten per behandeling; Figuur 29). Hieruit zijn de bladposities per tros per generatie berekend. De onderliggende vraag was waarom de 14-uursbehandeling een rustigere trosinductie laat zien. Het blijkt dat het aantal bladeren per tros van de eerste 2 generaties nauwelijks verschillen (generatie 0 en 1), maar vanaf generatie 2 wordt er ongeveer 1 blad per tros meer ontwikkeld onder 14 uur dan onder 18 uur. Tevens werden er 5 doodbloeiërs onder 18 uur geteld tegen 1 doodbloeiër onder 14 uur. Echter, in beide gevallen zijn er 7 generaties trossen ontwikkeld. Op basis van deze twee planten kan de voorzichtige conclusie worden geformuleerd dat een lange dag dus niet meer generaties vormt en dus het grotere aantal trossen onder een lange dag eerder is toe te

schrijven aan meer neuzen.



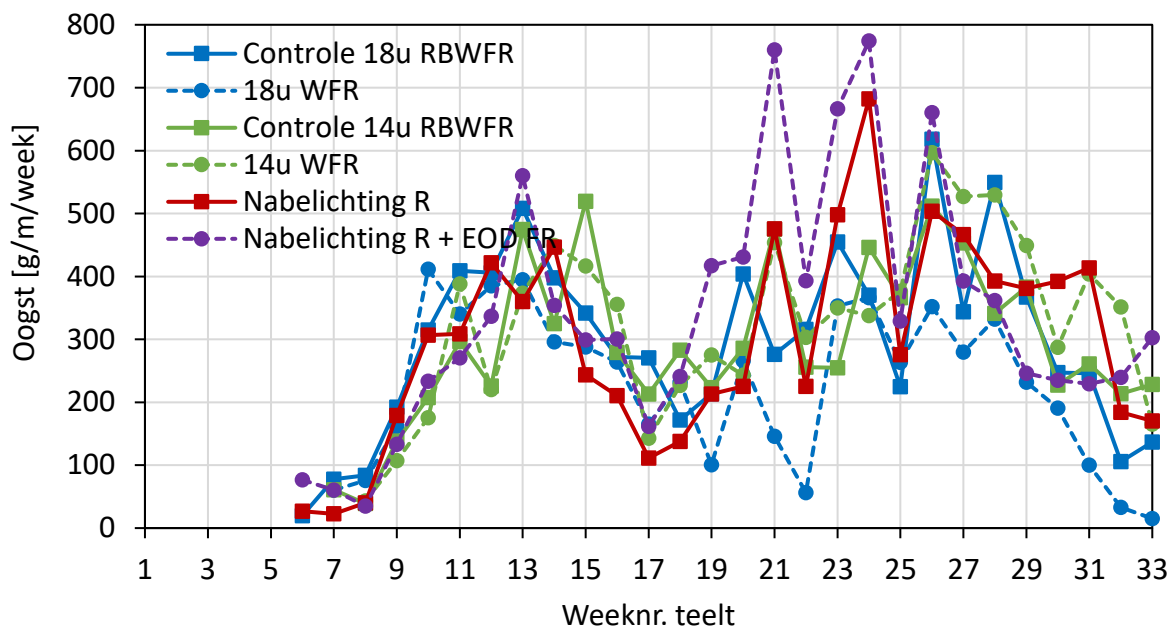
Figuur 29. Bladposities per eindtros per generatie (a) en aantal trossen per generatie (b) uitgezocht bij 2 planten per behandeling.

In Figuur 30 is de totale oogst over de gehele proef weergegeven. De laagste oogst is behaald onder 18 uur WFR. De vroegtijdige overbelasting heeft ervoor gezorgd dat de planten in een pauzestand terecht kwamen en dit is terug te zien in de oogst. De behandeling Nabelichting R + EOD-FR heeft de meeste oogst behaald en was ook het meest gestrekt. Door de grotere mate van strekking lijkt deze behandeling een grotere plantbelasting te kunnen dragen. Tevens gaven deze planten als eerste een tweede piek in plantbelasting (Figuur 25). Van de andere behandelingen is er min of meer evenveel geoogst. De twee 14-uurs behandelingen hebben dus een gelijke oogst, maar hebben dit bereikt met een stabielere plantbelasting (Figuur 25).



Figuur 30. Cumulatieve oogst van Favori. Waarden per meter zijn de som van 6 planten.

De oogst per week (Figuur 31) laat eenzelfde golfbeweging als de plantbelasting zien. Vooralsnog blijkt het lastig te zijn om de doordrager Favori in balans te telen. Onder de 14-uurs behandelingen is de plantbelasting rustiger en meer stabiel gebleven tijdens de proef. Ook de Nabelichting R liet geruime tijd minder trossen zien dan de 18-uurs behandelingen. De plantbelasting was daarentegen wel minder stabiel dan de 14-uurs behandelingen. In het geval dat deze behandelingen ook meer in balans waren, dus aanbod en vraag naar assimilaten beter afgestemd, ligt het voor de hand dat het gemiddelde vruchtgewicht ook hoger zal zijn. In Tabel 9 lijkt dit het geval te zijn voor de 14 uur WFR en Nabelichting R, maar niet voor de Controle 14 uur RBWFR.



Figuur 31. Oogst van Favori per week. Waarden per strekkende meter zijn de som van 6 planten.

Tijdens de eindoogst zijn er verschillende planteigenschappen geteld (zie Tabel 9). Dit is een momentopname, wat het lastig maakt om harde conclusies te trekken. Hieronder worden een aantal opvallende resultaten besproken:

- Nabelichting R + EOD-FR had het hoogste versgewicht aan bladeren en ook de meeste bladeren per plant. Daarnaast waren er op het moment van de eindoogst ook de meeste neuzen per plant aanwezig. Dit is een verklaring voor het hogere aantal bladeren. Ook kan het grotere aantal neuzen het hogere aantal cumulatieve trossen (Figuur 24) deels verklaren.
- De twee 14-uurs behandelingen hebben veruit de meeste bladeren per neus. Dit kan een aanwijzing zijn dat deze planten iets vegetatiever waren. Het blijft een momentopname maar komt wel overeen met de telling van aantal bladposities per tros.
- De twee behandelingen met nabelichting hebben het hoogste aantal nieuwe trossen zonder open bloem. Dit duidt erop dat deze behandelingen mogelijk het minst hebben geleden van de piek in plantbelasting en als eerste op weg zijn naar de derde productiegolf. Ook de eerder zwaar overbelaste behandeling 18 uur WFR laat veel nieuwe trossen zien.

Tabel 9. Eind oogst ronde 2 Favori. Gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=6). Waarden per meter zijn de som van 6 planten. Extra data gebaseerd op de gehele proef zijn onderaan in deze tabel weergegeven.

Eind oogst						
	Controle 18u		Controle 14u		Nabelichting	Nabelichting
	RBWFR	18u WFR	RBWFR	14u WFR	R	R + EOD-FR
Bladeren versgewicht [g/plant]	53 (22)	43 (27)	80 (23)	95 (32)	109 (39)	132 (59)
Aantal bladeren [#/plant]	33 (12)	29 (12)	51 (17)	45 (13)	52 (15)	60 (24)
Aantal neuzen [#/plant]	6.0 (1.7)	4.7 (1.6)	5.8 (2.2)	5.5 (1.9)	7.7 (1.9)	9.8 (4.0)
Bladeren per neus	5.5 (0.6)	6.1 (1.3)	8.8 (1.2)	8.4 (1.0)	6.7 (0.5)	6.2 (0.8)
Trossen zonder open bloem [#m]	19	26	15	22	27	33
Waarden gebaseerd op de gehele proef						
Cumulatief aantal bladeren [#m]	317	296	436	406	436	494
Cumulatief aantal trossen [#m]	161	114	142	125	145	187
Cumulatief geoogste vruchten [#m] *	729	518	619	602	598	729
Gemiddeld vruchtgewicht [g]	11.5 (0.5)	12.1 (0.6)	12.8 (1.4)	14.3 (0.7)	13.7 (1.3)	12.6 (1.6)
Bladeren per tros	2.0 (0.1)	2.6 (0.6)	3.1 (0.8)	3.2 (0.5)	3.0 (0.6)	2.7 (0.5)
Vruchten per tros**	6.1 (2.9)	5.6 (2.5)	6.2 (2.3)	6.9 (2.6)	6.3 (2.3)	6.4 (2.6)
Tros lengte tot de 1 ^e bloem [cm]**	20.9 (3.6)	17.3 (3.8)	16.9 (3.4)	17.7 (3.6)	20.5 (5.2)	24.3 (5.0)
Tros lengte tot vertakking [cm]**	15.3 (4.4)	12.5 (3.8)	10.4 (9.7)	9.7 (3.6)	14.0 (4.9)	17.2 (5.9)

* Vruchten met een zeer slechte zetting (afval) zijn niet meegeteld.

**Gemiddelden en standaarddeviatie gebaseerde op de leeggeoogste trossen, n=93-142

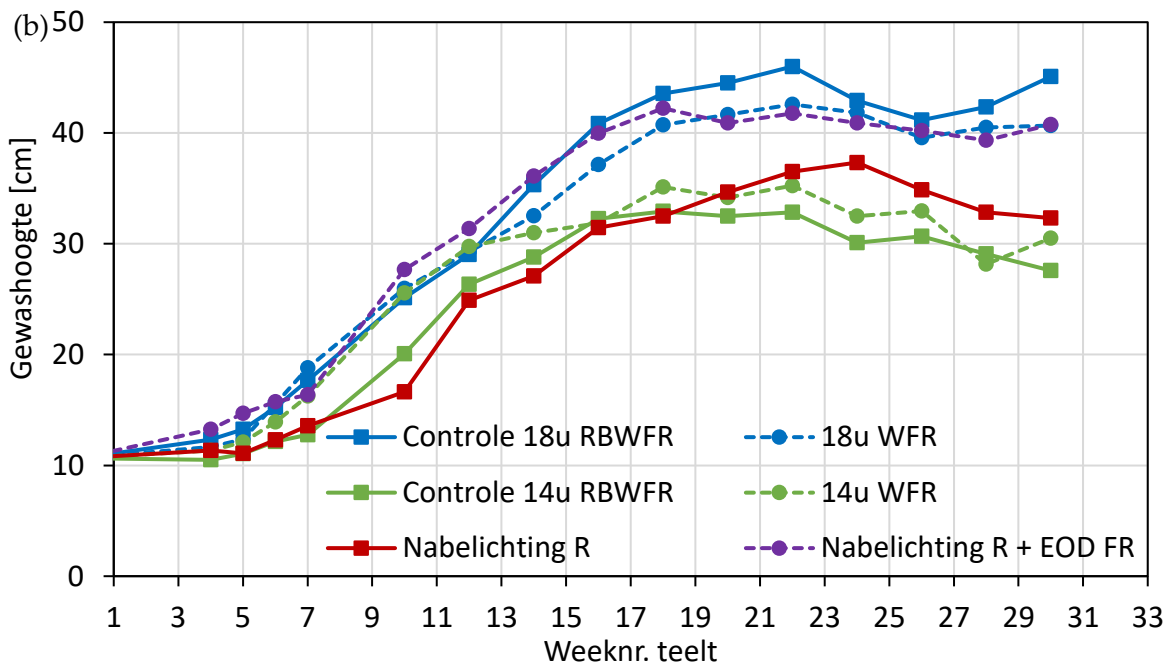
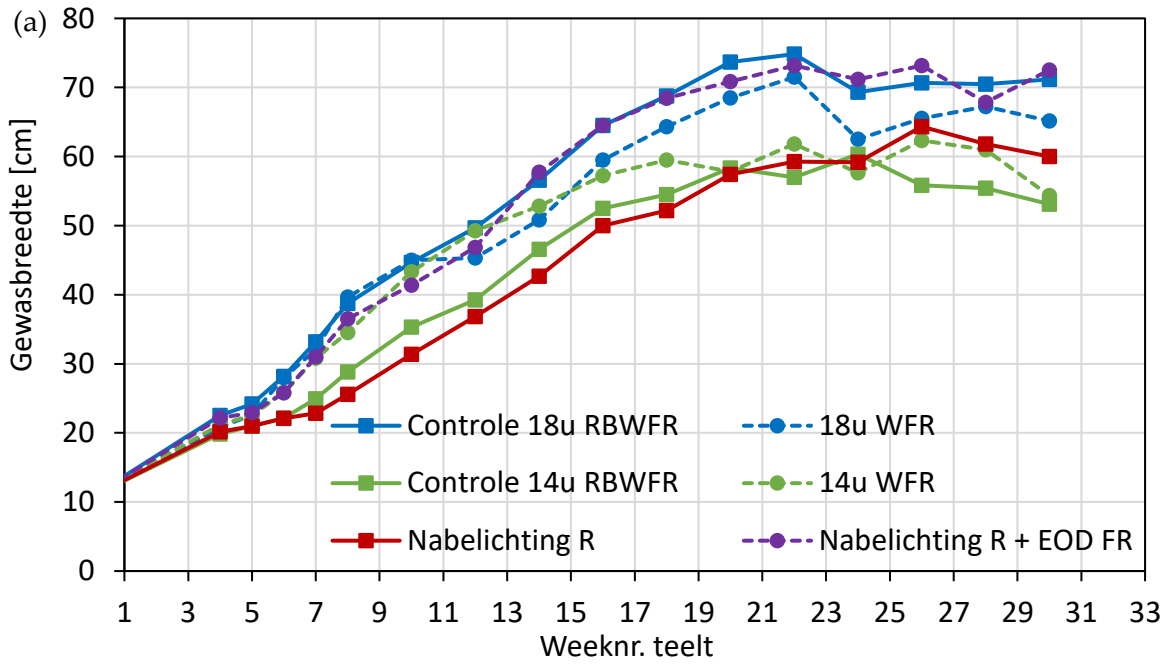
3.2.2 Sonsation (junidrager)

In Figuur 33 is een overzicht te zien van alle behandelingen na 31 weken teelt. Er is een visuele tweedeling te zien tussen de 18-uurs behandelingen en de 14-uurs behandelingen. De 18-uurs behandelingen hebben veel meer bladmassa en nauwelijks trossen, terwijl de 14-uurs behandelingen compacter zijn en ook meer trossen hebben. De Nabelichting R + EOD-FR lijkt visueel veel op de 18 uurs behandelingen. De Nabelichting R ligt visueel tussen de 14- en 18-uurs behandelingen; meer trossen dan onder 18 uur en meer bladmassa dan onder 14 uur.

Strekking lijkt deels te worden beïnvloed door daglengte (NB in deze proef heeft de kortere dag ook een hogere lichtintensiteit dus formeel zijn deze twee niet te scheiden van elkaar). Een langere daglengte van 18 uur geeft een hoger en breder gewas dan onder 14 uur. Dit effect was al waarneembaar toen de planten nog onbelast waren voor week 11 (Figuur 32). Daarnaast heeft een lagere PSS, in dit geval het spectrum WFR, een positief effect op strekking. Dit is terug te zien bij het verschil in strekking tussen de Controle 14 uur RBWFR en 14 uur WFR. Echter als het gewas volgroeid is, verdwijnt dit effect. Dit kan verklaard worden door naar de berekende PSS op rhizoomniveau te kijken. Tabel 10 geeft dit weer: doordat alle spectra verrood bevatten, ligt de berekende PSS op rhizoomniveau bij alle behandelingen laag.

Een lagere PSS had geen effect op strekking bij de 18-uurs behandeling WFR. Het lijkt erop dat de maximale strekking al is bereikt door een daglengte van 18 uur aan te bieden. Ook heeft een EOD-FR een positief effect op strekking gehad bij Sonsation, maar de strekking werd niet meer dan het geval was bij de twee 18-uurs behandelingen. Als laatste moet worden opgemerkt dat plantbelasting een negatieve invloed heeft op strekking. Dit speelde de eerste 11 weken echter geen rol omdat toen de trossen in alle behandelingen nog weggeplukt werden. Na deze 11 weken bleven de twee 18-uursbehandelingen min of meer onbelast terwijl de twee 14-uursbehandelingen en de Nabelichting R wel belast werden.

Zoals aangegeven zijn in deze proef daglengte en lichtintensiteit niet van elkaar te scheiden: minder strekking onder een kortere dag kan formeel ook veroorzaakt worden door de hogere lichtintensiteit. Deze verschilde echter de eerste 7 weken slechts tussen 90 en 119 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ onder respectievelijk 18 en 14 uur daglengte. Bij zulke lage intensiteiten ligt een effect van lichtintensiteit op strekking niet voor de hand, maar kan ook niet worden uitgesloten. Meer voor de hand liggend is dat de daglengte van 14 uur bij een relatief vlakke etmaaltemperatuur van ongeveer 16.5°C planttemperatuur een signaal is voor beginnende dormancy waardoor planten minder strekken maar wel trossen induceren en vruchten kunnen dragen. Er moet worden opgemerkt dat Van den Avoird Trayplant van dezelfde partij stekken Sonsation in proefronde 3 bij Brookberries onder 14 uur daglengte en een grote DIF (positief verschil tussen dag-nachttemperatuur) wel normale strekking kreeg (persoonlijke mededeling, Tanja Roovers en Robin Stolk, 2022).



Figuur 32. Gewasbreedte (a) en gewashoogte (b) gemeten bij Sonsation. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.



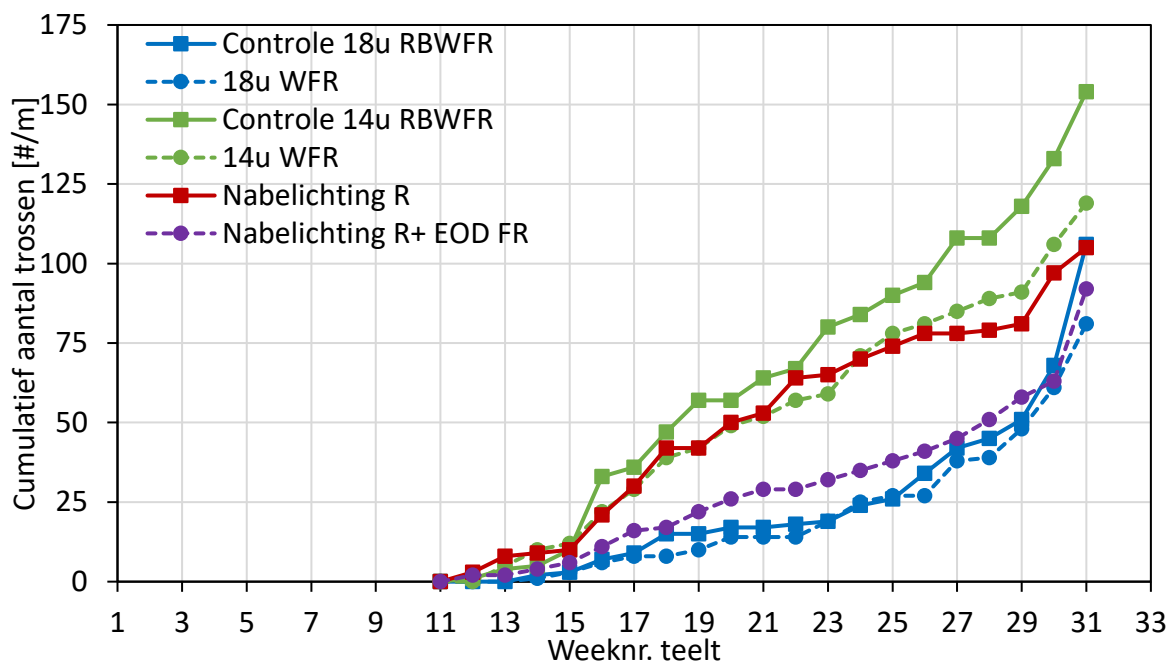
Figuur 33. Sonsation planten na 31 weken teelt. Behandelingen zijn: (a) Controle 18u RBWFR, (b) Controle 14u RBWFR, (c) Nabelichting R, (d) 18u WFR, (e) 14u WFR, (f) Nabelichting R + EOD-FR.

Tabel 10. De berekende PSS-waarde en lichtintensiteit gemeten net boven het gewas en op rhizoomniveau (positie "onder") voor Favori en Sonsation in teeltweek 23. Gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=5).

Cultivar	Positie	Behandeling			
		Controle 18uur PSS 0.87	18 uur WFR PSS 0.75	Controle 14 uur PSS 0.87	14 uur WFR PSS 0.75
PSS					
Favori	boven	0.86 (0.00)	0.76 (0.00)	0.86 (0.00)	0.75 (0.00)
	onder	0.56 (0.13)	0.59 (0.04)	0.56 (0.09)	0.42 (0.09)
Sonsation	boven	0.86 (0.00)	0.76 (0.00)	0.86 (0.00)	0.75 (0.00)
	onder	0.46 (0.10)	0.31 (0.13)	0.44 (0.25)	0.27 (0.19)
Intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)					
Favori	boven	168 (2.0)	173 (1.9)	221 (3.1)	229 (1.0)
	onder	1.8 (1.4)	15.3 (4.7)	2.4 (1.4)	5.6 (3.3)
Sonsation	boven	187 (8.9)	194 (8.3)	232 (10.4)	241 (4.7)
	onder	0.6 (0.5)	0.9 (1.0)	1.7 (2.3)	2.8 (4.4)

In Figuur 34 is te zien dat vanaf \pm week 15 er nauwelijks trossen ontwikkelen bij de beide 18-uursbehandelingen en de Nabelichting R+EOD-FR, terwijl dit wel gebeurde bij de 14-uurs behandelingen en Nabelichting R (zie ook Figuur 35). Bij de behandeling Nabelichting R kregen de planten na een 12 uur durende dag voor 6 uur enkel rood licht aangeboden. Dit rode licht lijkt dus niet als daglengte waargenomen te worden voor de trosinductie, omdat deze nagenoeg gelijk loopt met de 14-uurs behandelingen. Deze resultaten komen overeen met wat er tijdens de eerste ronde werd gezien voor Elsanta. Ook Sonsation is dus fotoperiodisch te misleiden met enkel rood licht na het einde van de dag.

Als er echter een EOD-FR wordt toegevoegd na de nabelichting met rood licht, dan lijkt het effect van de nabelichting teniet te worden gedaan. Deze behandeling laat duidelijk minder trossen zien dan de Nabelichting R zonder EOD-FR. Het lijkt erop dat het uur verrood ervoor zorgt dat er een lange dag voor trosinductie wordt waargenomen. Het aantal cumulatieve trossen komt namelijk overeen met die van de 18-uurs behandelingen. Mogelijk is een uur verrood te lang. De waarneming van daglengte voor bloei gaat namelijk via een urenschaal (fytochroom A) terwijl die waarneming voor strekking eerder een minutenschaal is (fytochroom B). Bij andere experimenten is 10-15 minuten al lang genoeg gebleken om strekking te bevorderen. Ook kan de gebruikte golflengte (730nm), doordat het net een staart in het rode spectrum heeft (Figuur 21c), mogelijk ook als daglengte worden waargenomen. In de eerste ronde werd een nabelichting met RBWFR, waar zowel rood als verrood aanwezig zijn, als lange dag gezien voor trosinductie.



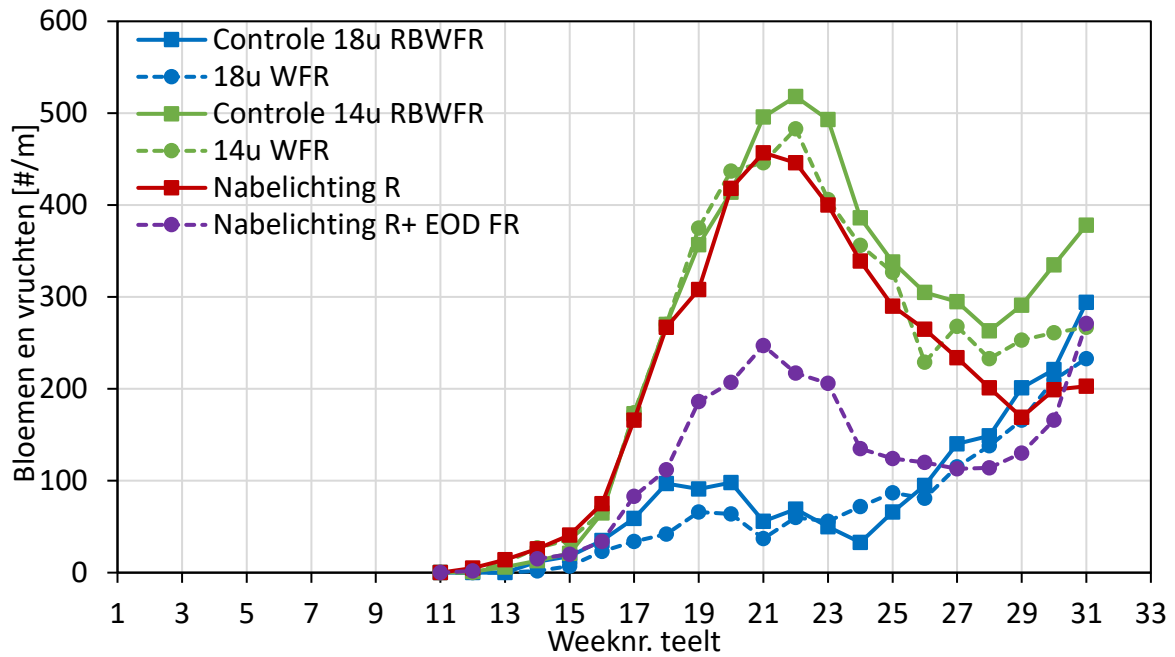
Figuur 34. Aantal cumulatieve trossen van Sonsation. Trossen zijn geteld vanaf het moment dat de eerste bloem open was. Aantallen zijn de som van 6 planten. Gedurende de eerste 19000 GDH in de cel zijn de trossen van Sonsation verwijderd.

In de laatste proefweken nam het aantal trossen voor de twee 18-uurs behandelingen en ook de Nabelichting R + EOD-FR flink toe. Mogelijk is dit stressbloei vanwege een enorm vol gewas (enorme uitstoeling). Niet onmogelijk is dat Sonsation uiteindelijk alsnog omschakelt naar trosinductie na lange tijd. Meerdere (kwantitatieve) korte dag planten gaan uiteindelijk toch bloeien bij een lange dag (chrysant staat bekend als kwalitatieve korte dag plant, ook deze gaat bij lange dag uiteindelijk bloeien maar dit duurt veel langer en is meestal onregelmatig, Sumitomo *et al.* 2015). Bloemonderzoek aan het einde van de proef liet zien dat iedere neus generatief was.



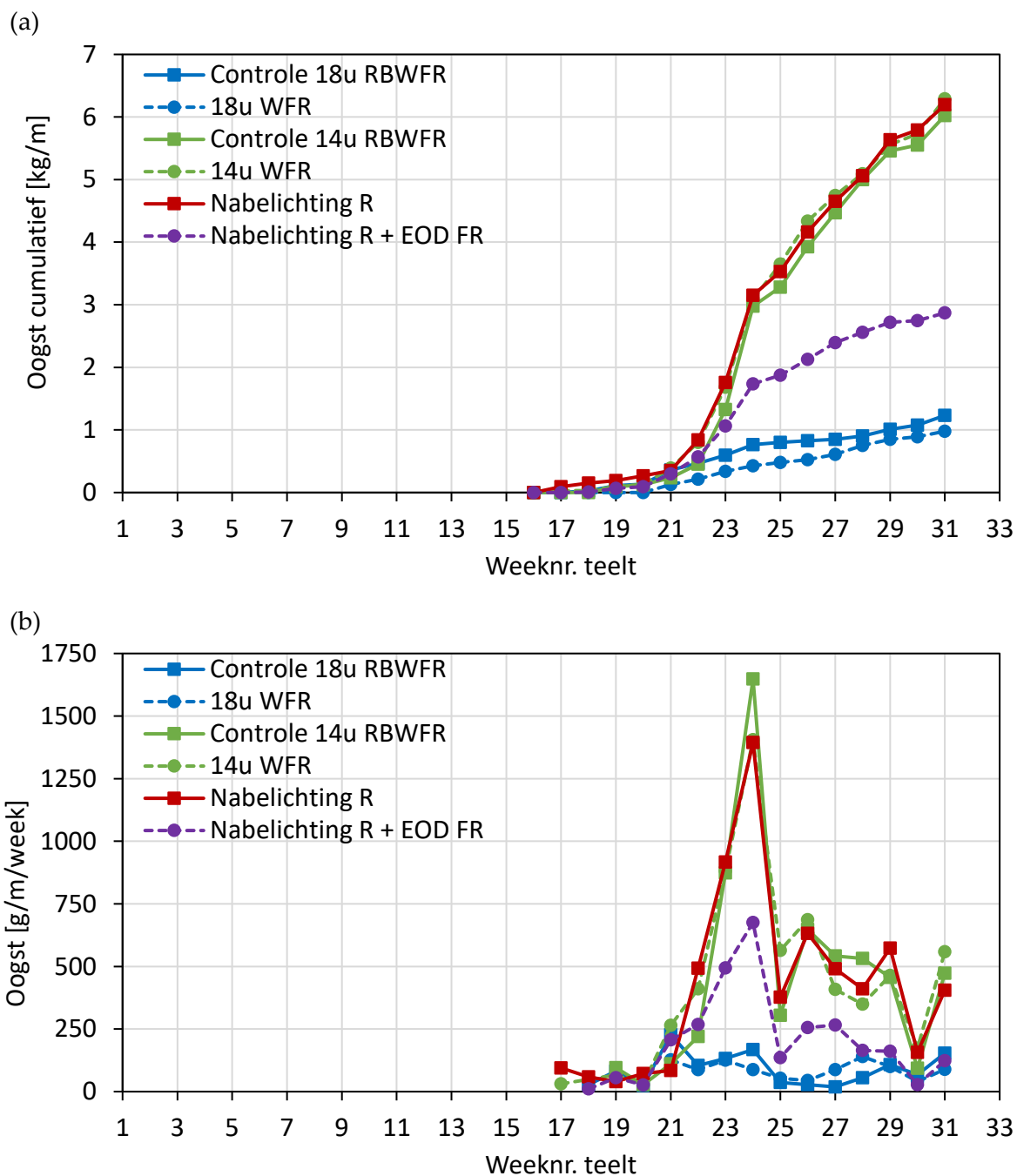
Figuur 35. Momentopname van de ontwikkelende trossen bij Nabelichting R (boven) ten opzichte van de 18-uurs controle (onder). Foto's zijn genomen in de 24^e teeltweek.

De grafiek van de plantbelasting laat dezelfde trends zien zoals hierboven beschreven voor het aantal trossen (Figuur 36). Rond proefweek 22 is er een grote piek in plantbelasting gecreëerd door de trossen tot week 11 weg te halen. Het valt verder nog op dat de Nabelichting R + EOD-FR wel een kleine piek in plantbelasting laat zien, terwijl beide 18-uurs behandelingen dit niet laten zien. Bij de behandeling Nabelichting R + EOD-FR waren er bij alle planten trossen aanwezig. De plant lijkt echter te 'twijfelen' tussen een waarneming van een kortere of langere fotoperiode voor bloei; in eerste instantie lijkt de plantbelasting meer weg te hebben van de 14-uurs behandelingen waarna dit patroon wordt verbroken en de behandeling meer weg heeft van de 18-uurs behandelingen. Aan het einde van de proef stijgt de plantbelasting voor alle behandelingen flink.



Figuur 36. Plantbelasting van Sonsation bestaande uit het aantal open bloemen en gezette vruchten. Aantallen zijn de som van 6 planten. Gedurende de eerste 19,000 GDH in de cel zijn de trossen van Sonsation verwijderd.

Ook in de cumulatieve oogst is er een duidelijk verschil tussen de behandelingen te zien (Figuur 37a). De twee 14-uurs behandelingen en de Nabelichting R hebben veruit de hoogste oogst. Deze behandelingen hebben in teeltweek 24 een enorme piek in oogst gehad (Figuur 37b) door de hoge piek in plantbelasting. Deze piek is hoogstwaarschijnlijk gecreëerd door het weghalen van de trossen tot 19000 GDH. De kleine piek in plantbelasting van Nabelichting R + EOD-FR heeft voor een hogere oogst gezorgd dan de twee 18-uurs behandelingen. De stijgende plantbelasting aan het einde van de proef (Figuur 36) is nog niet terug te zien in de oogstgrafieken, maar als de proef niet was beëindigd, had dit voor flinke toename in de oogst gezorgd.



Figuur 37. Cumulatieve oogst van Sonsation (a). Oogst van Sonsation per week (b). Waarden per strekkende meter zijn de som van 6 planten.

Tijdens de eindoogst zijn er verschillende planteigenschappen geteld (zie Tabel 11). Dit is een momentopname, wat het lastig maakt om harde conclusies te trekken. Hieronder worden een aantal opvallende resultaten besproken:

- De 18-uurs behandelingen en de Nabelichting R met EOD-FR waren gedurende de proef het meest vegetatief. Dit is terug te zien in het relatieve hoge versgewicht van de bladeren en aantal bladeren per plant.
- Voor alle behandelingen zijn er tijdens de eindoogst veel neuzen geteld. De 18-uurs behandelingen en de Nabelichting R met EOD-FR hadden duidelijk meer neuzen dan de

andere behandelingen. Een vegetatieve Sonsation gaat dus vooral door met het maken van nieuwe neuzen terwijl het aantal bladeren per neus niet hoog wordt. Elsanta (proefronde 1) daarentegen legde iets meer neuzen aan, maar kreeg voornamelijk meer bladeren per neus.

- De behandeling Nabelichting R + EOD-FR heeft veruit de meeste nieuwe trossen zonder open bloem. Ook deze behandeling is dus bezig aan een inhaalslag. Hetzij door stressbloei, hetzij door het na lange tijd onder lange dag alsnog generatief worden.

Tabel 11. Eindooft proefronde 2 Sonsation. Gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=6, *n=5). Waarden per strekkende meter zijn de som van 6 planten. Extra data gebaseerd op de gehele proef zijn onderaan in deze tabel weergegeven.

	Eindooft					
	Controle 18u		Controle 14u		Nabelichting R	Nabelichting R + EOD-FR
	RBWFR	18u WFR	RBWFR	14u WFR		
Bladeren versgewicht [g/plant]	532 (185)	449 (104)	245 (40)	250 (99)	330 (192)	521 (205)
Aantal bladeren [#/plant]	180 (63)	158 (31)	102 (10)	101 (43)	99 (45)	153 (44)
Aantal neuzen [#/plant] *	43.6 (21.9)	38.0 (6.0)	22.4 (2.7)	24.4 (7.2)	28.2 (13.5)	36.6 (9.2)
Bladeren per neus *	4.5 (1.5)	4.3 (0.6)	4.7 (0.9)	4.9 (1.4)	4.5 (1.5)	4.2 (0.8)
Trossen zonder open bloem [#m]	32	28	28	34	37	76
<i>Waarden gebaseerd op de gehele proef</i>						
Cumulatief aantal bladeren [#m]	1515	1372	912	900	898	1252
Cumulatief aantal trossen [#m]	106	81	154	119	105	92
Cumulatief geogste vruchten [#m] *	122	105	467	498	501	253
Gemiddeld vruchtgewicht [g]	10.0 (1.1)	9.9 (1.0)	13.0 (1.2)	12.6 (0.9)	12.2 (1.1)	11.1 (1.0)
Bladeren per tros	20.3 (13.7)	24.4 (12.2)	6.0 (1.0)	7.4 (1.5)	8.7 (3.4)	14.0 (4.0)
Vruchten per tros	8.1 (2.4)	7.7 (2.1)	9.1 (4.1)	11.1 (5.2)	10.2 (4.1)	10.4 (5.1)
Troslengete tot de 1 ^e bloem[cm]	22.5 (6.0)	19.5 (6.9)	18.6 (3.0)	19.1 (3.7)	21.7 (4.4)	22.6 (4.1)
Troslengete tot vertakking [cm]	16.5 (4.9)	14.8 (5.4)	10.2 (4.2)	10.3 (3.9)	12.6 (5.2)	12.6 (3.9)

* Vruchten met een zeer slechte zetting (afval) zijn niet meegeteld.

**Gemiddelden en standaarddeviatie gebaseerde op de leeggeogste trossen, n=17-72. Dit lijkt weinig ten opzichte van het aantal cumulatieve trossen (Figuur 34), echter bij eindooft hingen er nog 50-87 trossen/m aan de planten.

3.2.3 Fotosynthese

De fotosynthesemetingen tijdens de eerste proefronde gaven de indicatie dat een fotoperiode van 18 uur belichten met 185 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR bij Favori mogelijk schade aan het fotosysteem kon veroorzaken. Daglengte en lichtintensiteit liepen als factoren door elkaar: Bij 14 uur daglengte werd er 238 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR belicht waardoor de hogere waarden ook eventueel verklaard konden worden door de hogere lichtintensiteit. Tijdens de tweede proefronde is er nogmaals fotosynthese gemeten gedurende de verschillende verhogingen van de lichtintensiteit (50%, 75% en 100%) om dit verder uit te zoeken. De fotosynthese parameters netto CO_2 opname (A), huidmondjesgeleiding (Gsw) en lichtefficiëntie (ΦPSII) zijn gemeten bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR meetlicht.

In Tabel 12 wordt het overzicht van de bepaalde fotosynthese parameters gegeven. Bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR meetlicht is er slechts een gering verschil tussen Favori en Sonsation: de CO_2 -opname lag meestal tussen 11-13 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ en het lichtrendement (ΦPSII) rond de 0.65-0.7. Alleen bij Favori nam de ΦPSII bij 100% belichtingsintensiteit met name af voor de behandelingen met een totale belichtingstijd van 18 uur: rond de 0.6. Tijdens proefronde 1 was dit ook zo. Duidelijk is nu dat dit niet komt doordat onder 18 uur de lichtintensiteit lager is dan onder 14 uur: bij de 50% en 75% schakeling was dit niet het geval. Wat wel een rol kan spelen is het gewasstadium en het beperkte aantal van vijf bladeren en de bladkeuze. De ΦPSII nam bij de twee 14-uurs behandelingen ook enigszins af: rondom een piek in plantbelasting is het aantal visueel onbeschadigde bladeren beperkt.

Het effect van de nabelichting met enkel rood licht op de fotosynthese is ook onderzocht. De nabelichtingsbehandelingen werden vergeleken met de Controle 18 uur RBWFR. Voor Sonsation werden er voor de 50% lichtstap lage waarden gemeten voor de CO_2 -opname en ΦPSII . Dit kan verklaard worden door de extreem lage huidmondjesopening (Gsw). Mogelijk heeft de relatief lage (rode) lichtintensiteit er bij Sonsation voor gezorgd dat de huidmondjes dicht gingen aan het einde van de dag (90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ rood licht is slechts 16 Watt stralingsenergie: er is dus nauwelijks noodzaak tot verdamping). De vergelijking met de Controle 18 uur RBWFR is ook niet volledig zuiver, omdat bij deze behandeling tijdens het meten zowel de bijbelichting als het zonlicht aan stond wat resulteert in een hogere aanwezige lichtintensiteit. Naarmate de lichtintensiteit toenam naar 75% en 100% leek er nauwelijks een negatief effect van de rode nabelichting te zijn, mits de huidmondjesopening voldoende was.

Tabel 12. Fotosynthese parameters gemeten voor jong volgroeide bladeren gedurende 50%, 75% en 100% van de totale bijbelichtingsintensiteit. Metingen zijn uitgevoerd bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Waarden zijn het gemiddelde van 5 bladeren.

Tijdstip	Behandeling	A [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]			G _{sw} [$\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]			ΦPSII		
		50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%
Gedurende de dag	<u>Favori</u>									
	Controle 18u RBWFR	12.3	12.4	9.4	0.19	0.16	0.22	0.67	0.66	0.56
	18u WFR	12.4	13.2	11.9	0.25	0.24	0.24	0.66	0.70	0.65
	Controle 14u RBWFR	13.4	12.6	11	0.24	0.32	0.34	0.71	0.68	0.64
	14u WFR	13	13.3	12.3	0.26	0.28	0.23	0.70	0.70	0.66
	Nabelichting R	13.2	12.5	11.1	0.26	0.21	0.26	0.69	0.68	0.60
	Nabelichting R + EOD FR	12.8	12.3	10.4	0.24	0.20	0.26	0.68	0.67	0.59
	<u>Sonsation</u>									
	Controle 18u RBWFR	12.6	11.5	11.4	0.14	0.15	0.14	0.67	0.66	0.64
	18u WFR	13.3	12.7	11.8	0.18	0.18	0.14	0.70	0.70	0.68
	Controle 14u RBWFR	13.6	11.8	13.2	0.22	0.28	0.29	0.71	0.68	0.70
	14u WFR	13.6	12.6	13.7	0.23	0.26	0.26	0.71	0.68	0.71
	Nabelichting R	11.1	11.8	11.6	0.13	0.20	0.20	0.63	0.67	0.66
	Nabelichting R + EOD FR	13	11.8	10.8	0.17	0.23	0.18	0.69	0.66	0.64
Gedurende de nabelichting	<u>Favori</u>									
	Controle 18u RBWFR	13.3	12.1	10.4	0.22	0.17	0.23	0.69	0.66	0.60
	Nabelichting R	12.2	9.5	10	0.07	0.11	0.17	0.68	0.69	0.59
	Nabelichting R + EOD FR	12	11.9	9.9	0.10	0.10	0.17	0.69	0.63	0.59
	<u>Sonsation</u>									
	Controle 18u RBWFR	12.6	11.5	10.5	0.15	0.19	0.13	0.67	0.66	0.64
	Nabelichting R	6.6	9.7	10.2	0.02	0.06	0.09	0.57	0.66	0.64
	Nabelichting R + EOD FR	6.8	9.1	10.6	0.01	0.05	0.07	0.55	0.66	0.64

3.3 Conclusies proefronde 2

Dit onderzoek startte met de volgende hoofdvraag: Kan assimilatie gescheiden worden van trosinductie met behoud van gewasstrekking (inzet EOD-FR en WFR)? Deze vraag wordt voor beide rassen puntsgewijs beantwoord.

Conclusies doordrager Favori:

- Het wit-verrood (WFR) spectrum verbeterde bij Favori de strekking onder een fotoperiode van 14 uur, maar bij een volgroeid gewas verdween dit effect. Bij een fotoperiode van 18 uur was er geen positief effect van het WFR-spectrum ten opzichte van het RBWFR-spectrum. De planten onder dit spectrum waren juist vroegtijdig overbelast, waardoor er een pauze in ontwikkeling kwam. Mogelijk heeft het spectrum de snelheid waarmee al aangelegde trossen uit de plant kwamen versneld, alhoewel plantvariatie niet geheel uit te sluiten valt.
- Ook het toevoegen van een uur verrood (EOD-FR) aan het einde van de belichtingsperiode heeft de strekking bij Favori bevorderd. De planten onder deze behandeling oogden het meest fris aan het einde van de proef.
- Een fotoperiode van 14 uur leidde ertoe dat er minder trossen werden aangelegd en ook de plantbelasting bleef stabiel. Een kortere daglengte is dus wel degelijk een stuurmiddel voor een stabielere productie van doordragers. Deels wordt de lagere trosinductie wel gecompenseerd door een hoger aantal vruchten per tros.
- In het geval dat Favori werd nabelicht met enkel rood licht, werden voor langere tijd gedurende de proef ook minder trossen aangelegd. Dit suggereert dat het misleidingsspectrum ook voor een doordrager werkt. Echter was hier de plantbelasting minder stabiel, waarschijnlijk omdat de piek in plantbelasting eerder lag. In combinatie met een kleinere plant dan de 14-uursbehandelingen zorgde dit ervoor dat daarna ook het dal in plantbelasting dieper was. Een tragere trosinductie geeft dus geen garanties voor een stabiele productie omdat de verschijningsnelheid van de al geïnduceerde trossen in de plantopbouwfase ook invloed heeft op de stabiliteit van de plantbelasting.

Conclusies junidrager Sonsation:

- Strecking wordt bij Sonsation bevorderd door een daglengte van 18 uur ten opzichte van 14 uur. Wanneer er een uur verrood (EOD-FR) wordt ingezet aan het einde van de dag, wordt ook de strekking verbeterd. Echter is de strekking niet beter dan wanneer er een daglengte van 18 uur wordt ingezet. Het lijkt erop dat de planten onder 14 uur en de vlakke etmaaltemperatuur in beginnende dormancy gaan.
- Bij 14 uur zorgt het wit-verrood (WFR) spectrum voor een toenemende strekking, maar het effect is met name aanwezig als de planten onbelast zijn en het gewas nog open is. Bij 18 uur is er geen toename in strekking met het WFR-spectrum, mogelijk is de maximale strekking al bereikt.
- Opnieuw is het gelukt om een junidrager fotoperiodisch te misleiden voor trosinductie. Voor een fotoperiode van 18 uur, bestaande uit een dag van 12 uur gevolgd door 6 uur

enkel rood licht, was het aantal trossen min of meer gelijk aan een fotoperiode van 14 uur. Echter wanneer hier een uur verrood (EOD-FR) aan toe werd gevoegd, lijkt de fotoperiodische misleiding niet meer te werken. Waarschijnlijk geeft het uur verrood licht aansluitend aan de 6 uur nabelichting alsnog een lange dag signaal voor trosinductie.

4 Ronde 3: Strecking met behoud van fotoperiodische misleiding

Dit onderzoek startte met een verlenging van de hoofdvraag uit proefronde 2: Kan assimilatie gescheiden worden van trosinductie met behoud van gewasstrekking zonder hierbij de trosinductie te verknoeien? Korter geformuleerd: Kan er gestuurd worden op strekking met behoud van de fotoperiodische misleiding? Hiervoor is de trosinductie en strekking van een doordragende aardbei (Favori) en een junidragende aardbei (Sonsation) onderzocht bij twee verschillende daglengtes en lichtspectra. Om te sturen op strekking is opnieuw EOD-FR ingezet. Maar in plaats van een uur (proefronde 2) is dit slechts 10 minuten ingezet. Dit zou genoeg moeten zijn om de strekking te stimuleren (fytochroom B-reactie, minutenschaal) zonder dat dit de daglengtewaarneming activeert (fytochroom A-reactie, urenschaal). Tevens is ook een hogere golflengte verrood gekozen: 760 nm ten opzichte van de standaard 730 nm. 730 nm LEDs hebben een kleine staart rood licht (<700nm) wat mogelijk als daglengte kan worden waargenomen. Het actiespectrum van fytochroom A piekt op 710 nm (Taiz&Zeiger Plant Physiology and development, webtopic: Phytochrome and High Irradiance responses). Het verhogen van de golflengte naar 760 nm kan dit mogelijk voorkomen.

Als basis bijbelichting naast het kunstdaglicht werd opnieuw het lichtspectrum dat de beste strekking gaf in ronde 1 gekozen: RBWFR. Planten werden voor 44-45 weken geteeld in een klimaatcel. De planten bevonden zich onder gesimuleerde wintercondities. In totaal werden er zes verschillende lichtbehandelingen getest.

4.1 Materiaal en methoden proefronde 3

4.1.1 Plantmateriaal

Stekken van de rassen Favori en Sonsation zijn opgekweekt bij Van der Avoird Trayplant. Favori (module, regulier materiaal) werd gestekt op 27 augustus 2021. Sonsation (minitray, moedermateriaal) werd gestekt op 29 juli. De stekken stonden onder een natuurlijke daglengte in de kas (respectievelijk 11823 en 22050 GDH). Op 4 oktober werden de planten naar een klimaatcel verplaatst tot en met 8 december 2021 (21231 GDH, respectievelijk 33054 en 43281 GDH). Hier ontvingen de planten een daglengte van 16 uur onder RWBFR-LEDS (22/17°C dag/nachttemperatuur op 12/12 schema). Er was dus sprake van vers stekmateriaal waarbij Sonsation onder de natuurlijke daglengte van voor 4 oktober geïnduceerd is.

Op 9 december 2021 werden de planten in de klimaatcel met zes klimaatcabines bij Plant Lighting geplaatst. Per behandeling werden er van beide rassen per strekkende meter 6 plantjes geplant (Figuur 38). Favori en zeker Sonsation startte duidelijk gestrekter dan in vorige proefrondes. De plantafstand was 17 cm. Het substraat bestond uit een mix van 20%

zwartveen (medium grof), 20% zwartveen (grof), 20% perliet en 40% kokosveen (strawberry excellent, BVB Substrates). De proef werd 45 weken later beëindigd op 20 oktober 2022.



Figuur 38. Stekken van Favori (links) en Sonsation (rechts) zoals geplant in de zes klimaatcabines (2 m²) bij de start van de proef. Per behandeling waren er van beide rassen per strekkende meter 6 stekken geplant.

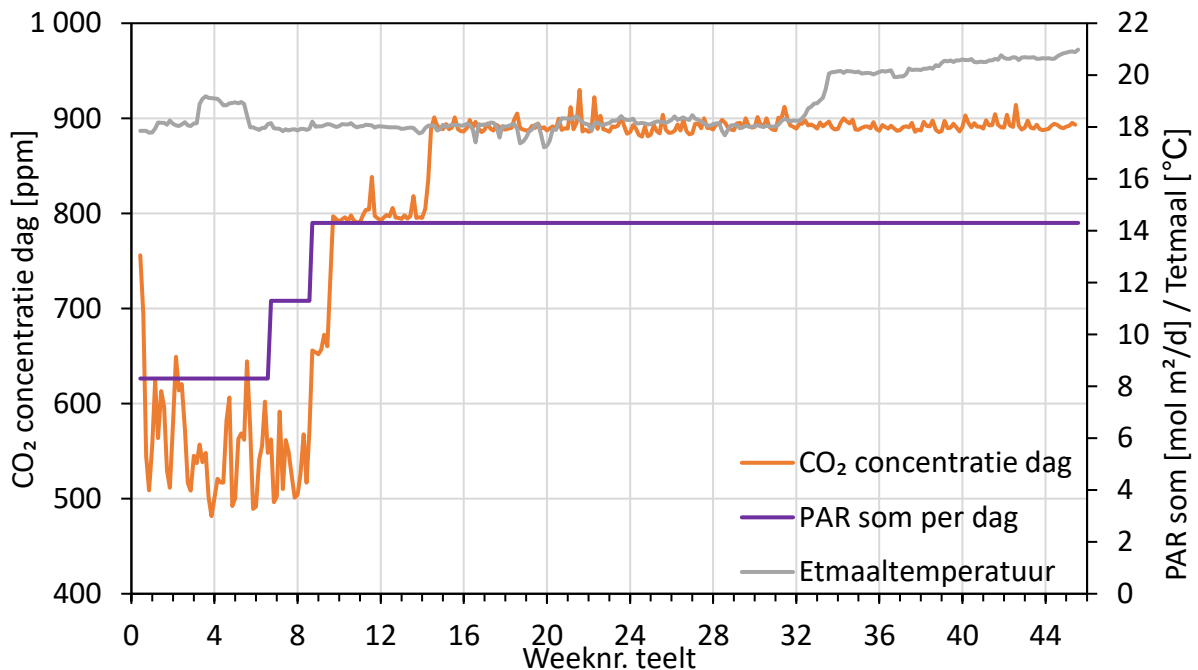
Niet geplant materiaal is onderzocht op trossaanleg door middel van bloemonderzoek. Hieruit bleek dat zowel Favori als Sonsation generatief was. Een bestaande vuistregel luidt dat het 19000 groeigraduren duurt tussen inductie en de eerste open bloem van een tros. Daarom is aangenomen dat de trossen die verschenen voordat 19000 groeigraduren (GDH) werden behaald in de klimaatcel (~9.5 week) zijn geïnduceerd tijdens de opkweek. Deze proefronde zijn er bewust geen trossen weggehaald bij Sonsation. Hierbij was de vraag wanneer de bloei zou gaan stoppen bij de 18-uurs controle.

4.1.2 Klimaat

Het klimaat was voor alle zes de behandelingen hetzelfde (Figuur 39). De luchttemperatuur werd gestuurd op basis van een etmaalgemiddelde. Er werd een etmaaltemperatuur van 18°C aangehouden met een maximale toegestane DIF van 1°C. Vanaf proefweek 32 werd de etmaaltemperatuur verhoogd naar 20.5°C. In de klimaatcel was, vergelijkbaar met proefronde 1 en 2, de luchttemperatuur gemiddeld 1.5°C hoger dan de planttemperatuur. Aangezien planttemperatuur uiteindelijk bepalend is voor processen in de plant, werd besloten om de gerealiseerde groeigraduren in de proef te berekenen aan de hand van de planttemperatuur (planttemperatuur =luchttemperatuur-1.5°C). In totaal werden er 98245 groeigraduren gerealiseerd in de klimaatcel. De RV was overdag rond de 60% en in de nacht rond de 70%.

Zowel de lichtsom als de CO₂-concentratie werden verhoogd gedurende de proef (Figuur 39) op basis van een inschatting van de assimilatenbehoefte van de planten. De totale lichtsom was voor alle behandelingen gelijk en nam toe in drie stappen van 8.3 naar 11.3 tot 14.3 mol/m²/d. De hoeveelheid kunstmatig zonlicht van 2.3 mol/m²/d bleef gedurende de proef constant en enkel de bijbelichting en nabelichting werd in intensiteit verhoogd in

stappen van 50%, 75% en 100%. Bij een plantbelasting van 50 bloemen+vruchten/m werd er opgeschakeld van 50% naar 75% en bij een plantbelasting van 100 bloemen+vruchten/m werd er opgeschakeld van 75% naar 100%. De CO₂-concentratie begon op 500 ppm en is bij een plantbelasting van 125 bloemen+vruchten/m stapsgewijze verhoogd tot 900 ppm. De CO₂ is bewust later dan het licht opgeschakeld om verschillen in het 'stuur'-licht zo snel mogelijk te maximaliseren.



Figuur 39. De totale lichtsom per dag en de dagelijkse CO₂-concentratie werden geleidelijk verhoogd gedurende de proef op basis van een inschatting van de assimilatenbehoefte van de planten. De intensiteit van de bijbelichting werd stapsgewijs verhoogd van 50% naar 75% tot 100% (respectievelijk 6, 9 en 12 mol PAR/m²/dag). Bij de maximale lichtintensiteit was dit respectievelijk 185 en 238 μmol/m²/s bij een fotoperiode van 18 en 14 uur. De temperatuur werd vanaf week 32 verhoogd.

4.1.3 Gewasverzorging

Verschillende gewaswerkzaamheden vonden plaats gedurende de proef. Dagelijks werden bloemen bestoven door trossen te trillen met behulp van een elektrische tandenborstel. Om de twee weken werden oude en beschadigde bladeren verwijderd. Om het gewas luchtig te houden werd er een maximaal aantal bladeren van ongeveer 240 per strekkende meter aangehouden. Ook werden ziekten en plagen bestreden met biologische bestrijders. In het geval dat dit niet mogelijk was, is er gekozen om chemische middelen in te zetten.

Tussen de verschillende rassen en behandelingen zat een groot verschil in waterbehoefte. Alle behandelingen hadden hun eigen watergiftsysteem en konden apart worden aangestuurd. Op het moment dat de planten volgroeid waren, varieerde de waterbehoefte van 0.7 (minst strekkende Favori) tot 3.4 liter (meest strekkende Sonsation) per strekkende meter. Er werd gestreefd naar een drainpercentage van 10-30% van de dagelijkse hoeveelheid aangeboden water. Gedurende de teelt werden er twee nutriëntenschema's

gehanteerd: één voor de periode zonder vruchtdracht en één voor de periode met vruchtdracht (Bijlage 1). De EC van de voedingsoplossing was 1.0-1.5, afhankelijk van de drain EC (som van gift+drain EC van 2.8-3.0). De pH was 5.5-5.8.

4.1.4 Behandelingen

Alle zes behandelingen kregen door middel van een zonlichtlamp een gesimuleerde winterdag. Er werd een constante intensiteit zonlicht aangeboden van $80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ voor 8 uur per dag (Figuur 5c). Dit resulteerde in een dagelijkse lichtsom van $2.3 \text{ mol}/\text{m}^2$. Naast zonlicht werd er ook bijbelichting toegepast voor alle behandelingen. Dit was LED-belichting met een rood, blauw, wit, verrood spectrum (RBWFR; Figuur 40). De bijbelichting stond voor en tijdens de dag aan. Daarnaast ontvingen drie van de zes behandelingen nabelichting nadat de dag ten einde was. Als nabelichting werd er zes uur lang enkel rood (R) licht toegediend, wel of niet aangevuld met tien minuten puur verrood (FR) licht. Twee verschillende FR spectra werden vergeleken: een met een piek op 730nm, en een met een piek van 760nm. In Tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de verschillende spectra.

In totaal werden er zes verschillende behandelingen getest (Tabel 14). Deze behandelingen verschilden in daglengte (18 en 14 uur), nabelichting met puur rood, en het wel of niet toepassen van EOD-FR bij twee verschillende golflengtes. De gerealiseerde behandelingen waren als volgt:

- 1) Een controlebehandeling met een fotoperiode van 18 uur met een bijbelichtingsspectrum RBWFR.
- 2) Een controlebehandeling met een fotoperiode van 14 uur met een bijbelichtingsspectrum RBWFR.
- 3) Een behandeling met een fotoperiode van 14 uur met een bijbelichtingsspectrum RBWFR, gevolgd door tien minuten verrood licht met een piek op 730nm.
- 4) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 12 uur werd bijbelicht met een RBWFR-spectrum en na de 'zonsondergang' er 6 uur werd nabelicht met enkel rood licht.
- 5) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 12 uur werd bijbelicht met een RBWFR-spectrum en na de 'zonsondergang' er 6 uur werd nabelicht met enkel rood licht. Vervolgens werd er tien minuten met puur verrood licht (EOD-FR) met een piek op 730nm belicht.
- 6) Een fotoperiode van 18 uur waarvan de eerste 12 uur werd bijbelicht met een RBWFR-spectrum en na de 'zonsondergang' er 6 uur werd nabelicht met enkel rood licht. Aansluitend werd er tien minuten met puur verrood licht belicht (EOD-FR) met een piek op 760nm.

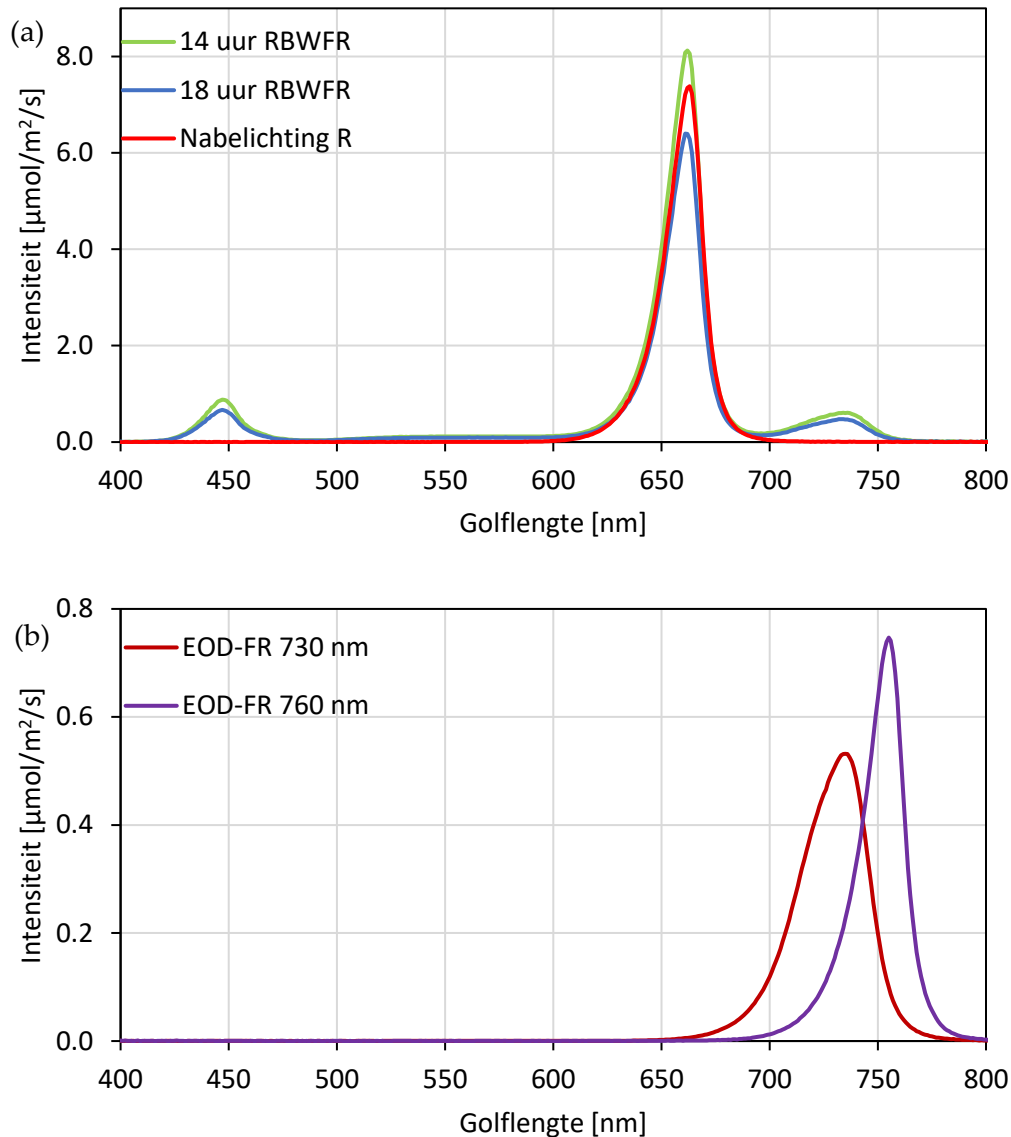
Tabel 13. Details van de verschillende spectra. Percentages zijn ten opzichte van de totale hoeveelheid PAR. Voor zonlicht was dit 8 uur lang 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Voor RBWFR en R was de eindintensiteit 185 en 238 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij respectievelijk 18 en 14 uur daglengte. Verrood behoort niet tot PAR, maar wordt wel als percentage weergegeven van de totale hoeveelheid PAR.

	Zonlicht	RBWFR	R	FR 730nm	FR 760nm
Blauw	28%	10%	0%	0%	0%
Groen	33%	5%	0%	0%	0%
Rood	39%	85%	100%	0%	0%
Verrood	26%	10%	0%	10%	10%
PSS	0.72	0.86	0.89	0.17	0.08

Tabel 14. Overzicht van de verschillende behandelingen en de bijbehorende belichtingstijden. De einde-dag verrood nabelichting wordt in de tabel als half uur weergegeven, terwijl deze in werkelijkheid slechts tien minuten duurde.

Gesimuleerde tijd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Controle 14 uur																								
Controle 14 uur + EOD-FR																								
Controle 18 uur																								
Nabelichting R																								
Nabelichting R + EOD-FR 730 nm																								
Nabelichting R + EOD-FR 760 nm																								

De grafieken van de verschillende spectra worden in Figuur 40 weergegeven. In Figuur 40a is te zien dat de bijbelichtingsspectra niet voor iedere behandeling dezelfde intensiteit hebben. Voor deze proef is ervoor gekozen alle behandelingen dezelfde lichtsom te geven. Behandelingen met een kortere fotoperiode ontvangen om die reden een hogere intensiteit. Bij de maximale lichtintensiteit was dit respectievelijk 185 of 238 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van 18 of 14 uur. Figuur 40 laat het spectrum van de EOD-FR bij 730 en 760nm zien.



Figuur 40. Overzicht van de verschillende spectra. Grafiek (a) laat de belichtingsspectra zien voor de bijbelichting in de 14- en 18 uren fotoperiode en het nabelichtingsspectrum met enkel rood. De intensiteiten in beide grafieken komen overeen met de maximale belichtingsintensiteit van respectievelijk 185 en 238 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een fotoperiode van 18 en 14 uur. Grafiek (b) laat de EOD-FR spectra zien. Hiervan bleef de intensiteit gelijk gedurende de proef (18.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

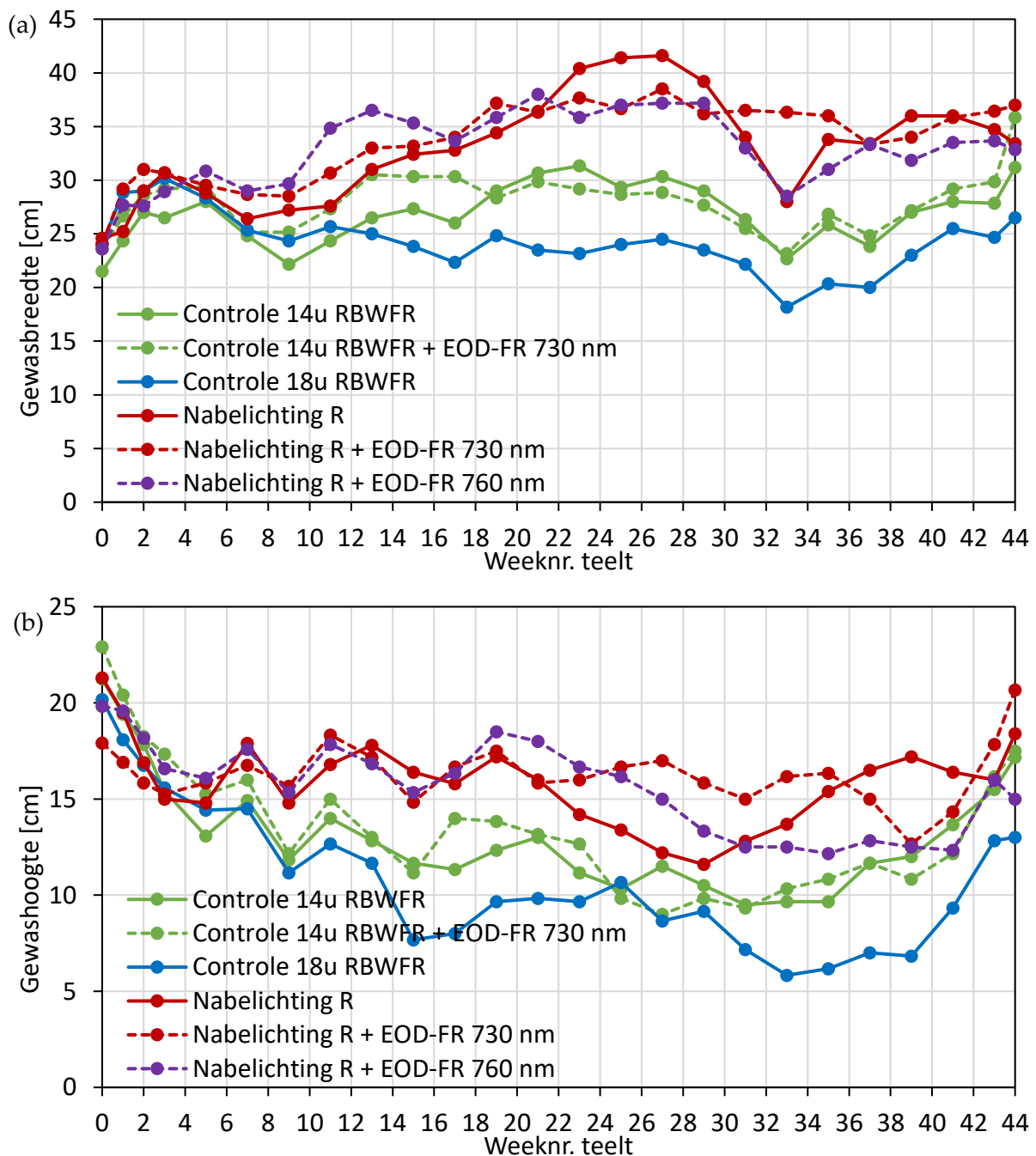
4.1.5 Metingen

Tijdens de derde ronde zijn voornamelijk dezelfde planteigenschappen gemeten als tijdens de twee voorgaande rondes. Deze metingen hebben betrekking tot gewasopbouw, trosinductie en plantbelasting. Na enkele weken werd ontdekt dat een van de Favori planten in Nabelichting R geen Favori is, maar een Murano. Oogstdata zijn gecorrigeerd voor het lager aantal Favori planten in deze behandeling.

4.2 Resultaten proefronde 3

4.2.1 Favori (doordrager)

Tijdens de derde proefronde bleef het gewas in alle behandeling vijf tot tien centimeter lager en smaller dan in de voorgaande proefrondes. In Figuur 41 is de gewasbreedte en gewashoogte weergegeven gedurende de proef.

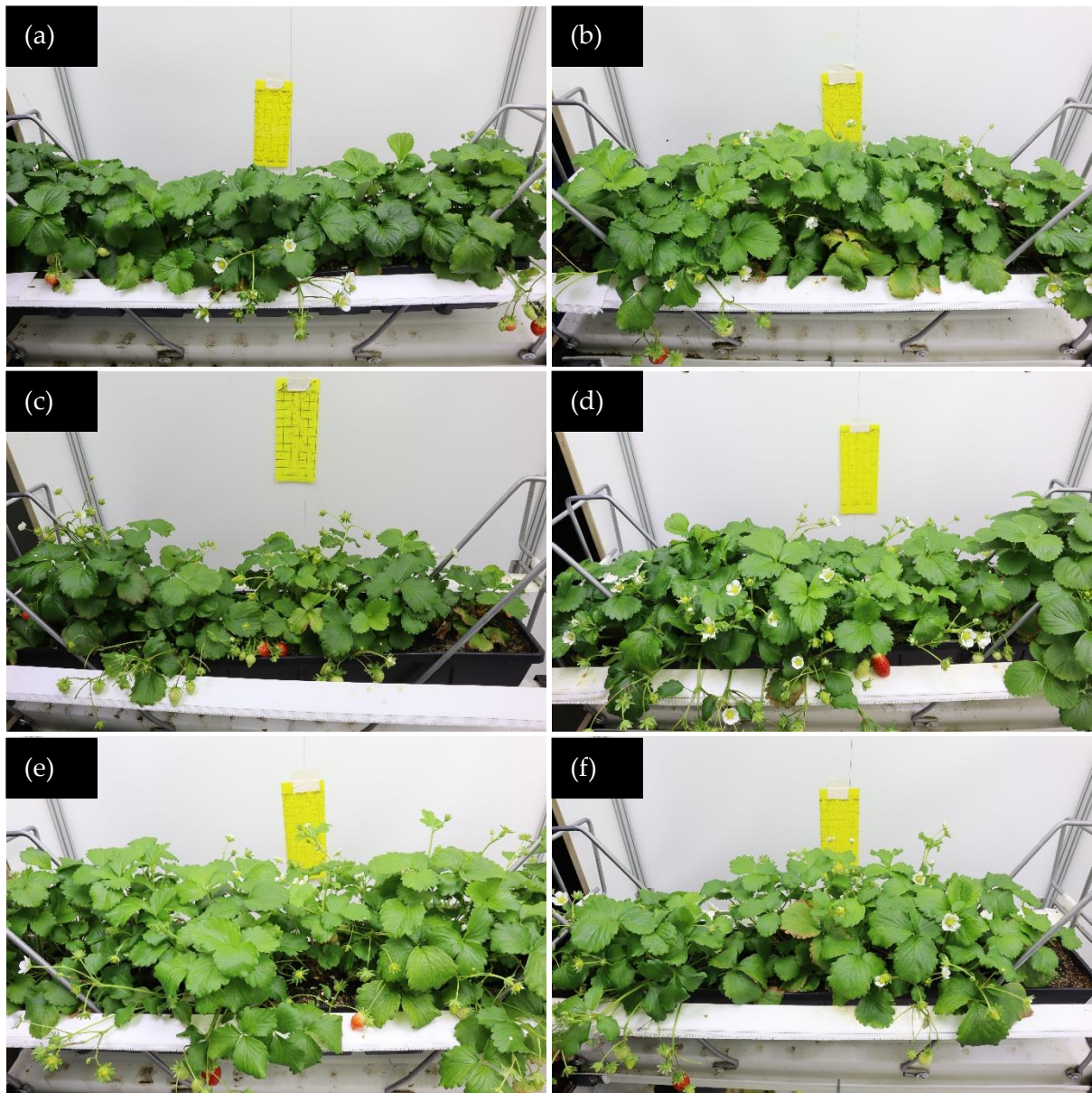


Figuur 41. Gewasbreedte (a) en gewashoogte (b) gemeten bij Favori. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.

De Controle 18 uur RBWFR gaf verreweg de kleinste planten (zie ook Figuur 42). Waarschijnlijk is dit het gevolg van een vroegtijdige overbelasting van deze behandeling. Vervolgens bleven planten van deze behandeling na een pauzestand en weer enige vegetatieve groei veel trossen induceren waardoor de overbelasting in stand bleef. Nabelichting met rood licht gaf een betere strekking dan beide 14-uursbehandelingen. EOD-FR heeft hierbij nauwelijks effect op strekking gehad. Van week 23 tot week 29 gaf Nabelichting R een lager maar breder gewas dan Nabelichting met EOD-FR. Dit suggereert een wat meer 'ingezakt' gewas. Vanaf proefweek 32-34 werd de etmaaltemperatuur verhoogd van 18 naar 20.5°C (Tplant~19°C). Dit heeft de gewashoogte en wat later de gewasbreedte van vooral de beide 14-uursbehandelingen positief beïnvloed. Deels valt dit samen met hergroei die hoort bij de start van de 4^e oogstpiek.

In de 10^e proefweek werd de 19000 GDH gepasseerd. Vanaf dat moment kan gesproken worden van trossen die aangelegd zijn onder de verschillende behandelingen. Voor die tijd zijn er echter wel verschillen in plantbelasting waar te nemen. De plantbelasting kwam het snelst op gang bij de Controle 18 uur waardoor deze al snel overbelast werd (Figuur 44 en Figuur 45). Tijdens een BCO is toen besloten om een aantal trossen op 3 vruchten te zetten om zo de plantbelasting te maximaliseren op zo'n 100 vruchten per strekkende meter. Per behandeling zijn er 30-60 vruchtjes/knopjes verwijderd. Gezien de achterblijvende vegetatieve ontwikkeling van deze behandeling werd de vruchtdunning te laat uitgevoerd en was een plantbelasting van 100 vruchten per strekkende meter nog te hoog.

De trosinductie (Figuur 44) bleef bij de 14-uursbehandelingen achter ten opzichte van de nabelichtingsbehandelingen. Dit wekt de suggestie dat er geen sprake is van fotoperiodische misleiding. Echter de strekking en dus lichtonderschepping lag onder 14 uur veel lager waardoor een lagere gewasfotosynthese waarschijnlijk ook een negatieve rol gaat spelen in inductie. Ook in proefronde 1 liet een smaller gewas een lagere trosinductie zien. Waarschijnlijk lag om diezelfde reden ook de trosinductie van de 18-uurs controle lager dan die van de nabelichtingsbehandelingen. Bij de 18-uurs controle waren er telkens rond de twee planten die beurtelings geen belasting hadden terwijl planten die wel meededen overinductie lieten zien (tot 10 trossen per plant; Figuur 43). Gezien de slechte toestand van de planten (Figuur 43) is het nog verbazingwekkend dat de trosinductie hoger lag dan de 14-uursbehandelingen.

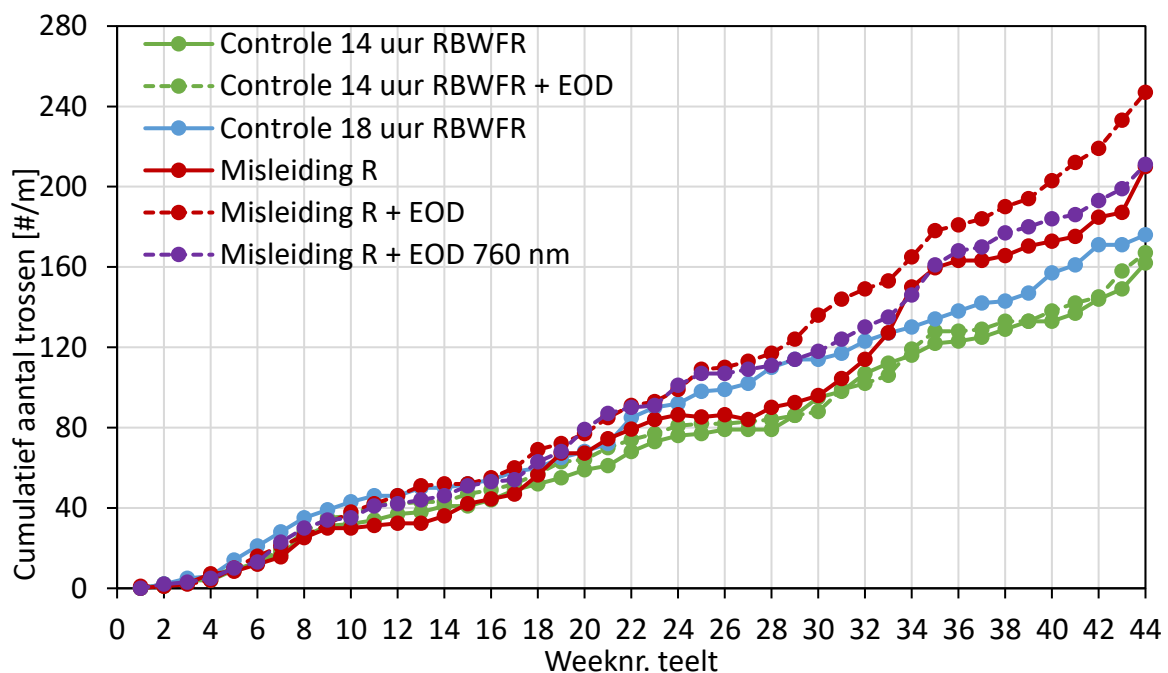


Figuur 42. Favori planten na 44 weken teelt. Behandelingen zijn: (a) Controle 14u RBWFR, (b) Controle 14u RBWFR+EOD-FR (c) Controle 18u RBWFR, (d) Nabelichting R, (e) Nabelichting R + EOD-FR (f) Nabelichting R + EOD-FR 760nm. De meest rechtse plant in (d) Nabelichting R is een Murano in plaats van Favori.

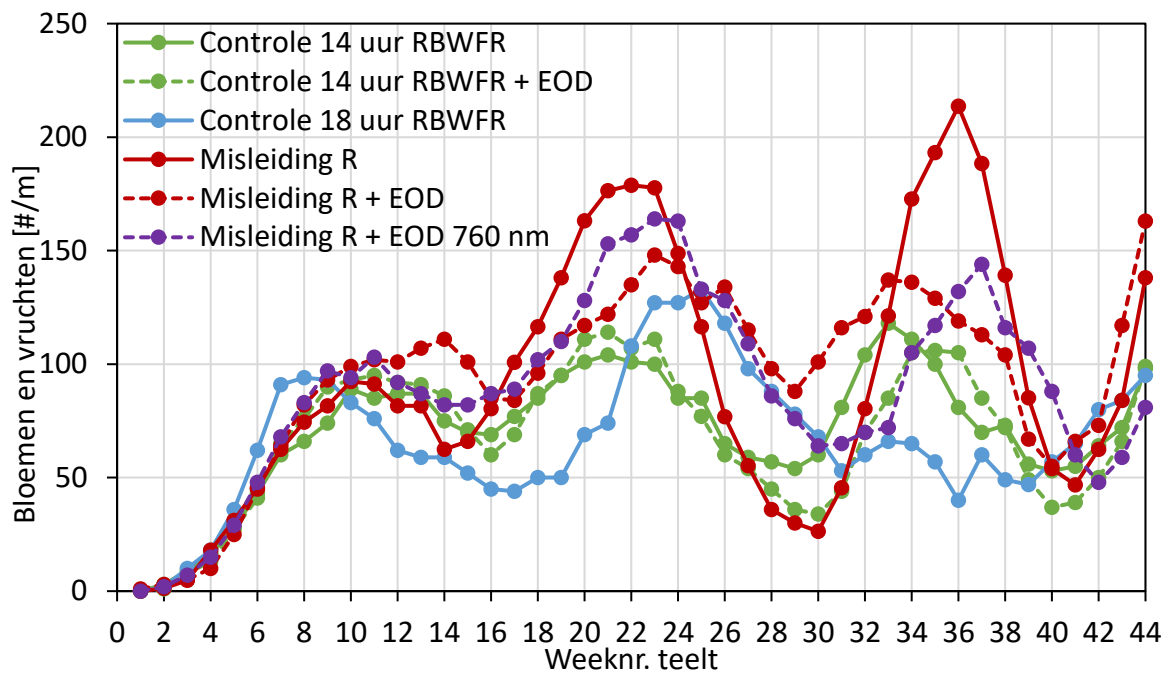


Figuur 43. Favori controle 18u RBWFR laat in teeltweek 32 een overbelast gewas zien. Ook is te zien dat de 3^e en 6^e plant nauwelijks trossen dragen. Gezien de slechte toestand van het gewas is het verbazingwekkend dat de trosinductie iets hoger lag dan de 14-uursbehandelingen.

De plantbelasting (Figuur 45) liet in alle behandelingen een golvend patroon zien: onbalans in zetting. De golving was het laagste onder 14 uur licht. Onder de andere behandelingen waren de pieken in plantbelasting (veel) te hoog. Dit resulteerde in een laag gemiddeld vruchtgewicht (Tabel 15).

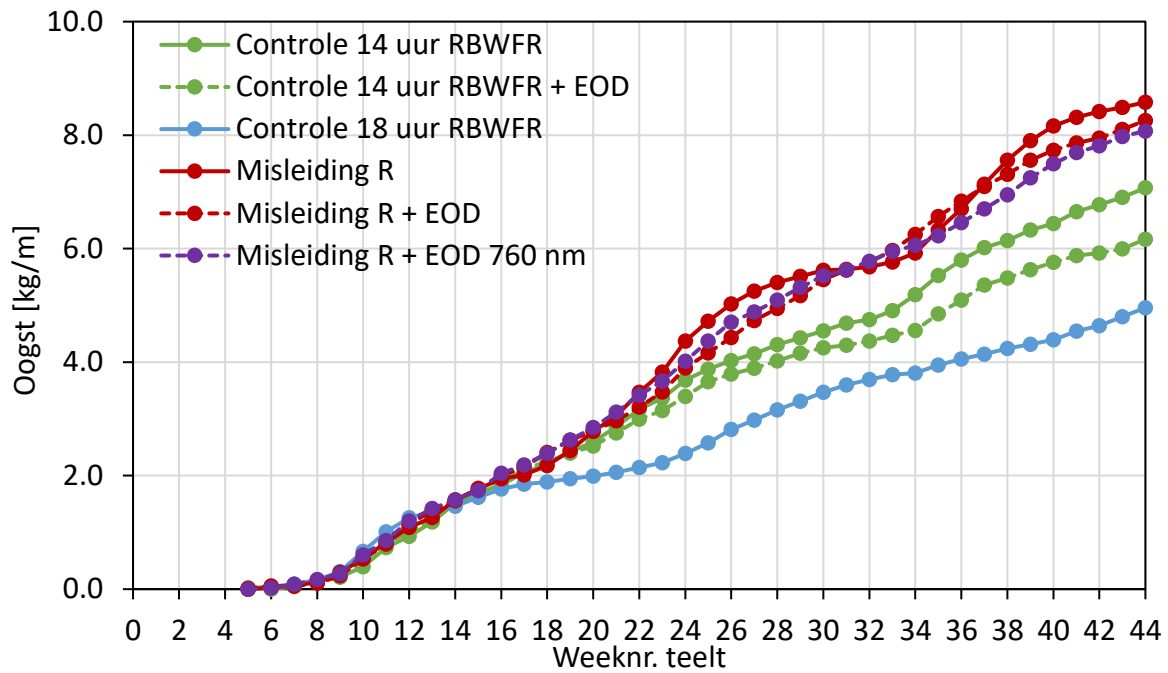


Figuur 44. Aantal cumulatieve trossen van Favori. Trossen zijn geteld vanaf het moment dat de eerste bloem open was. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten. Tot de 10^e week (>19000GDH) zijn de trossen zeker afkomstig van de plantenkweker.



Figuur 45. Plantbelasting van Favori bestaande uit het aantal open bloemen en gezette vruchten. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten. In week 8 en 9 is de plantbelasting verlaagd naar maximaal 100 vruchten per strekkende meter door enkele trossen te dunnen tot 3 vruchten/tros.

De cumulatieve oogst staat weergegeven in Figuur 46. De laagste oogst is behaald onder de Controle 18 uur. De vroegtijdige overbelasting heeft ervoor gezorgd dat de planten nauwelijks strekten waardoor er minder trossen zijn geïnduceerd en minder vruchten geoogst. De 14-uurs behandelingen laten een lagere oogst zien dan de nabelichtingsbehandelingen. Deze hadden een min of meer gelijke oogst en lichtonderschepping. De behandeling 14 uur +EOD had net zoveel trossen als de Controle 14 uur, maar de trossen waren gemiddeld 1 vrucht kleiner (4.8 ten opzichte van 5.7; Tabel 15). Het vruchtgewicht was niet hoger, daarom heeft dit zich vertaald naar een lagere oogst. Of dit wordt veroorzaakt door de 10 minuten EOD-FR is niet duidelijk.



Figuur 46. Cumulatieve oogst van Favori. Waarden per meter zijn de som van 6 planten.

Tabel 15 geeft een aantal gemeten planteigenschappen weer bij de eindoogst en een aantal gemiddelden op basis van de hele teelt. De volgende zaken vallen hierbij op:

- Tros lengte: EOD-FR heeft bij 14 uur daglengte iets langere trossen gegeven, echter niet bij de nabelichtingsbehandelingen.
- Bladeren per tros: De Controle 18 uur heeft 2 bladeren/tros. De 14-uursbehandelingen ruim 3 bladeren per tros. Daglengte beïnvloedt dus de generativiteit. De nabelichtingsbehandelingen zitten hier tussenin. In proefronde 2 zat de blad/trosverhouding van de nabelichtingsbehandelingen dichterbij die van de 14-uursbehandelingen.
- De relatieve overinductie van de Controle 18 uur heeft geresulteerd in een iets hogere trosinductie dan de 14-uursbehandelingen. De trosgrootte en het gemiddeld vruchtgewicht waren het laagst.
- De tros lengte van de nabelichtingsbehandelingen was zo'n 5 cm langer dan die van de 14-uursbehandelingen en de Controle 18 uur.

Tabel 15. Eindoogst ronde 3 Favori. Gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=6). Waarden per meter zijn de som van 6 planten. Extra data gebaseerd op de gehele proef zijn onderaan in deze tabel weergegeven.

Eindoogst						
	Controle 14u RBWFR	14u RBWFR + EOD-FR	Controle 18u RBWFR	Nabelichting R	Nabelichting R + EOD-FR 730nm	Nabelichting R + EOD-FR 760nm
Bladeren versgewicht [g/plant]	61 (24)	55 (15)	25 (16)	66 (43)	57 (18)	37 (21)
Aantal bladeren [#/plant]	36 (11)	30 (9)	20 (6)	38 (16)	40 (9)	25 (9)
Aantal neuzen [#/plant]	6.3 (1.5)	5.7 (2.0)	4.5 (0.8)	7.8 (4.1)	7.3 (1.2)	5.0 (1.3)
Bladeren per neus	5.8 (1.2)	5.5 (1.3)	4.3 (1)	4.9 (1.2)	5.4 (0.7)	5.0 (1.0)
Trossen zonder open bloem [#m]	8	25	13	23	28	17
Waarden gebaseerd op de gehele proef						
Cumulatief aantal bladeren [#m]	546	521	362	565.2	650	492
Cumulatief aantal trossen [#m]	162	167	176	250.8	247	211
Cumulatief geogste vruchten [#m] *	613	567	529	763	776	747
Gemiddeld vruchtgewicht [g]	11.5 (0.9)	10.9 (1.4)	9.4 (0.8)	11.2 (0.8)	10.6 (0.5)	10.8 (0.7)
Bladeren per tros	3.4 (0.6)	3.1 (0.6)	2.1 (0.3)	2.7 (0.4)	2.6 (0.3)	2.3 (0.2)
Vruchten per tros**	5.7 (1.5)	4.8 (0.6)	4.4 (0.6)	5.1 (0.3)	4.8 (0.4)	4.8 (0.6)
Tros lengte tot de 1 ^e bloem[cm]**	13.7 (1.0)	14.4 (1.2)	14.6 (1.5)	19.3 (2.1)	19.2 (1.1)	19.1 (1.0)
Tros lengte tot vertakking [cm]**	8.2 (0.9)	9.6 (1.4)	10.9 (1.6)	14.4 (2.1)	14.7 (1.5)	14.2 (1.0)

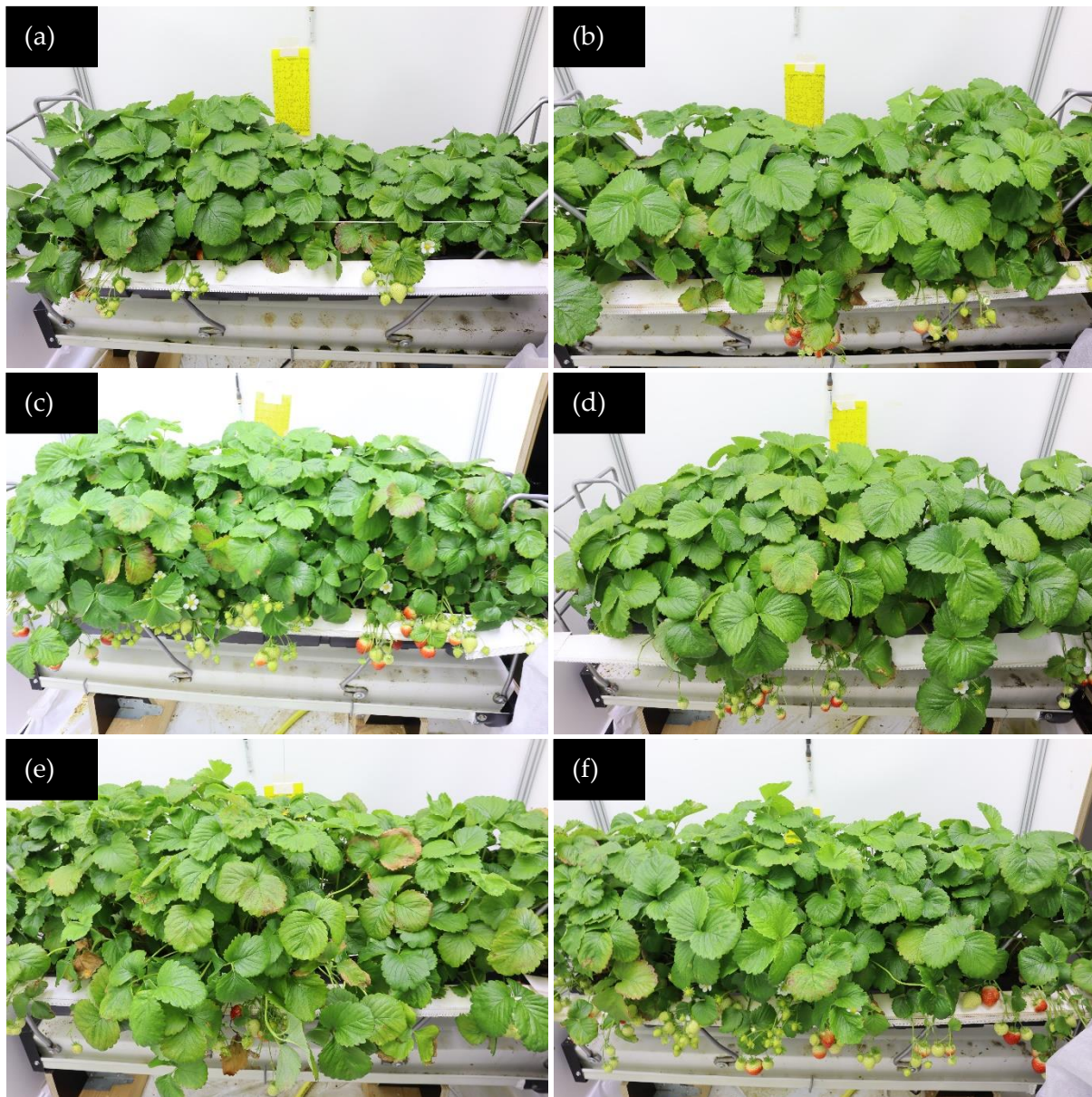
* Vruchten met een zeer slechte zetting (afval) zijn niet meegeteld.

** vruchten per tros en tros lengtes zijn alleen van leeggeogste trossen, dat zijn er rond de 30 minder dan het cumulatief aantal trossen.

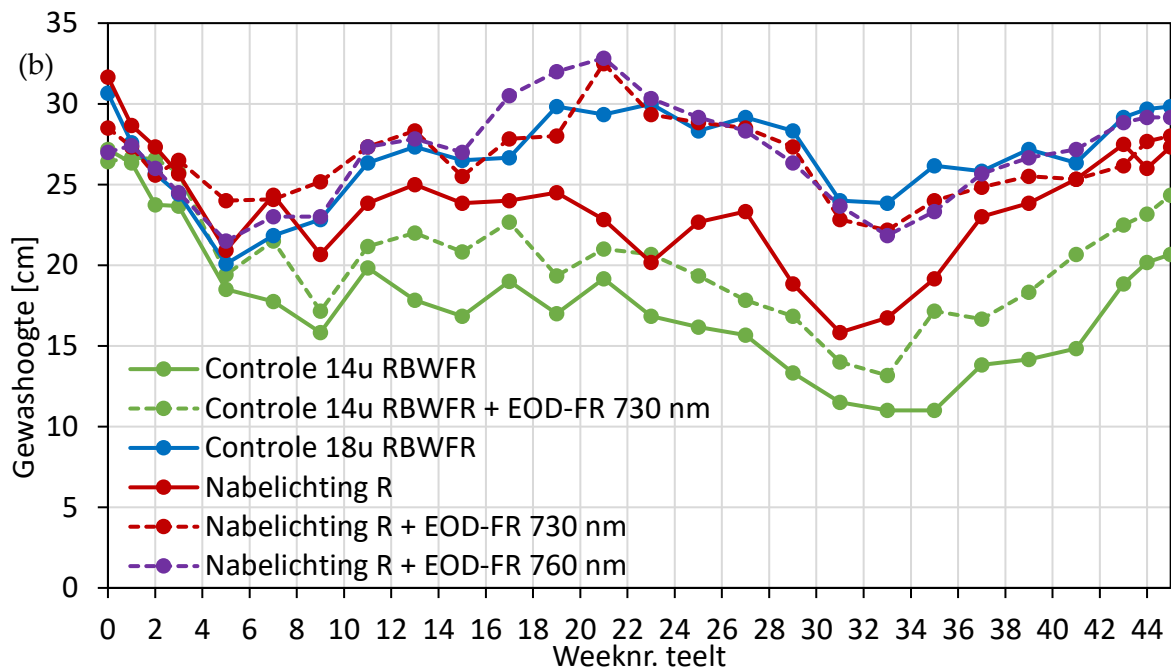
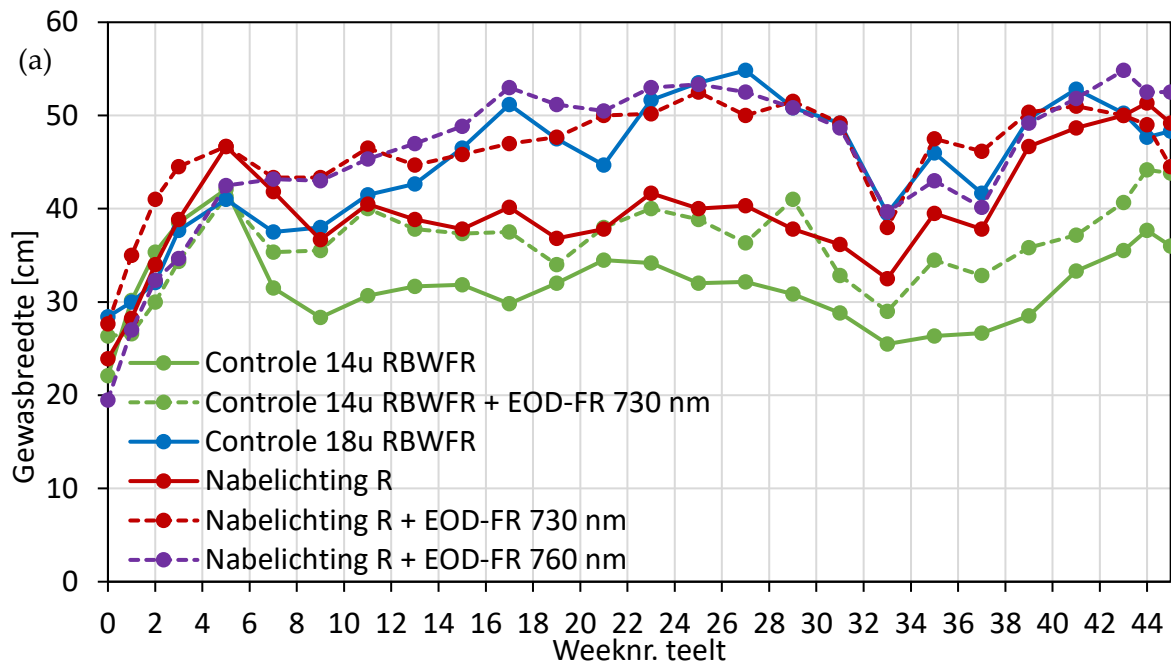
4.2.2 Sonsation (junidrager)

Figuur 47 geeft in foto's een overzicht van alle behandelingen na 45 weken teelt. Er is een duidelijke tweedeling tussen de 14-uurs en de 18-uurs behandelingen: meer strekking onder 18 uur. Figuur 48 laat zien dat een groot deel van de teelt de behandeling Nabelichting R minder strekking vertoonde dan de Controle 18-uur en de twee behandelingen met EOD-FR met 730 en 760nm. Met 10 minuten EOD-FR was er onder 14 uur en 18 met Nabelichting meer strekking, maar niet meer dan die van de Controle 18 uur. Ook is te zien dat de strekking van vooral de 14-uursbehandelingen na de temperatuursverhoging in week 32-34 fors toenam. Figuur 49 laat een detailfoto zien: in plaats van een langzaam uitdijend gewas

werden in de laatste teeltweken nieuwe bladeren gesignaleerd die duidelijk boven het gewas uitstaken.



Figuur 47. Sonsation planten na 45 weken teelt. Behandelingen zijn: (a) Controle 14u RBWFR, (b) Controle 14u RBWFR+EOD-FR (c) Controle 18u RBWFR, (d) Nabelichting R, (e) Nabelichting R + EOD-FR (f) Nabelichting R + EOD-FR 760nm.



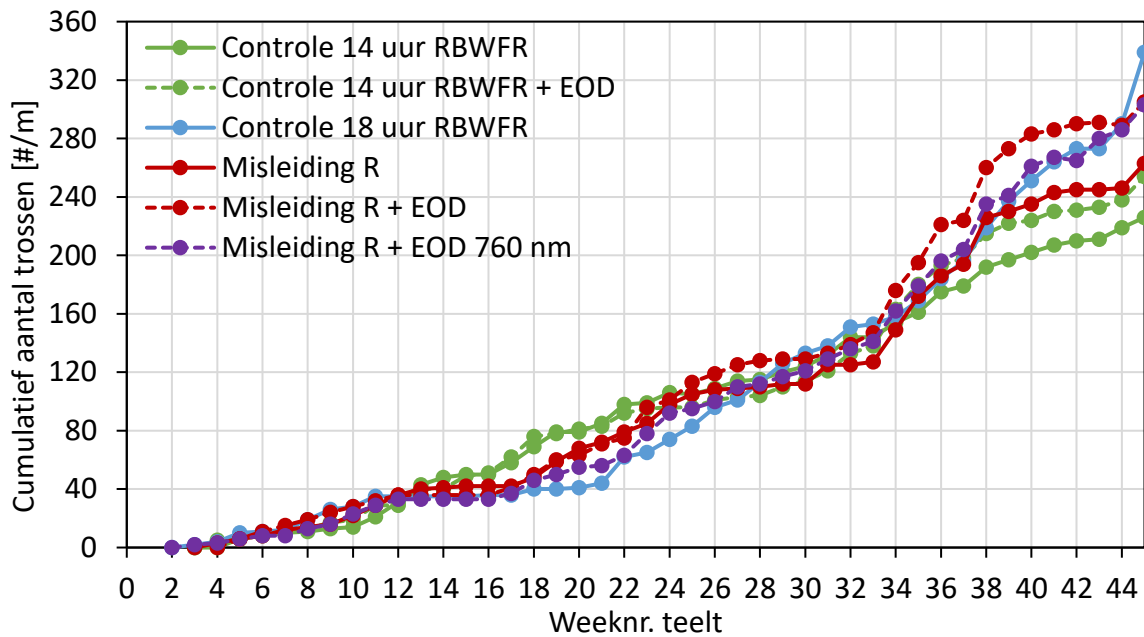
Figuur 48. Gewasbreedte (a) en gewashoogte (b) gemeten bij Sonsation. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.



Figuur 49. Strecking van Sonsation na de temperatuursverhoging. Te zien is dat nieuwe bladeren een stukje boven het gewas uitsteken. Eerdere strekking liet meer een langzaam uitdijend gewas zien. (Foto teeltweek 45).

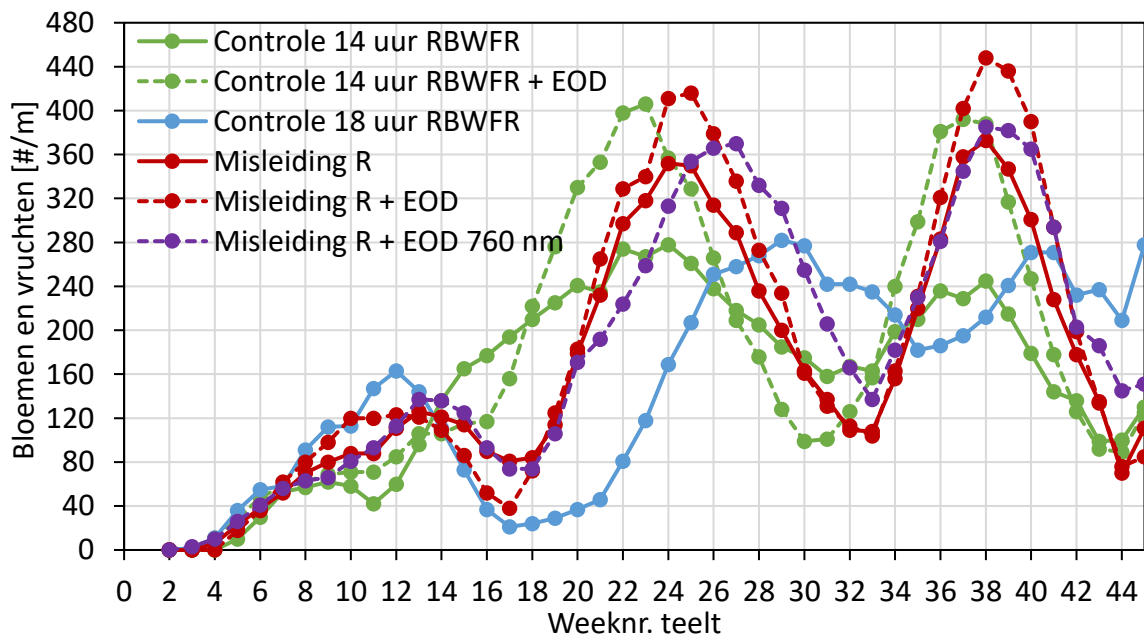
Figuur 50 geeft de cumulatieve trosinductie weer. De volgende zaken vallen op:

- Na een pauze van zo'n 10 weken (week 11-21) laat de Controle 18 uur volop trosinductie zien. Dit is niet onmogelijk voor een voor een kwantitatieve korte dag plant. Echter meer voor de hand liggend is dat de bladplukstrategie hierbij ook een rol heeft gespeeld. Doordat het aantal bladeren gemaximaliseerd was op ongeveer 240 bladeren/m werden er in deze behandeling veel bladeren geplukt (Figuur 53). Het is bekend dat bij doorteelten er door overmatige bladpluk in het najaar vroegbloei kan ontstaan in de winter (persoonlijke mededeling Klaas de Jager, 2022).
- De 14-uursbehandelingen en alle nabelichtingsbehandelingen laten volop inductie zien. Dit laat opnieuw zien dat Sonsation fotoperiodisch te misleiden is. Tevens laat het zien dat 10 minuten EOD-FR de inductie niet verknoeit zoals een uur lang EOD-FR in proefronde 2 wel deed.
- In de 3^e oogstpiek lag de inductie van de nabelichtingsbehandelingen zelfs hoger dan onder de 14-uurs behandelingen. Een voor de hand liggende verklaring is dat de lagere lichtonderschepping resulteerde in een lagere gewasfotosynthese en daardoor een lagere inductie gaf.

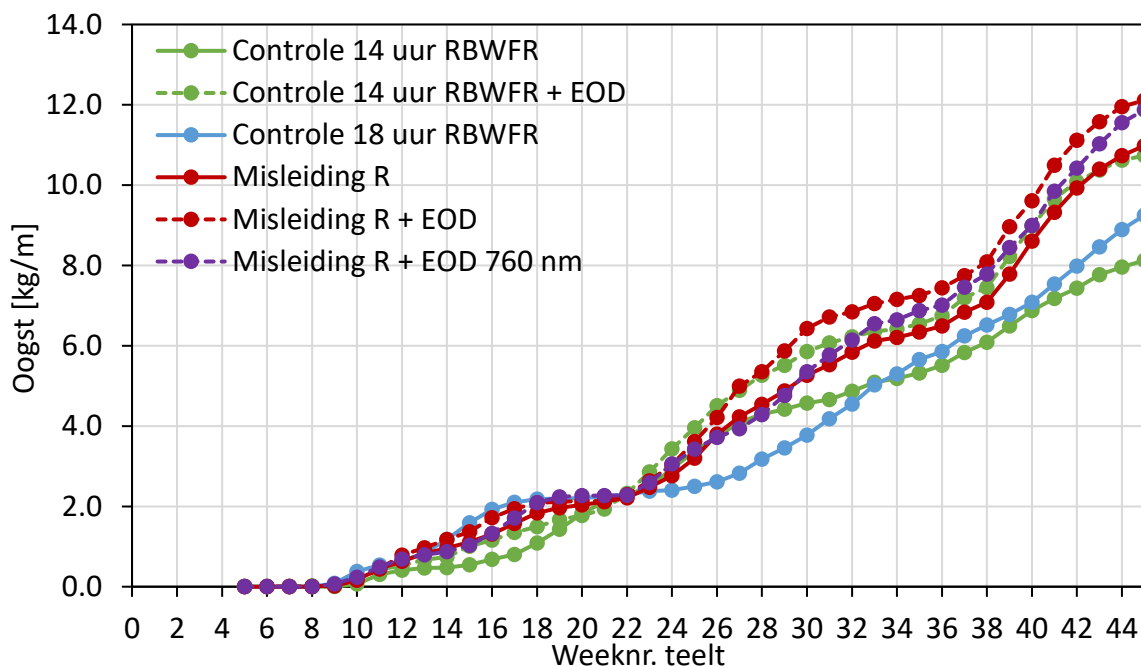


Figuur 50. Aantal cumulatieve trossen van Sonsation. Trossen zijn geteld vanaf het moment dat de eerste bloem open was. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten. Tot 19000GDH (10^e week) zijn de trossen zeker afkomstig van de plantenkweker.

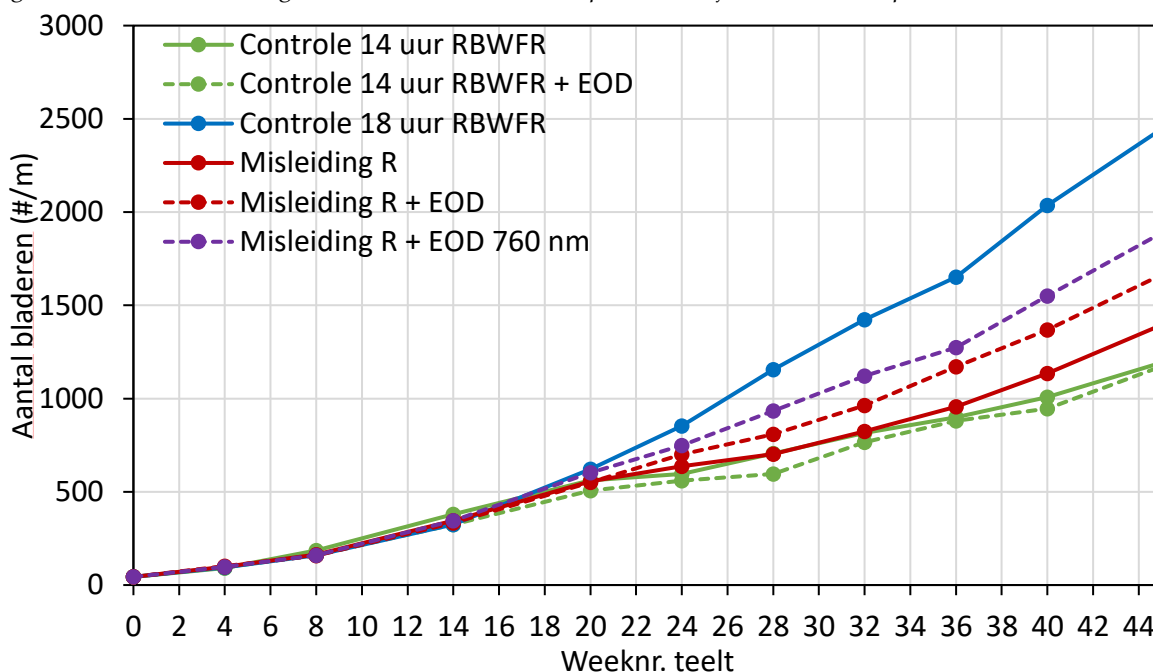
De plantbelasting liet enorme pieken en dalen zien (Figuur 51). Dit laat zien dat zelfs onder gelijke omstandigheden het nog steeds een uitdaging is om in balans te telen. Het plateau in trosinductie van week 13-16/17 (Figuur 50) laat waarschijnlijk zien dat de plant intern tot stilstand is gekomen, waarschijnlijk door eerdere overbelasting. Vervolgens resulteert waarschijnlijk de daaropvolgende tijdelijke onderbelasting in zijneusuitloop en een oogstpiek enige weken later. De oogst was het hoogst bij de nabelichtingsbehandelingen en de Controle 14 uur+EOD-FR en het laagst bij de Controle 14 en 18 uur (Figuur 52).



Figuur 51. Plantbelasting van Sonsation bestaande uit het aantal open bloemen en gezette vruchten. Aantallen per strekkende meter zijn de som van 6 planten.



Figuur 52. Cumulatieve oogst van Sonsation. Waarden per meter zijn de som van 6 planten.



Figuur 53. Cumulatief aantal bladeren van Sonsation. Waarden per meter zijn de som van 6 planten. Oude bladeren werden twee-wekelijks geplukt, ook werd gestreefd om het gewas opener te houden: streefgetal van 240 bladeren/m.

Tabel 16 geeft de resultaten weer van waarnemingen bij de eindoogst en totaal gemiddelden van de hele proef. De volgende zaken vallen op:

- De 18-uurs controle heeft de meeste bladeren ontwikkeld en heeft de meeste neuzen, bijna twee keer zoveel als in de andere behandelingen. De blad/tros-verhouding ligt echter het laagst. Dit laat zien dat op het niveau van een 'neus' de inductie onder lange dag veel trager is geweest. Door het hoge aantal neuzen zijn er uiteindelijk het

hoogste aantal trossen geïnduceerd, maar het aantal vruchten per tros ligt gemiddeld 1 vrucht lager dan in de andere behandelingen.

- Het aantal bladeren/tros is voor de 14-uursbehandelingen en de nabelichtingsbehandelingen gelijk (EOD-FR 760 nm ligt iets hoger). Botanisch gezien heeft de fotoperiodische misleiding gewerkt.
- Onder 18 uur zijn de trossen 5-7 cm langer dan onder 14 uur. EOD-FR geeft onder 14 en 18 uur een 1-2 cm langere tros.

Tabel 16. Eindoogst ronde 3 Sonsation. Gemiddelden met tussen haakjes de standaarddeviatie (n=6). Waarden per meter zijn de som van 6 planten. Extra data gebaseerd op de gehele proef staan onderaan in de tabel.

Eindoogst						
	Controle 14u RBWFR	14u RBWFR+E OD-FR	Controle 18u RBWFR	Nabelichti ng R	Nabelichting R +EOD-FR 730nm	Nabelichting R + EOD-FR 760nm
Bladeren versgewicht [g/plant]	88 (37)	136 (23)	197 (128)	206 (162)	171 (121)	188 (67)
Aantal bladeren [#/plant]	52 (15)	59 (14)	115 (66)	88 (43)	88 (48)	102 (41)
Aantal neuzen [#/plant]	13.5 (4)	14.7 (4)	39.8 (24)	23.0 (12)	24.1 (14)	26.5 (11)
Bladeren per neus	3.9 (0.2)	4.0 (0.1)	2.9 (0.2)	3.8 (0.2)	3.7 (0.1)	3.9 (0.3)
Trossen zonder open bloem [#m]	18	19	26	14	27	20
Waarden gebaseerd op de gehele proef						
Cumulatief aantal bladeren [#m]	1193	1173	2446	1395	1664	1888
Cumulatief aantal trossen [#m]	226	254	339	263	305	303
Cumulatief geogste vruchten [#m] *	893	1132	1063	1257	1333	1289
Gemiddeld vruchtgewicht [g]	9.1 (0.8)	9.5 (0.6)	8.7 (0.6)	8.7 (1.0)	9.1 (0.3)	9.2 (1.1)
Bladeren per tros	5.3 (0.9)	4.6 (0.3)	7.2 (1.0)	5.3 (0.9)	5.5 (0.7)	6.2 (0.6)
Vruchten per tros**	6.4 (0.6)	6.6 (0.9)	5.3 (0.8)	6.5 (0.3)	6.1 (0.3)	6.4 (0.6)
Tros lengte tot de 1 ^e bloem[cm]**	12.0 (1.4)	14.0 (0.9)	18.9 (1.2)	17.9 (1.9)	19.2 (0.8)	19.5 (0.9)
Tros lengte tot vertakking [cm]**	5.2 (0.9)	7.1 (0.7)	14.6 (1.2)	12.7 (1.7)	13.5 (0.7)	13.8 (0.7)

* Vruchten met een zeer slechte zetting (afval) zijn niet meegeteld.

** vruchten per tros en tros lengtes alleen van geogste trossen, dat zijn er tussen de 30-100 minder dan het cumulatief aantal trossen.

4.3 Conclusies

Dit onderzoek startte met de volgende hoofdvraag: Kan assimilatie gescheiden worden van trosinductie met behoud van gewasstrekking zonder hierbij de trosinductie te verknoeien? Hierbij werd daglengte, lichtspectrum (nabelichting) en twee soorten EOD-FR als middelen ingezet. Deze vraag wordt voor beide rassen puntsgewijs beantwoord.

Conclusies doordrager Favori:

- EOD-FR (10 minuten) heeft slechts een beperkt effect op de strekking. Deels kan dit veroorzaakt zijn doordat het gewas betrekkelijk open is. Nieuwe blaadjes zitten al snel op een 'open' plek waardoor er minder noodzaak tot strekking is. Echter over de gehele proef genomen was Nabelichting R+EOD-FR visueel de beste behandeling.
- Na de temperatuursverhoging van week 32-34 vertoonden beide 14-uursbehandelingen een grotere toename in strekking dan de 18-uursbehandelingen. Dit suggereert dat juist bij een kortere daglengte de factor temperatuur belangrijker wordt. Mogelijk geeft een te lage teelttemperatuur bij 14 uur daglengte een 'herfst'-signaal (semi-dormancy of eco-dormancy?) waardoor de strekking wordt beperkt.
- De trosinductie loopt onder 14 uur trager en de plantbelasting is stabiel. Waarschijnlijk bleef de productie achter omdat de gewasbreedte (en dus de lichtonderschepping) lager was. En hierdoor mogelijk ook de trosinductie tijdens de 3^e oogstpiek.
- De trosgrootte lijkt vooral source-sink gestuurd te zijn (kleine trossen onder de Controle 18 uur).
- Doordat de controle-behandeling in een vroeg stadium overbelast raakte, kan er geen goede conclusie getrokken worden of fotoperiodische misleiding zinvol is. De blad/tros-verhouding van de misleidingsbehandelingen lag tussen de 18-uurs controle en de 14-uurs controle in. In proefronde 2 lag dit duidelijker op het niveau van de 14-uursbehandelingen. Wel lijkt bij de nabelichtingsbehandelingen het gevaar voor overinductie minder groot te zijn.

Conclusies junidrager Sonsation:

- Opnieuw laat een lange dag meer strekking zien dan onder een korte dag (gelijke dagsom PAR dus wel verschil in intensiteit).
- 10 minuten EOD-FR geeft verbetering strekking bij een 14-uurs dag of na rood licht (730 of 760 nm weinig verschil).
- De 14-uurs behandelingen geven een doorgaande trosinductie.
- De nabelichtingsbehandelingen geven een doorgaande trosinductie. Tien minuten EOD-FR geeft geen verstoring van de trosinductie.
- De 18-uurs controle vertoonde na ~10 weken pauze (week 11-21) alsnog trosinductie, en eindigde met de meeste trossen. Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door overmatige bladpluk. Het wegplukken van gezonde bladeren kan mogelijk de dominantie wegnemen waardoor er meer neuzen ontwikkelen en deze ook een tros geven. Op

botanisch niveau was de 18-uurs controle duidelijk vegetatiever: 7 bladeren in plaats van rond de 5 bladeren per tros zoals bij de meeste andere behandelingen. Maar gemiddeld had de 18-uurs controle twee keer zoveel neuzen per plant waardoor er uiteindelijk de meeste trossen zijn geïnduceerd.

- Naast doorgaande inductie, is net zo goed balans in plantbelasting nodig. Deze was ondanks stabiele teeltomstandigheden geheel afwezig.

5 Algemene discussie en conclusies

5.1 Samenvattende discussie

Dit onderzoek is ingestoken om bouwstenen aan te leveren voor een jaarronde “inducerende” aardbeienteelt. Een belangrijke voorwaarde hiervoor is dat de plant gedurende de teelt in balans (source/sink en vegetatief/generatief) kan worden geteeld. Deze balans is van cruciaal belang om te voorkomen dat de plant in een pauzestand komt en tijdelijk stil staat in de ontwikkeling van zowel nieuwe bladeren als trossen. Andere voordelen van in balans telen zijn een constantere productie en een grotere vruchtmaat.

De grootste vraag naar assimilaten is afkomstig van de vruchten. Controle over de trosinductie is daarom van groot belang om de vraag en aanbod van assimilaten in balans te houden. Gedurende drie proefrondes is onderzocht of de trosinductie te sturen is door het inzetten van verschillende LED-spectra en daglengtes. De hoofdvraag van dit onderzoek was of het mogelijk is een plant een lange fotoperiode te geven terwijl dit voor trosinductie als een korte fotoperiode wordt waargenomen. Hierdoor zou een junidrager moeten blijven induceren en een doordrager geen overinductie moeten geven. Het aangeboden spectrum gedurende de laatste uren van de dag is hier cruciaal (Figure 3 & Figure 7, Bijlage 4).

Proefronde 1:

Tijdens de eerste proefronde bleek de junidrager Elsanta succesvol fotoperiodisch te misleiden voor trosinductie. In totaal werd een fotoperiode van 18 uur aangeboden bestaande uit een dag van 10.5 uur bijbelichting (gecombineerd met 8 uur lang gesimuleerd daglicht) gevolgd door 7.5 uur enkel rood licht. Dit gaf een gelijke trosinductie als een daglengte van 10.5 of 14 uur, terwijl een daglengte van 18 uur volledig stopte met de trossaanleg. Het is dus mogelijk om een lange dag te belichten en de assimilatenaanmaak op gang te houden, terwijl de plant voor trosinductie een korte dag waarneemt. Dit opent mogelijkheden om een aardbeiplant, in dit geval een junidrager, meer in balans te telen.

Bij het doordragende ras Favori bleek de fotoperiodische misleiding minder succesvol. Het grote verschil in strekking tussen de verschillende behandelingen beïnvloedde de resultaten (hoe langer de dag, hoe meer strekking en lichtonderschepping en dus gewasfotosynthese). Uiteindelijk hadden alle behandelingen een piek in plantbelasting gevolgd door een flinke afname in plantbelasting en een pauze in ontwikkeling. In combinatie met een dalend vruchtgewicht voor alle behandelingen duidt het erop dat alle behandelingen uit balans waren. Een doordrager lijkt hoe dan ook uit balans te raken zodra er geen controle is over het aantal vruchten per tros. Dit betekent dat er controle moet zijn over het aantal bladeren per tros (maat voor mate van generativiteit maar ook voor fysiologische tijd tussen twee opvolgende trossen), aantal neuzen, en de trossgrootte. Als de controle op één of meerdere punten ontbreekt, kan er beter worden gestuurd op maximale strekking. De meest gestrekte behandelingen konden namelijk het langst de hoge plantbelasting onderhouden.

Proefronde 2:

Tijdens de eerste proefronde was de strekking een groot probleem. In de tweede proefronde werd de succesvolle nabelichting met enkel rood licht verder uitgebreid met een uur verrood aan het einde van fotoperiode (EOD-FR) om de strekking te bevorderen. Daarnaast werden er twee verschillende bijbelichtingsspectra getest, waarvan het wit-verrood spectrum mogelijk de strekking zou bevorderen door een lagere fytochroomstatus (PSS).

Bij zowel Favori en Sonsation werd de strekking bevorderd door het wit-verrood spectrum. Echter, dit effect was alleen aanwezig bij een fotoperiode van 14 uur en bij een jong gewas, terwijl dan nog steeds de strekking minder was dan onder een 18-uurs fotoperiode (Sonsation). Bij Favori zorgde een combinatie van een fotoperiode van 18 uur en een wit-verrood spectrum ervoor dat de al aangelegde trossen (aangelegd tijdens de groeiperiode bij de plantenkweker) snel verschenen terwijl het gewas nog erg klein was. Dit veroorzaakte een vroegtijdige overbelasting die de hele proef door aanwezig bleef. Bij Sonsation leek de maximale strekking al behaald te worden door het aanbieden van een fotoperiode van 18 uur. Het toevoegen van een uur verrood aan het einde van de fotoperiode na 6 uur lang rood nabelichting bevorderde voor zowel Favori als Sonsation de strekking. Bij Sonsation was de strekking echter niet meer dan wanneer een fotoperiode van 18 uur controle werd aangeboden.

Het verschil in strekking was gedurende de tweede proefronde minder groot voor Favori dan het geval was tijdens de eerste proefronde. Daarom kan een zuiverdere conclusie worden getrokken voor het effect van daglengte op trosinductie. Favori liet onder een fotoperiode van 14 uur een lagere trosinductie en de meest stabiele plantbelasting zien. Dit wijst erop dat de planten meer in balans waren dan gedurende de eerste proefronde. Daglengte kan dus mogelijk worden gebruikt om een doordrager meer in balans te houden.

De junidrager Sonsation bleek ook succesvol fotoperiodisch te misleiden met enkel rood licht aan het einde van de dag: Er was onder deze 18-uurs fotoperiode een vergelijkbare trosinductie als onder een 14-uurs dag. Echter het toevoegen van een uur verrood (EOD-FR) aan het einde van de fotoperiode deed dit succes teniet. Mogelijk wordt dit uur verrood als lange dag signaal voor bloei waargenomen. Fotoperiodische misleiding leek ook voor Favori succesvol: de trosinductie onder nabelichting rood was lager dan de 18-uurs controle en lag dicht bij 14-uurs controle inclusief de blad/tros verhouding.

Proefronde 3:

Omdat in proefronde 2 een uur lang EOD-FR wel succesvol was om strekking te bevorderen maar de trosinductie verknoeide, is het EOD-FR teruggebracht naar 10 minuten en getest bij twee golflengtes (730 en 760 nm).

Voor Sonsation was dit succesvol: 10 minuten EOD-FR na 6 uur lang rood nabelichting verknoeide de inductie niet. Bij deze 10 minuten voegt 760 nm niets toe boven 730 nm terwijl de strekking verbeterde. Sonsation liet onder 14 uur minder strekking zien. Dit verbeterde door EOD-FR maar kwam nog niet in de buurt van de strekking onder 18 uur daglengte. De

laatste 12 weken werd de teelttemperatuur met 2.5°C verhoogd. Dit resulteerde juist voor de 14-uursbehandelingen van zowel Favori als Sonsation in meer strekking. Dit suggereert dat juist bij een kortere daglengte de factor temperatuur belangrijker wordt. Mogelijk geeft een te lage teelttemperatuur bij 14 uur daglengte een 'herfst'-signaal (semi-dormancy?) waardoor de strekking wordt beperkt.

Bij Favori bleef (net als in proefronde 1 en in tegenstelling tot in proefronde 2) de strekking onder 14 uur achter bij die onder 18 uur (nabelichtingsbehandelingen). Ook in deze proefronde was onder 14 uur de plantbelasting stabiel. De nabelichtingsbehandelingen lieten (in tegenstelling tot proefronde 2) een hogere trosinductie zien. Waarschijnlijk is gewasfotosynthese die grotendeels bepaald wordt door gewasbreedte (lichtonderschepping) een medebepalende factor. De Controle 18 uur vertoonde in de eerste weken al overbelasting: trosontwikkeling (hoge generativiteit) zonder plantopbouw. Vervolgens bleef deze behandeling de gehele proefperiode achter in ontwikkeling. Op het moment dat een plant weer opnieuw in productie kwam, werd al snel overinductie waargenomen (tot 10 trossen/plant). Een 'normale' lange dag kan dus al snel tot een overbelaste plant leiden terwijl het nabelichtingsspectrum daarin een verbetering laat zien: meer vegetatieve ontwikkeling. Op botanisch niveau lag de blad/tros-verhouding tussen de Controle 18 uur en de Controle 14-uur in.

Strekking gedurende de verschillende proefrondes

Als we de effecten van alle proefrondes op strekking samennemen, dan komen de volgende factoren die hierop invloed hebben naar voren:

- Het uitplanten (wijder zetten) heeft een negatieve invloed op strekking (proefronde 3). Waarschijnlijk door een hoger lichtniveau per plant dat resulteert in een hogere PSS op het rhizoom.
- Bijbelichting met verrood in het lightspectrum geeft een betere strekking dan bijbelichting zonder verrood (proefronde 1).
- Bijbelichting die resulteert in een lagere PSS (WFR) heeft een positieve invloed op strekking zolang het gewas nog niet gesloten is (proefronde 2). Nadat het gewas gesloten is, is de PSS zowel onder RBWFR als onder WFR op rhizoomniveau laag.
- Een hoge plantbelasting heeft een negatieve invloed op strekking (proefronde 1,2,3).
- Een kortere daglengte van 14 en 10.5 uur ten opzichte van 18 uur geeft een compactere plant. Tijdens proefronde 1 en 3 was dit het geval voor beide rassen en in proefronde 2 vooral voor Sonsation. Bij Favori was in proefronde 2 onder 14 uur de plantbelasting lager waardoor mogelijk het verschil in bladstrekking wegviel. Kortere dag viel in deze proeven samen met een hogere lichtintensiteit (sturing op gelijke PARsom) wat mogelijk remmend kan werken op strekking. Het lijkt er echter meer op dat onder de kortere dag (met vlakke etmaaltemperatuur) er beginnende dormancy ontstaat: in alle gevallen was onder 14 uur de tros lengte fors korter dan onder 18 uur. In proefronde 3 resulteerde een temperatuursverhoging van 2.5°C in een verbetering van de strekking van vooral de 14-uursbehandelingen (beide rassen).

Juist bij kortere daglengte wordt de temperatuur dus belangrijker. Dit wijst ook in de richting van (semi-)dormancy onder een lagere teelttemperatuur wat de strekking kan beperken.

- Een groot positief verschil tussen de dag-nachttemperatuur bevordert strekking. De strekking van Favori in de klimaatcellen in Bunnik bleef fors achter vergeleken met de strekking van Favori geteeld in cellen bij Van den Avoird Trayplant waar wel een DIF van 6 graden was ingesteld (persoonlijke mededeling, Tanja Roovers, 2021).
- Er lijkt een maximale strekking per 'bladetage' te zijn (proefronde 2).

5.2 Conclusies

Strekking:

- Kortere dag (10.5 en 14 uur) lijkt beginnende dormancy in de hand te werken: er is wel doorgaande gewasgroei en trosinductie maar de strekking van bladeren en trossen is wel beperkt. Hierbij de kanttekening dat dit ook gepaard ging met een vrij vlakke etmaaltemperatuur van rond de 16.5°C planttemperatuur (DIF van maximaal één graad) en een 28% hogere lichtintensiteit van de bijbelichting (sturing op gelijke PARsom). In proefronde 3 gaf een verhoging van de teelttemperatuur van 2.5°C relatief meer strekking onder 14 uur.
- Verrood in de bijbelichting is een vereiste voor voldoende strekking. NB deze conclusie geldt voor de teelt van verse, niet-gekoelde planten. Bij gekoelde planten is verrood mogelijk minder van belang.
- WFR (resultierend in een lagere PSS) ten opzichte van RBWFR geeft alleen in het jonge gewasstadium een voordeel.
- EOD-FR kan positief werken op strekking als de maximale strekking nog niet is bereikt. Dit werkt vooral bij Sonsation en minder bij Favori.

Trosinductie:

- De junidragers Elsanta (proefronde 1) en Sonsation (proefronde 2 en 3) lieten doorgaande inductie zien onder 14 uur daglengte.
- Onder 18 uur belichting met standaard spectrum vertoont doordrager Favori overinductie. Junidragers Elsanta en Sonsation stoppen (langdurig) met trosinductie.
- De junidragers Sonsation en Elsanta zijn overtuigend fotoperiodisch te misleiden (proefronde 1-3): Door nabelichting met puur rood licht (lange fotoperiode van 18 uur) gaan Elsanta en Sonsation door met trosinductie.
- Uiteindelijk lijkt Sonsation onder lange dag toch te gaan bloeien (proefronde 2). Proefronde 3 liet zien dat een hoge mate van bladpluk de trosinductie (eerder) op gang brengt.
- Favori induceert minder trossen onder 14 uur daglengte (proefronde 2 en 3), maar de lichtonderschepping speelt een grote rol. Er kan geen harde conclusie getrokken worden over de mogelijkheid tot fotoperiodische misleiding. Wel lijkt Favori vegetatiever onder nabelichting rood.

6 Slotbeschouwing

Jaarrond telen met aardbei kan op twee manieren: (1) Continu nieuwe planting met gekoelde junidragers, de praktijk zoals deze anno 2022 is. (2) Inducerend telen—zoals tomaat—met een verse junidrager (korte dag plant) onder inducerende teeltomstandigheden of met een verse doordrager (lange dag plant). Zoals in de Inleiding aangegeven liggen er in de tweede optie kansen voor productieverhoging omdat er maar eenmalig een periode is van gewasopbouw en daarna voortdurende (volledige) lichtonderschepping en oogst. In onderstaande paragrafen worden overwegingen die belangrijk zijn voor een succesvolle teelt apart besproken voor de junidrager en de doordrager.

6.1 Teelt in balans?

Om tomaat in balans te telen zijn er botanisch gezien drie voorwaarden: (1) het aantal stengels per vierkante meter wordt bepaald door de teler, (2) de blad-trosverhouding staat plantkundig vast en (3) de trosgrootte wordt ook door de teler bepaald. Bij aardbei zijn deze drie zaken variabel en kan er alleen via klimaat gestuurd worden op de plantbalans. Dit is vele malen moeilijker. Mogelijk kan veredeling hierin helpend zijn om een vaste neusdichtheid (stengeldichtheid), een vaste blad-trosverhouding, en trosgrootte makkelijker te realiseren.

Om aardbei in balans te houden zal de dominantie van de hoofdneus moeten worden versterkt om zo zijneusvorming te onderdrukken. De hoofdneus zal vervolgens regelmatig moeten doorgroeien. Hiervoor wordt in de aardbeienwereld de term cilindersnelheid gebruikt (equivalent aan de bladafplitsing van het hoofdgroei punt). Een te hoge plantbelasting voor de hoeveelheid licht (onbalans in assimilatenbehoefte) zal de cilindersnelheid doen vertragen of zelfs doen stoppen. Daardoor ontstaat er een pauze in de trosverschijningsnelheid dat als vanzelf een pauze in productie oplevert. Een pauze in productie creëert een relatief assimilatenoverschot. Hierdoor zal de hoofdcilinder waarschijnlijk weer op gang komen maar de kans is groot dat deze zijn dominantie al verloren heeft waardoor zijknoppen de kans krijgen uit te lopen (ontwikkeling zijneuzen die later gelijktijdig te veel trossen geven). Zo kan er gesteld worden dat een piek in plantbelasting/productie een dal bewerkstelligt en andersom.

De basis voor een stabiele productie is dus een dominante hoofdneus met een stabiele cilindersnelheid. Hiervoor is het zaak om tijdens de startfase van de teelt niet te veel licht te geven zodat assimilatenoverschot en daardoor zijneusvorming zo veel mogelijk wordt voorkomen. Ook temperatuur is hierbij van belang. Bij een te trage cilindersnelheid—door lage temperatuur—is waarschijnlijk de hoofdneus minder dominant waardoor zijneuzen de kans krijgen uit te lopen. Vergelijk dit met vertakking van potplanten: meer vertakking door relatief veel licht en een lagere temperatuur. Een te hoge cilindersnelheid—door een te hoge temperatuur—lijkt ook een lagere dominantie te geven (persoonlijke mededeling Remco van Endschoot, 2022) Bij toenemende plantbelasting zal de lichtintensiteit dusdanig toe moeten

nemen dat de cilinder niet stil komt te staan. De pauzes in de trosinductie en vervolgens in de productie bij Sonsation in proefronde 3 wijzen dus op interne cilinderstilstand.

6.2 Junidrager jaarrond?

Als er inducerend geteeld wordt met een verse junidrager zijn er naast bovengenoemd struikelblok van de plantbalans twee klippen waar tussendoor gezeild moet worden:

- Voldoende korte daglengte om trosinductie te verkrijgen. Voor Sonsation en Elsanta lijkt dit te slagen bij 14 uur daglengte. Voor junidrager die oorspronkelijk uit zuidelijkere landen komen (lagere koudebehoefte) zal deze daglengte waarschijnlijk lager liggen.
- Voldoende lange daglengte om (beginnende) dormancy te vermijden. Gezien de strekkingsreactie van het gewas en de trossen lijkt er in deze proefrondes (vlakke etmalen van rond de 16.5°C planttemperatuur) bij Sonsation, Elsanta en Favori beginnende dormancy op te treden onder daglengtes van 14 uur.

Jaarrondteelt van een Sonsation zal, vergelijkbaar met tomaat, ruwweg verlopen van september tot augustus het jaar erop. De huidige praktijk is dat trosinductie van het uitgangsmateriaal plaats vindt op het trayveld onder de natuurlijke daglengte. Praktijkgegevens laten vier factoren zien die inwerken op trosinductie en dormancy en mogelijk interactie³ met elkaar vertonen:

- Daglengte: Eind augustus (daglengte nog ruim 13.5 uur) begint de trosinductie. Visueel worden dan ook eerste tekenen van dormancy waargenomen: dikkere wortels, penwortel en korter blad.
- Dagsommen PAR lager dan een bepaalde drempelwaarde van rond de 20 mol PAR/dag.
- Temperatuur: Trosinductie/dormancy lijkt trager te verlopen in een relatief warmer najaar en sneller in een relatief kouder najaar.
- Planttype: Trosinductie/dormancy lijkt ook af te hangen van planttype. Een grotere (groeikrachtigere) plant lijkt later te induceren dan een kleinere plant (andere hormoonbalans?).

Voor het teeltconcept met een verse junidrager is het essentieel dat er wel inductie plaats vindt terwijl dormancy toch vermeden moet worden omdat dan de strekkingsreactie van het gewas te veel achterblijft. Achterblijvende strekking vermindert de lichtonderschepping en zo de gewasfotosynthese.

Doordat hogere temperaturen in het najaar vertragend werken op de trosinductie, kan het uitplanten van nog niet voldoende geïnduceerde planten in een warmere kas verdere vertraging van de trosinductie in de hand werken. Dit is ongewenst. Een teler zal dan met verduisteringsschermen de dagen verder kunnen verkorten om alsnog voldoende

³ In de praktijk wordt een model gebruikt waarbij een 'inducerende dag' tegelijkertijd aan drie voorwaarden moet voldoen: lichtsom lager dan 1500J/cm², Tetmaal < 15°C en een daglengte < 13 uur (lichtgrens > 1J/cm²; persoonlijke mededeling Klaas de Jager, 2023).

trosinductie te realiseren. Echter, dan is het gevaar groot dat naast trosinductie ook dormancy wordt geïnduceerd met als gevolg een (zeer) slechte strekking en lichtonderschepping. Bij junidrager met een hoge koudebehoefte zoals Sonsation zal deze slechte strekking waarschijnlijk in stand blijven totdat aan de koudebehoefte voldaan is. Omdat het juist de bedoeling is om hieraan niet te voldoen—de bedoeling is doorgaande productie en niet onbelicht de winter door zoals bij een doorteelt—kan gesteld worden dat de teelt mislukt. Bij junidrager met een lage of geen koudebehoefte (bijvoorbeeld Fandango of Inspire) is waarschijnlijk meer ‘reparatie’ mogelijk.

De verkregen resultaten in deze drie proefrondes lijken erop te wijzen dat nabelichting met puur rood beide klippen kan omzeilen: er vindt doorgaande inductie plaats bij de junidrager Sonsation. Ook lijkt de plant verder van de (beginnende) dormancy af te zitten: de trosstelen zijn duidelijk langer terwijl de bladstrekking wel meer is dan onder 14 uur maar minder is dan onder 18 uur controle. De resultaten van Proefronde 3 laten zien dat dit gerepareerd kan worden met 10 minuten EOD-FR. Echter de nabelichting draagt bij aan verhoging van de PARsom. Deze licht naar verwachting veel te hoog voor de dan alleen nog maar vegetatieve gewasbehoefte van dat moment: een klein plantje dat alleen nog maar bladeren ontwikkelt. Een te hoge lichtsom in deze fase werkt zoals besproken in paragraaf 6.1 zijneusvorming in de hand wat later in het seizoen veel gelijktijdige trossen in de hand werkt. Hierdoor wordt een oogstpiek gecreëerd en raakt de plant dus uit balans. Waarschijnlijk zal de nabelichting met puur rood dan op stuurlichtniveau (bijvoorbeeld 5-10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) moeten worden ingezet. Hiermee wordt de PARsom nauwelijks verhoogd, gaat de trosinductie door en wordt waarschijnlijk beginnende dormancy vermeden.

6.3 Doordrager jaarrond?

Doordragers hebben het grote voordeel op junidrager dat er jaarrond trossen kunnen worden geïnduceerd. Hier staat tegenover dat de strekking en dus lichtonderschepping en gewasfotosynthese achterblijft op een junidrager. Overmatige trosinductie onder lange dag kan worden vermeden door in de zomer daglengte weg te schermen tot bijvoorbeeld 14 uur daglengte en in de winter een daglengte van niet langer dan 14 uur aan te houden. Ondanks dat het niet overtuigend is aangetoond, lijkt nabelichting met puur rood licht te helpen om de plant vegetatiever te houden. Streckking blijft ook een aandachtspunt, zeker onder kortere dagen en een lagere teelttemperatuur (in de beschreven proefrondes 16.5°C planttemperatuur zonder DIF). Aangezien de temperatuursverhoging in de laatste 12 weken van de derde proefronde meer strekking bewerkstelligde, is waarschijnlijk een relatief hogere teelttemperatuur inclusief een grote DIF helpend om de strekking onder winterbelichting op gang te houden. Het is goed mogelijk dat dit samenhangt met het optreden van (beginnende) dormancy. Mogelijk is dan een hogere teelttemperatuur helpend om dormancy te voorkomen en om meer dominantie van de hoofdneus te bewerkstelligen.

Meerdere proeven van de afgelopen jaren waarin Favori in een belichte winterteelt stond (WUR-glastuinbouw, Delphy-IC, en deze proefrondes), laten een relatief slecht

functionerende Favori zien terwijl deze er in de zomer totaal anders uitziet (Figuur 54). De vraag kan gesteld worden welke zaken anders zijn in de winter ten opzichte van de zomer.

- DIF? De proef bij Delphy IC in het seizoen 2019/2020 liet matige strekking zien terwijl de DIF 6°C was. Opgemerkt kan worden dat door zonneshijn in het voorjaar (hoge planttemperatuur) het verschil tussen de piek en het dal in planttemperatuur gemakkelijk op kan lopen naar 12°C.
- Veel te hoge plantbelasting ten opzichte van de hoeveelheid licht (assimilaten-onbalans)? Een recente proef bij WUR-glastuinbouw met handmatig dunnen gaf echter nauwelijks extra strekking.
- Te hoge plantbelasting tijdens plantopbouw? Moet de gewasopbouw juist meer bij kortere dagen met een lager lichtniveau en dan langzaam naar langere dagen met meer inductie en een hoger lichtniveau (=lente) plaats vinden?
- Dichter planten bij start? In deze proef zijn 6 planten per strekkende meter geplant. In de praktijk worden met junidragers ook wel 10 planten de strekkende meter geplant. Hierdoor zal er mogelijk meer strekking plaats vinden doordat er beschaduwing van buurplanten plaats vindt. Mogelijk is dit ook helpend voor minder zijkroonontwikkeling door meer lichtconcurrentie.
- Is de temperatuur te laag voor de gegeven lichtsom (verkeerde lichttemperatuurbalans)? 14 mol (maart) bij 16.5°C planttemperatuur op een etmaal lijkt in de buurt van wat in de praktijk gehanteerd wordt.
- Teelttemperatuur op zichzelf. Tijdens de derde oogstpiek in proefronde 3 gaf een verhoging van de planttemperatuur naar ~19°C meer strekking (viel deels samen met hergroei na piek in plantbelasting. Mogelijk geeft een hogere teelttemperatuur ook meer dominantie van de hoofdneus en daardoor minder kans op zijneusontwikkeling met de daaropvolgende piek in plantbelasting.
- De hoge generativiteit van Favori onder 18 uur suggereert dat de plant zeer lichtminnend is. Hogere lichtsommen in de winter bij volle plantbelasting lijken dan gewenst.

Als (beginnende) dormancy bij Favori toch ook een rol kan spelen in de plantontwikkeling in het najaar, dan zou een 14-uursdag bij een voldoende hoge temperatuur en voldoende hoge lichtintensiteit vanaf het moment dat plantbelasting een rol gaat spelen wel eens de sleutel kunnen zijn om succesvol in de winter te kunnen telen.



Figuur 54. Favori in de zomer in de demokas bij Van den Avoird Trayplant. Hier staat een wezenlijk andere plant dan in meerdere winterproeven (o.a. deze proeven en bij Delphy IC in 2019/2020) is waargenomen (Foto 11 juli 2022).

6.4 Energieaspecten

Gedurende de looptijd van de proef (2020-2022) is het speelveld qua kosten voor energie in de Nederlandse tuinbouw totaal veranderd. Dit kan consequenties hebben hoe er naar jaarrondteelt moet worden gekeken. Bij (enorm) hoge gas- en elektraprijzen is allereerst de vraag of belichten financieel rond te rekenen is. Als de belichting op zich economisch uit kan is de vervolgvraag om zo min mogelijk warmte nodig te hebben. Het lijkt voor de hand liggend dat de huidige teeltwijze met gekoelde junidrager een koelere teelt is in de winter dan een teelt met een verse junidrager. De huidige praktijk met tuinders die stroom maken via een WKK geeft regelmatig de situatie dat er eerder sprake is van een warmte-overschot dan een tekort. In dat geval biedt de teelt met een verse junidrager meer potentie voor productieverhoging en gelijkmatige kwaliteit. Echter als de Nederlandse tuinbouw van het gas af moet en dus de WKK uitgeschakeld wordt, kan het toch zijn dat koelere teelten die mogelijk zijn met de gekoelde junidrager doorslaggevend zijn dan de productieverhoging en kwaliteit die mogelijk behaald kan worden met een jaarrondteelt met een verse junidrager.

Referenties

- Bongers M.W., van den Boogaart S.A.J., Hogewoning S.W.** (2022). Gerbera: effecten van fotoperiode, lichtspectrum, lichtintensiteit en temperatuur. Deelrapport IV in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas”. Plant Lighting B.V., Bunnik. 74p.
- CBS.** (2020). **Groenteteelt; oogst en teeltoppervlakte per groentesoort.** Retrieved from <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37738/table?fromstatweb>
- Gaston, A., Perrotte, J., Lerceteau-Köhler, E., Rousseau-Gueutin, M., Petit, A., Hernould, M., Rothan, C., & Denoyes, B.** (2013). PFRU, a single dominant locus regulates the balance between sexual and asexual plant reproduction in cultivated strawberry. *Journal of Experimental Botany*, 64(7), 1837-1848.
- Génard, M., Dauzat, J., Franck, N., Lescourret, F., Moitrier, N., Vaast, P. & Vercambre, G.** (2008). Carbon allocation in fruit trees: from theory to modelling. *Trees* 22: 269-282.
- Groenten&Fruit.** (2018). ‘Aardbeiteelt staat voor grote veranderingen’. Retrieved from <https://www.gfactueel.nl/Glas/Achtergrond/2018/8/Aardbeiteelt-staat-voor-grote-veranderingen-317374E/>
- Heide, O. M., Stavang, J. A., & Sønsteby, A.** (2013). Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries – a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(1), 1-18.
- Jochems S., Jongenelen B., Dorrestijn B., Trouwborst G.** (2022). Richting de toekomst telen met doordragers. Doordragers in balans: deel 2. Delphy IC 57p.
- Higuchi, Y.** (2018). Florigen and anti-florigen: Flowering regulation in horticultural crops. *Breeding science*, 68(1), 109-118.
- Hogewoning S.W., Trouwborst G., Slootweg G., Van Aanholt J.T.M., Kok B.J., van Baar P.H., van der Burg R., Schapendonk A.H.C.M., Rappoldt C.** (2015). Belichting en CO2 in de lelieteelt II: een strategie voor energiebesparing. Plant Lighting B.V., Bunnik. 52p.
- Hytönen, T., & Kurokura, T.** (2020). Control of Flowering and Runnering in Strawberry. *The Horticulture Journal*, 89(2), 96-107.
- Koskela, E. A., Mouhu, K., Albani, M. C., Kurokura, T., Rantanen, M., Sargent, D. J., Battey, N. H., Coupland, G., Elomaa, P., & Hytönen, T.** (2012). Mutation in TERMINAL FLOWER1 reverses the photoperiodic requirement for flowering in the wild strawberry *Fragaria vesca*. *Plant physiology*, 159(3), 1043-1054.
- Koskela, E. A., Sønsteby, A., Flachowsky, H., Heide, O. M., Hanke, M. V., Elomaa, P., & Hytönen, T.** (2016). TERMINAL FLOWER 1 is a breeding target for a novel everbearing trait and tailored flowering responses in cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Plant Biotechnology Journal*, 14(9), 1852-1861.
- Kurokura, T., Samad, S., Koskela, E., Mouhu, K., & Hytönen, T.** (2017). *Fragaria vesca* CONSTANS controls photoperiodic flowering and vegetative development. *Journal of Experimental Botany*, 68(17), 4839-4850.
- Legris, M., Ince, Y.Ç. & Fankhauser, C.** (2019). Molecular mechanisms underlying phytochrome-controlled morphogenesis in plants. *Nature Communications* 10, 5219.
- Li, J., Li, G., Wang, H., & Deng, X.** (2011). Phytochrome Signaling Mechanisms. *The Arabidopsis book / American Society of Plant Biologists*, 9, e0148.
- Li, T., Heuvelink, E. & Marcelis, L.F.M.** (2015). Quantifying the source-sink balance and

- carbohydrate content in three tomato cultivars. *Frontiers in Plant Science* 6: 416.
- Lyu, C., Yang, W-J. & Li, K-T.** (2014). Partial defoliation and runner removal affect runnering, fruiting, leaf photosynthesis and root growth in 'Toyonoka' strawberries for subtropical winter production. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 55: 372-379.
- Marcelis, L.F.M.** (1996). Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *Journal of Experimental Botany* 47: 1281-1291.
- Noordhoek, E.P.** (2021). Photoperiodic control of inflorescence induction of strawberry plants by light spectrum. MSc internship thesis, department Farm Technology, Wageningen University, The Netherlands, 44 p.
- Osorio, S., Ruan, Y-L. & Fernie, A.R.** (2014). An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Frontiers in Plant Science* 5: 516.
- Quail, P.** (1997). An emerging molecular map of the phytochromes. *Plant, Cell & Environment*, 20(6), 657-665.
- Rantanen, M., Kurokura, T., Mouhu, K., Pinho, P., Tetri, E., Halonen, L., Palonen, P., Elomaa, P., & Hytönen, T.** (2014). Light quality regulates flowering in FvFT1/FvTFL1 dependent manner in the woodland strawberry *Fragaria vesca*. *Frontiers in Plant Science*, 5(271).
- Rausenberger, J., Tscheuschler, A., Nordmeier, W., Wüst, F., Timmer, J., Schäfer, E., Fleck, C., & Hiltbrunner, A.** (2011). Photoconversion and nuclear trafficking cycles determine phytochrome A's response profile to far-red light. *Cell*, 146(5), 813-825.
- Sarlikioti, V., De Visser, P. H. B., & Marcelis, L. F. M.** (2011). Exploring the spatial distribution of light interception and photosynthesis of canopies by means of a functional–structural plant model. *Annals of Botany*, 107(5), 875-883.
- Savini, G., Neri, D., Zucconi, F., & Sugiyama, N.** (2005). Strawberry growth and flowering: an architectural model. *International Journal of Fruit Science*, 5(1), 29-50.
- Singh, R. K., Svystun, T., AlDahmash, B., Jönsson, A. M., & Bhalerao, R. P.** (2017). Photoperiod-and temperature-mediated control of phenology in trees—a molecular perspective. *New Phytologist*, 213(2), 511-524.
- Sønsteby, A. & Heide, O.M.** (2007). Long-day control of flowering in everbearing strawberries. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 82: 875-884.
- Sønsteby, A., Opstad, N. & Heide, O.M.** (2013). Environmental manipulation for establishing high yield potential of strawberry forcing plants. *Scientia Horticulturae* 157: 65-73.
- Sønsteby, A. & Heide, O.M.** (2021a). Dynamics of dormancy regulation in 'Sonata' strawberry and its relation to flowering and runnering. *CABI Agriculture and Bioscience* 2: 4.
- Sønsteby, A., Woznicki, T. & Heide, O.M.** (2021b). Effects of runner removal and partial defoliation on the growth and yield performance of 'Favori' everbearing strawberry plants. *Horticulturae* 7: 215.
- Sumitomo K., Yamagata, A. Oda, A. & Hisamatsu T.** (2014) Identification of high long-day leaf number cultivars and prevention of premature budding by cold pre-treatment for fine control of flowering in summer-to-autumn-flowering chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 89: 647-654
- Taiz, L., & Zeiger, E.** (2010a). The Control of Flowering. In *Plant physiology* (5th ed., pp.

- 719-753). Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Taiz, L., & Zeiger, E.** (2010b). Phytochrome and Light Control of Plant Development. In *Plant physiology* (5th ed., pp. 493-520). Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Trouwborst, G., Hogewoning, S. W., & Pot, C. S.** (2013). *Stuurlicht bij de tijd*. Plant Lighting B.V. Bunnik.
- Valverde, F., Mouradov, A., Soppe, W., Ravenscroft, D., Samach, A., & Coupland, G.** (2004). Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. *Science*, 303(5660), 1003-1006.
- Venner, R.** (2017). Improve the yield and quality of strawberries by manipulation of the 'source/sink' ratio. MSc Thesis, Horticulture and Product Physiology, Wageningen University, The Netherlands.
- Yanovsky, M. J., & Kay, S. A.** (2002). Molecular basis of seasonal time measurement in *Arabidopsis*. *Nature*, 419(6904), 308-312.

Bijlage

1. Nutriëntenschema's

Tabel 17 en Tabel 18 bevatten de nutriëntenschemas die gehanteerd zijn in de vegetatieve en generatieve fases van de teelten.

Tabel 17. Nutriëntenschema gebruikt wanneer de planten nog geen vruchtdracht hebben.

<i>Nutrient</i>	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
<i>mmol/L</i>	9.48	1.05	1.24	0.50	3.00	3.50	1.19
<i>Nutrient</i>	Cl ⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
<i>mmol/L</i>	0.10	0.055	0.030	0.010	0.015	0.001	0.001

Tabel 18. Nutriënten schema gebruikt tijdens de vruchtdracht van de planten.

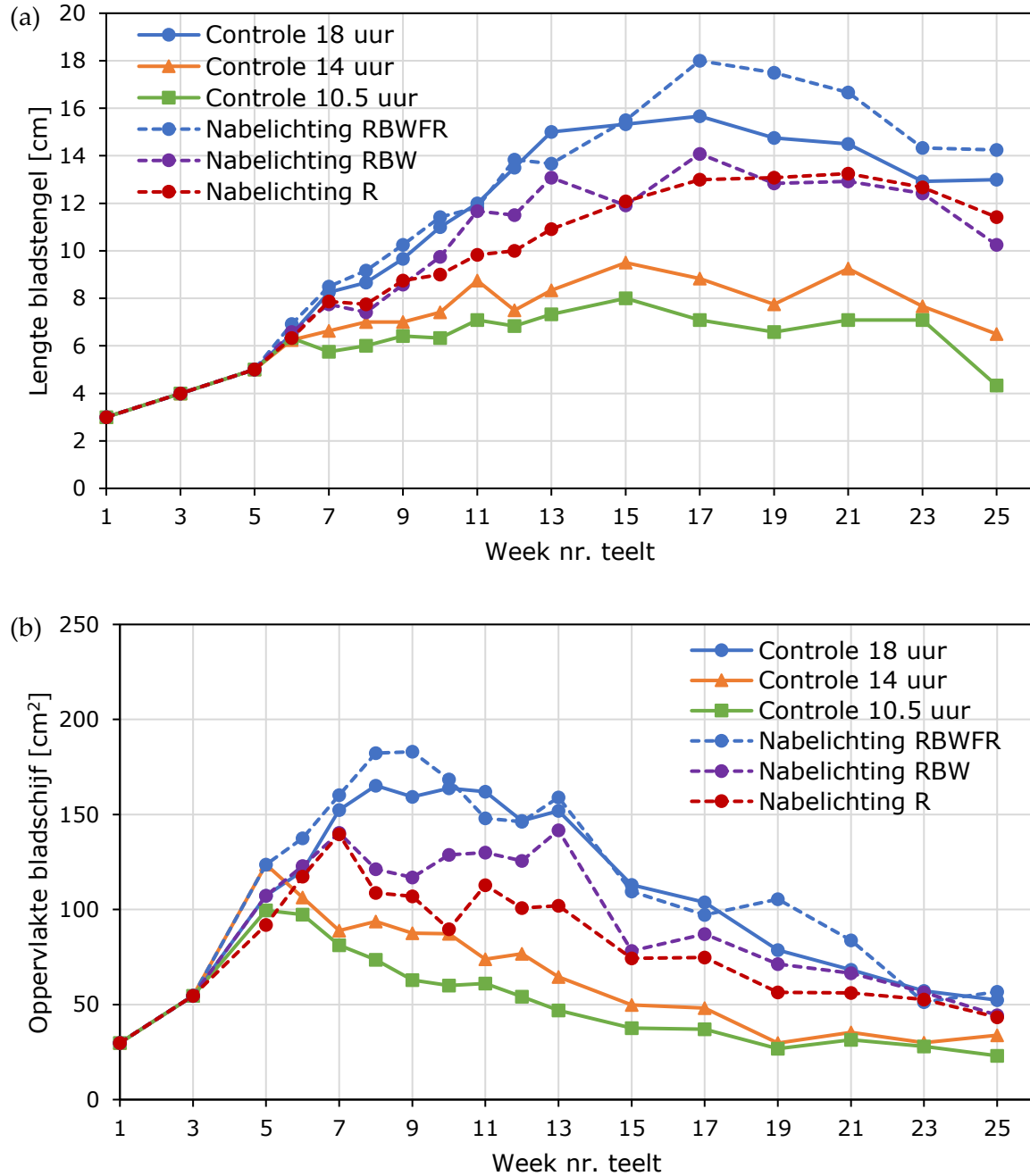
<i>Nutrient</i>	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
<i>mmol/L</i>	11.5	1.0	1.5	0.0	5.0	4.0	1.2
<i>Nutrient</i>	Cl ⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
<i>mmol/L</i>	0.0	0.055	0.020	0.010	0.015	0.001	0.001

2. Extra resultaten proefronde 1

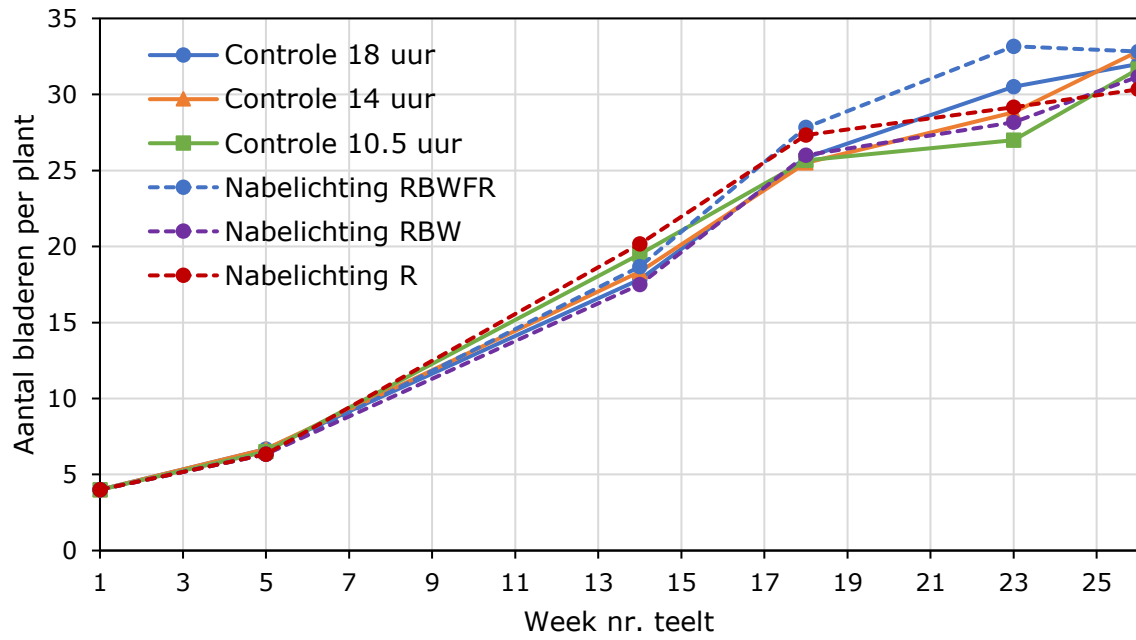
Favori (doordrager):

De volgende aanvullende resultaten van Favori tijdens proefronde 1 worden weergegeven:

- Bladsteellengte van een jong volgroeid blad (Figuur 55a)
- Oppervlakte bladschijf van een jong volgroeid blad (Figuur 55b)
- Aantal bladeren per plant (Figuur 56)



Figuur 55. (a) Lengte van de bladstengel gemeten bij een jong volgroeid blad. (b) Oppervlakte van een bladschijf gemeten bij een jong volgroeid blad. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten Favori.

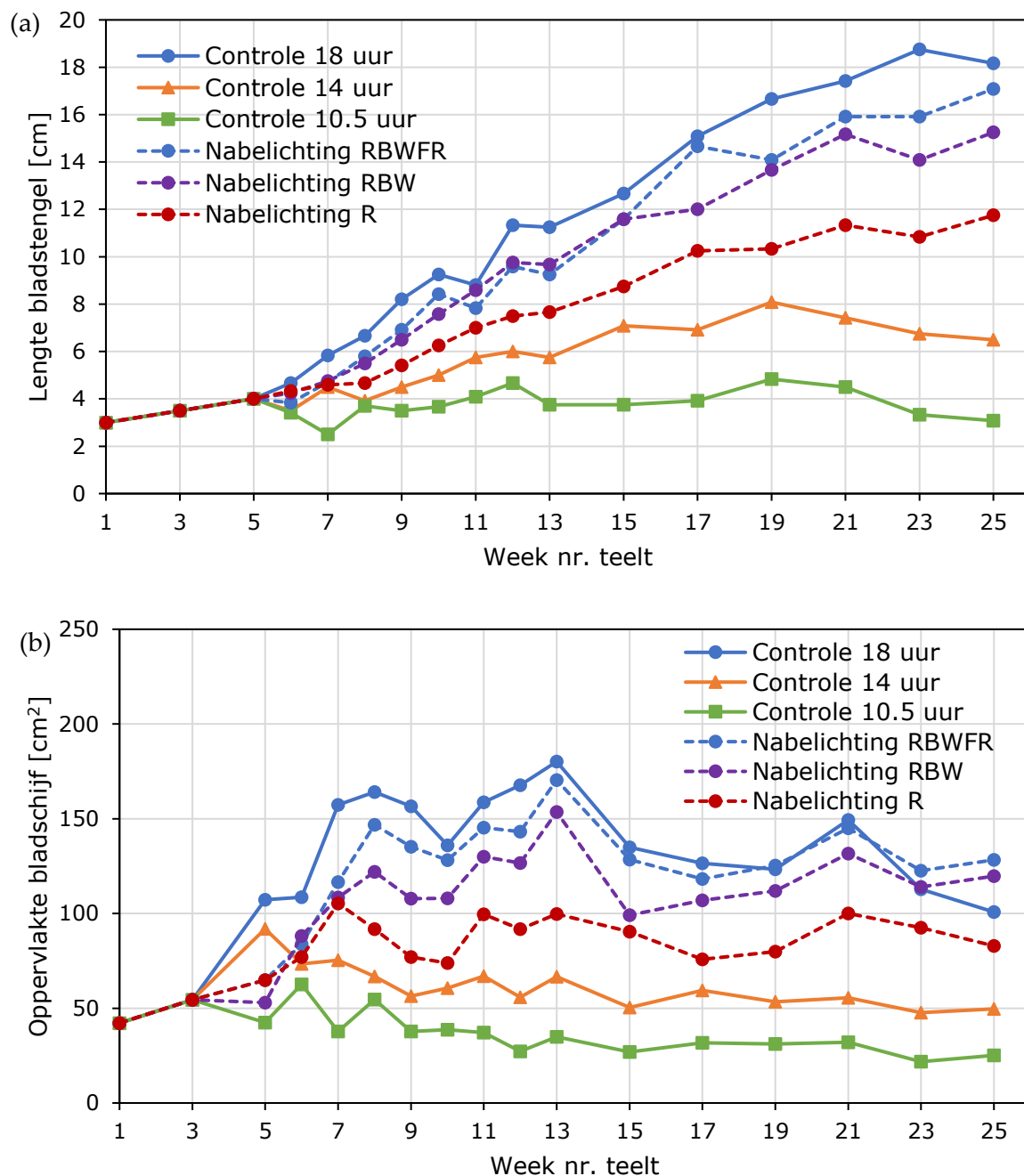


Figuur 56. Gemiddeld aantal bladeren per plant van Favori. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.

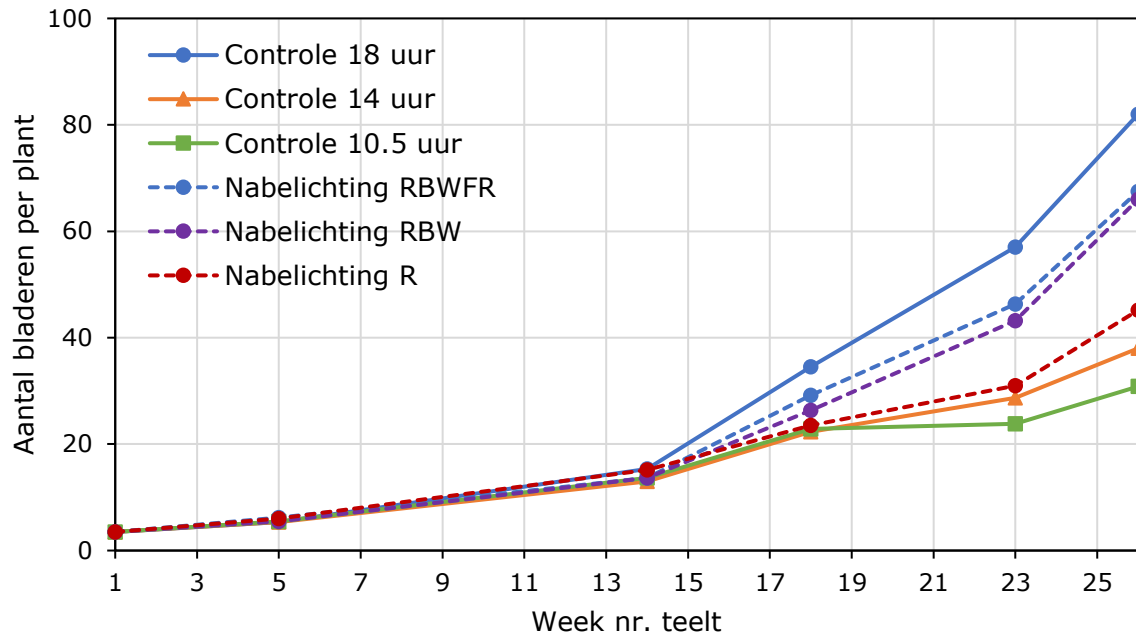
Elsanta (junidrager):

De volgende aanvullende resultaten van Elsanta tijdens proefronde 1 worden hieronder weergegeven:

- Bladsteellengte van een jong volgroeid blad (Figuur 57a)
- Oppervlakte bladschijf van een jong volgroeid blad (Figuur 57b)
- Aantal bladeren per plant (Figuur 58)



Figuur 57. (a) Lengte van de bladstengel gemeten bij een jong volgroeid blad. (b) Oppervlakte van een bladschijf gemeten bij een jong volgroeid blad. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten Elsanta.



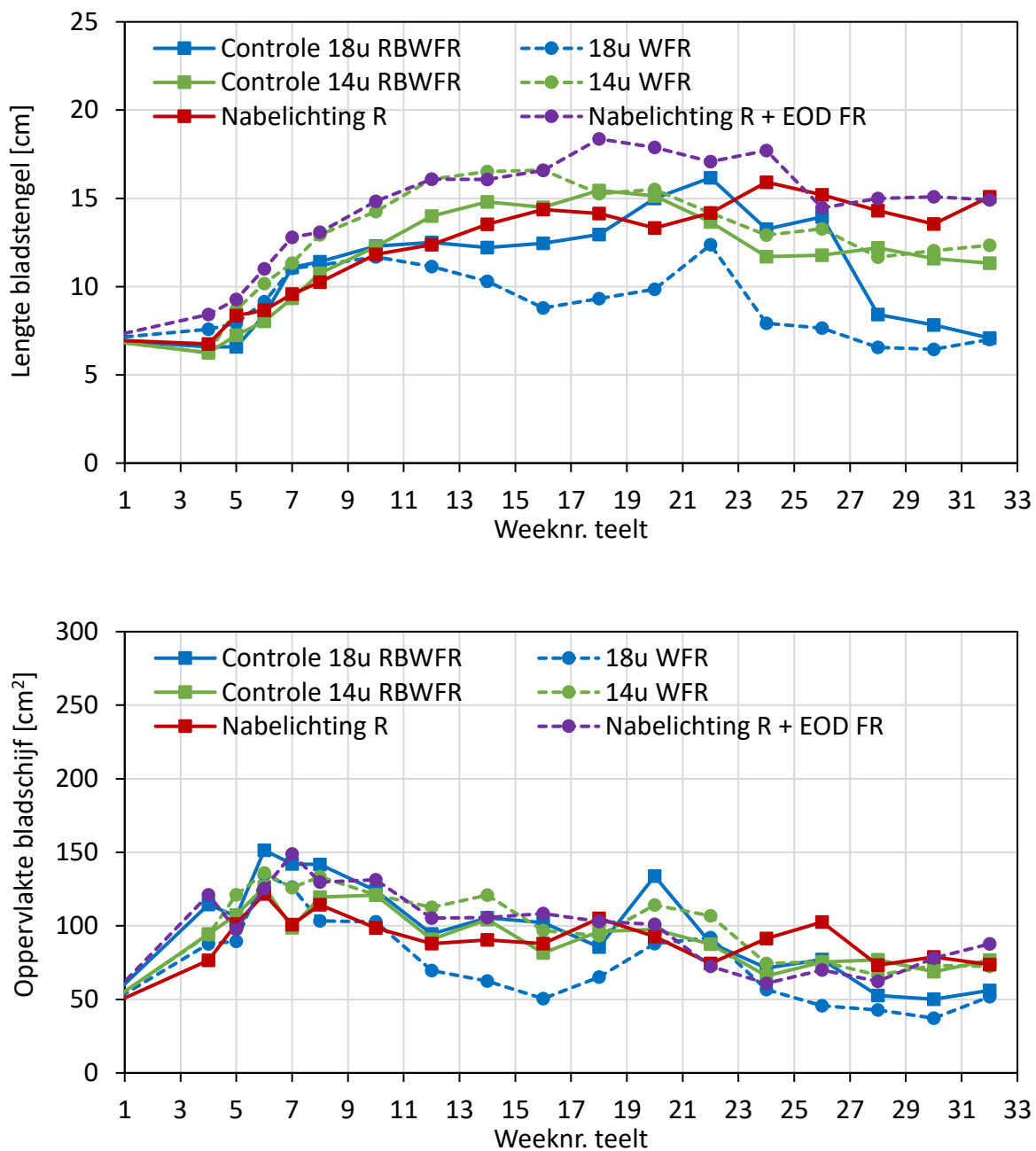
Figuur 58. Gemiddeld aantal bladeren per plant van Elsanta. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten.

3. Extra resultaten proefronde 2

Favori (doordrager):

De volgende aanvullende resultaten van Favori tijdens proefronde 2 worden hieronder weergegeven:

- Bladsteellengte (Figuur 59a)
- Oppervlakte bladschijf (Figuur 59b)

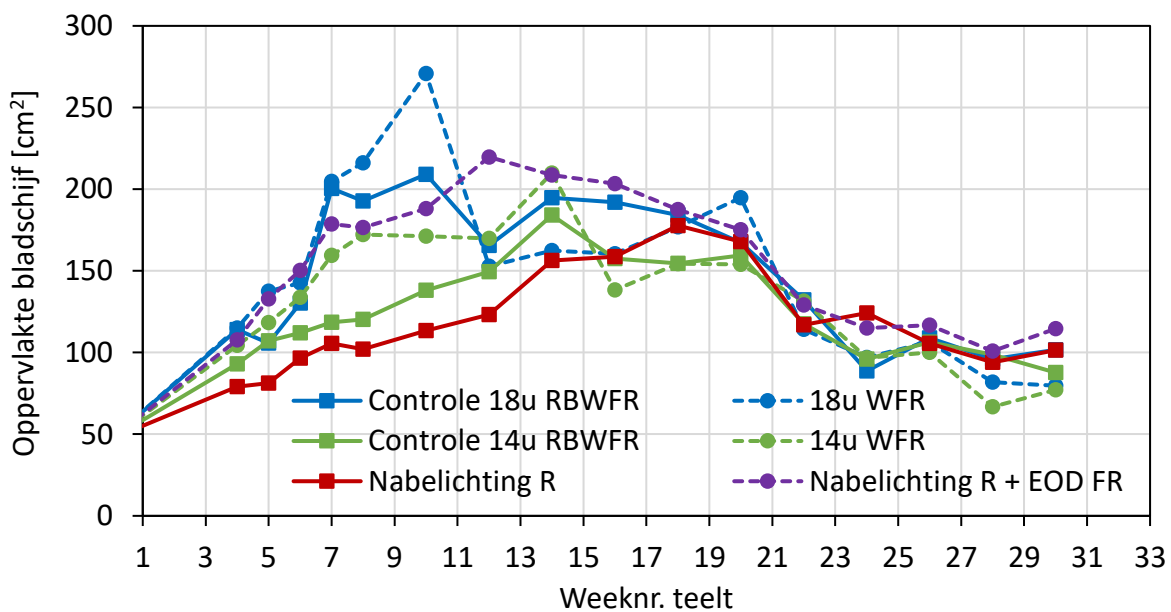
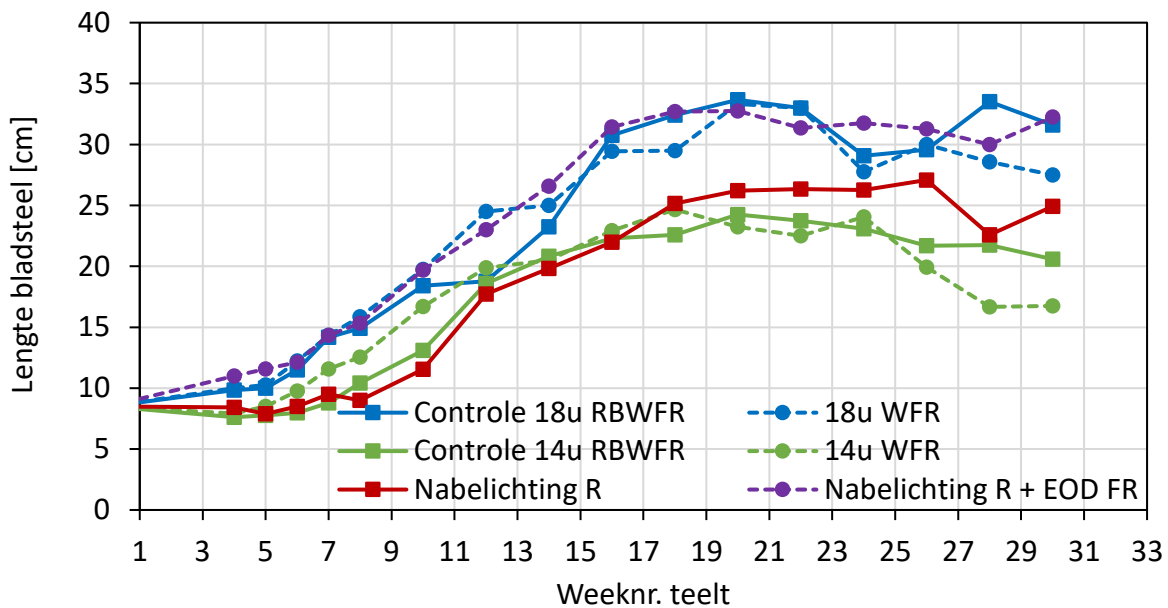


Figuur 59. (a) Lengte van de bladstengel gemeten bij een jong volgroeid blad. (b) Oppervlakte van een bladschijf gemeten bij een jong volgroeid blad. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten Favori.

Sonsation (junidrager):

De volgende aanvullende resultaten van Sonsation tijdens proefronde 2 worden hieronder weergegeven:

- Bladsteellengte (Figuur 60a)
- Oppervlakte bladschijf (Figuur 60b)



Figuur 60. (a) Lengte van de bladstengel gemeten bij een jong volgroeid blad. (b) Oppervlakte van een bladschijf gemeten bij een jong volgroeid blad. Waarden zijn het gemiddelde van 6 planten Sonsation.

4. Literatuuronderzoek aardbei: plantopbouw en fotoperiode

B4.1 Background information

A strawberry plant is an herbaceous perennial plant. The primary stem is called a crown, which consists of a variable number of leaves and is terminated with the formation of an inflorescence (Savini *et al.*, 2005). Axillary buds can either remain dormant, form branch crowns or form runners (Heide *et al.*, 2013). A strawberry plant grows sympodially. This implies that the uppermost axillary bud is dominant over lower axillary buds and takes over the function of the main crown (Heide *et al.*, 2013). This is called an extension crown (Savini *et al.*, 2005), which also generates leaves followed by an inflorescence (Figure 1).

However, lower axillary buds on the main crown and on extension crowns can also start to develop, called branch crowns (Savini *et al.*, 2005) (Figure 1). The development of both extension crowns and branch crowns may result in a lot of flowering at the same time followed by a harvest peak in combination with small fruits. However, growers would prefer a constant production in combination with large fruits. This requires a balanced growth, realised by controlling the fruit load per plant. Fruit load is determined by the truss size and the number of trusses, where the number of trusses is determined by the number of crowns.

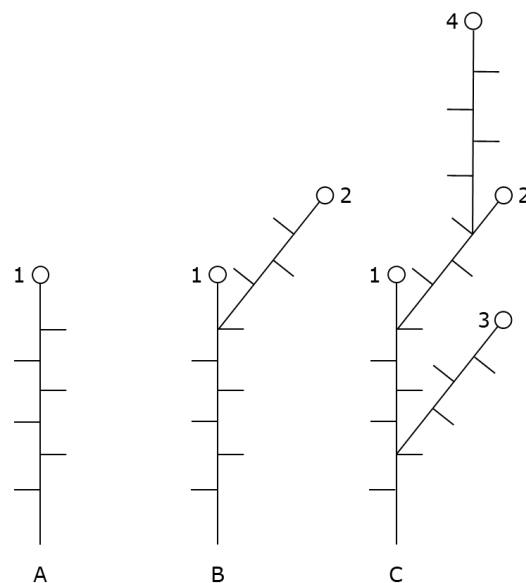


Figure 1. Schematic example of the sympodial growth of a generative strawberry plant. A circle represents an inflorescence, and a horizontal line represents a leaf. A: Main crown terminated by an inflorescence (1). B: Uppermost axillary bud takes over the function of the main crown and forms an extension crown (2). C: A lower axillary bud gives rise to a branch crown (3), and a second extension crown is formed (4). Numbers indicate the order in which inflorescences were formed. Figure is modified after Heide *et al.* (2013).

Strawberry plants can be divided in two main groups based on their flowering habit: June-bearing and everbearing cultivars. June-bearing cultivars annually produce one flowering cycle, whereas everbearing cultivars can flower continuously (Heide *et al.*, 2013). Moreover,

the day-length requirement to form an inflorescence also differs between the two groups. June-bearing strawberry plants are short-day plants, whereas everbearing cultivars are quantitative long-day plants (Heide *et al.*, 2013). However, temperature greatly influences the response of flowering to photoperiod. Both June-bearing and everbearing cultivars show a more day-neutral response at low temperature ($\pm <15$ °C), show a quantitative response at intermediate temperatures ($\pm 15-25$ °C), and show a qualitative response at high temperatures ($\pm >25$ °C) (Heide *et al.*, 2013).

B4.2 Current and desired situation

In the Netherlands, strawberries are mainly produced in open field conditions. In 2019, strawberry production covered in total 1638 ha, of which 1149 ha was open field production, and 489 ha was protected cultivation in either greenhouses or plastic tunnels (CBS, 2020). However, the percentage of protected cultivation is expected to further increase during the upcoming years (Groenten&Fruit, 2018). Protected cultivation offers several advantages compared to open field production: plants are less susceptible to weather influences, crop management is easier by cultivating in gutters placed above the ground and a year-round production is possible in greenhouses by using supplementary lighting.

A year-round production offers several advantages for growers. However, during wintertime light is limited in the Netherlands. The usage of supplementary lighting is required to maintain production during wintertime. At this moment, LED lighting is on the rise, which offers the possibility to save energy compared to HPS-lamps. Moreover, LED lighting offers the possibility to better control plant processes by using the correct spectral composition, e.g., control of plant morphology and of flowering (Trouwborst *et al.*, 2013).

When growers invest in LED lighting, they would prefer to turn on these lamps as much as possible. As the inflorescence induction of strawberry plants is influenced by day length, usage of supplementary lighting can have a significant impact. A long day length results in a lot of flowering and a harvest peak for everbearing cultivars, while June-bearing cultivars will hardly flower. Therefore, optimal usage of supplementary lighting, especially during wintertime, requires knowledge of how the inflorescence induction of strawberry plants is influenced by both day length and light spectrum. This knowledge could contribute to controlling the number of trusses and having a more balanced growth. Finally, harvest peaks can be prevented and instead a constant year-round production is possible with a sufficient fruit size.

B4.3 Effect of daylength on flowering: physiological background

The effect of day length on the flowering of *Arabidopsis thaliana*, a long-day plant, has been intensively studied. Flowering occurs when the expression of clock-regulated genes coincides with daylight, referred to as the external coincidence model (Taiz & Zeiger, 2010a). The CONSTANS (CO) protein plays a crucial role in the external coincidence model. CO mRNA expression fluctuates during the 24-hour light cycle, showing a peak at the end of a

day (Yanovsky & Kay, 2002). Flowering occurs when light in the afternoon coincides with the peak of CO mRNA (Taiz & Zeiger, 2010a), which occurs during long days (Figure 2). This is explained by CO protein being stabilized in light and degraded in darkness (Valverde *et al.*, 2004). Subsequently, CO protein induces the expression of FLOWERING LOCUS T (FT) (Yanovsky & Kay, 2002). Finally, FT acts as florigen (i.e., a floral inducer) and promotes flowering at the shoot apical meristem (Higuchi, 2018).

For the short-day plant rice, Heading-date 1 (Hd1) functions as an ortholog of CO and Heading-date 3a (Hd3a) as FT (Taiz & Zeiger, 2010a). Hd1 mRNA shows a similar circadian rhythm as CO mRNA (Taiz & Zeiger, 2010a). However, Hd1 protein acts as an inhibitor of Hd3a expression under long days (Taiz & Zeiger, 2010a). During short days, Hd1 does not accumulate and Hd3a is expressed, which results in flowering of rice (Taiz & Zeiger, 2010a).

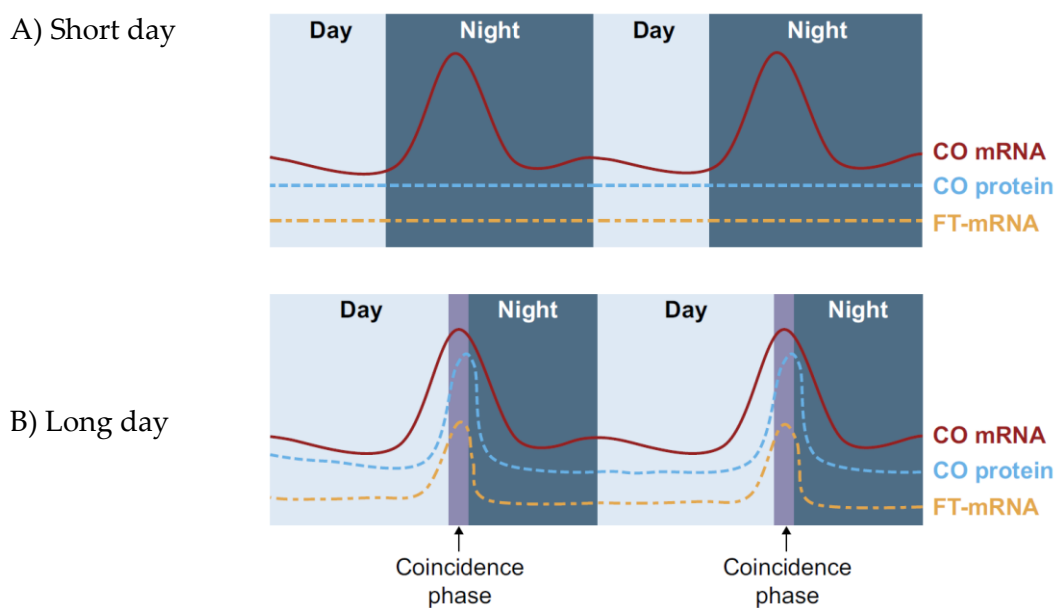


Figure 2. Schematic representation of the external coincidence model for *Arabidopsis thaliana*, shown for short days (A) and long days (B). CO protein is stabilized during long days when daylight coincides with the peak of CO mRNA. Subsequently, CO protein induces the expression of FT-mRNA, which promotes flowering. Figure is copied from Singh *et al.* (2017).

The stabilization of CO protein is regulated by photoreceptors (Taiz & Zeiger, 2010a). In the morning, phytochrome B (phyB; for more info about phytochromes see section B6.5) degrades CO protein (Valverde *et al.*, 2004). However, in the afternoon both phytochrome A (phyA) and cryptochromes (cry1 and cry2) counteract the degradation by PhyB, and CO protein is built up (Valverde *et al.*, 2004). In relation to this, for *Arabidopsis* plants placed under far-red or blue light, CO protein increased during the afternoon, while for plants placed under red light CO protein was not present (Valverde *et al.*, 2004).

B4.4 Photoperiodic control of inflorescence induction of strawberry

It was decided to restrict this literature research to the photoperiodic control of inflorescence induction. Other factors such as temperature and hormonal control are not taken into

account. Also, the trade-off between flowering and runnering is not discussed here. The review paper of Hytönen and Kurokura (2020) provides a good overview of other factors influencing flowering and the trade-off with runnering.

Woodland strawberry

The diploid woodland strawberry (*Fragaria vesca*) is often used as model plant for genetic research of strawberry plants. Cultivated strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) are octoploid and are therefore complicated for genetic analyses. For *F. vesca* the genetic pathway that controls flowering has been studied (Koskela *et al.*, 2012; Kurokura *et al.*, 2017; Rantanen *et al.*, 2014). An important finding is the gene TERMINAL FLOWER1 (FvTFL1), which acts as anti-florigen, i.e., a floral repressor (Higuchi, 2018). FvTFL1 is responsible for the different photoperiodic responses for flowering between June-bearing and everbearing strawberry plants (Koskela *et al.*, 2012). For the June-bearing cultivars, FvTFL1 is activated under long day (LD) conditions and repressed under short day (SD) conditions, so flowering is promoted during SD conditions (Koskela *et al.*, 2012). However, for everbearing cultivars the gene FvTFL1 is not functioning (Koskela *et al.*, 2012).

Upstream of FvTFL1, other genes are involved in the genetic pathway controlling the photoperiodic response of flowering. First, the gene FLOWERING LOCUS T (FvFT1) is upregulated under LD conditions (Koskela *et al.*, 2012). FvFT1 acts as florigen, i.e., a floral inducer (Higuchi, 2018). Subsequently, FvFT1 promotes the gene SUPPRESSOR OF THE OVEREXPRESSION OF CONSTANS1 (FvSOC1), which in turn promotes FvTFL1 (Higuchi, 2018). For everbearing cultivars, the lack of FvTFL1 results in a reversed photoperiodic control of flowering (Koskela *et al.*, 2012). FvFT1 is activated in leaves, whereas FvSOC1 and FvTFL1 are activated in shoot apices (Hytönen & Kurokura, 2020). The flowering control pathways are schematically shown in Figure 3.

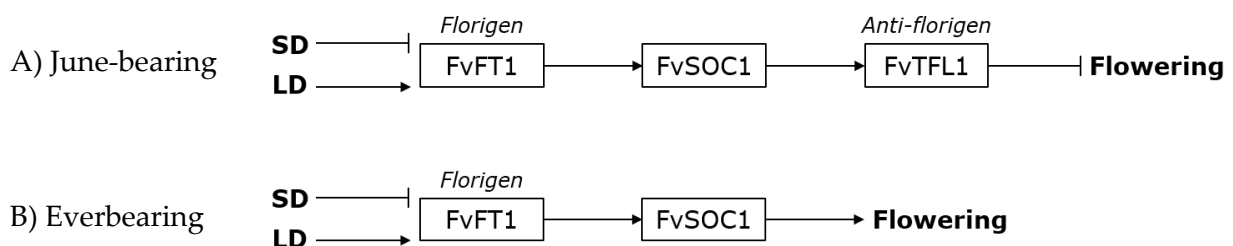


Figure 3. Schematic pathways of photoperiodic control of flowering for June-bearing (A) and everbearing (B) woodland strawberry plants (*F. vesca*). Effects of temperature are excluded from this figure. SD = short day, LD = long day. Figure is based on Hytönen and Kurokura (2020).

According to the external coincidence model, the activation of the floral inducer FT is regulated by the CONSTANS (CO) protein (section 1.1). CO protein is stabilized in the afternoon when light coincides with the peak of CO mRNA (Taiz & Zeiger, 2010a). It can be questioned whether CO also plays a role in the activation of FvFT1 for woodland strawberry plants (*F. vesca*). For woodland strawberry, FvCO only shows a peak at dawn, regardless of whether there are SD or LD conditions (Kurokura *et al.*, 2017). Subsequently, FvFT1 peaks

around 4 and 16 hours after dawn for LD conditions, of which the afternoon peak is the largest (Kurokura *et al.*, 2017). For SD conditions, FvFT1 expression is very low or undetectable (Kurokura *et al.*, 2017). These results show that FvCO does not coincide with the peak of FvFT1 in the afternoon, and that FvCO is not directly responsible for the activation of FvFT1. In Figure 4 both FT and CO mRNA expression is compared for *Arabidopsis thaliana* and *F. vesca*.

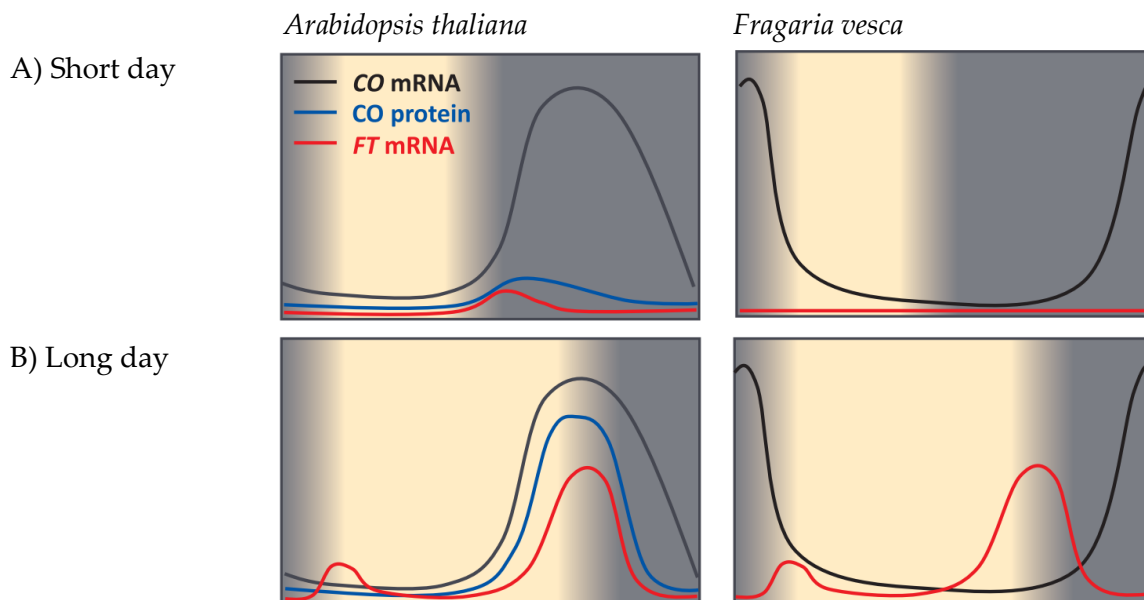


Figure 4. FT and CO mRNA expression shown for both *Arabidopsis thaliana* and the woodland strawberry *Fragaria vesca*. Lines are shown for a short day (A) and a long day (B), each representing 24 hours. For *F. vesca*, CO protein data is not available. Figure is copied from Hytönen and Kurokura (2020).

However, the study of Kurokura *et al.* (2017) showed two remarkable findings that suggest FvCO controls photoperiodic flowering for the woodland strawberry. First, if FvCO was silenced, no expression of FvFT1 occurred for both SD and LD conditions, which indicates that FvCO affects both morning and afternoon peaks of FvFT1 (Kurokura *et al.*, 2017). Second, if FvCO was overexpressed, FvFT1 expression was still sensitive to photoperiod (Kurokura *et al.*, 2017). This result suggests that FvCO protein is regulated by light, and FvCO protein could partially be responsible for the photoperiod measurement that controls the upregulation of FvFT1 under LD conditions (Kurokura *et al.*, 2017). Even though these findings suggest that the external coincidence theory is partially applicable to woodland strawberry, mechanisms underlying the activation of FvFT1 in the afternoon, e.g., via phytochromes or cryptochromes, are currently unknown (Kurokura *et al.*, 2017).

Cultivated strawberry

Findings represented above apply to woodland strawberry plants (*F. vesca*). However, it can be questioned to what extent these findings also apply to cultivated strawberry plants (*F. x ananassa*). Cultivated strawberry plants, e.g., the cultivar Elsanta, have been widely studied at the physiological level. However, research at genetic level is scarce (Koskela *et al.*, 2016). Silencing the floral repressor FvTFL1 for woodland strawberry resulted in the loss of a SD requirement for flowering (Koskela *et al.*, 2012). Subsequently, for the cultivated June-bearing cultivar Elsanta, a homologous gene was silenced, i.e., FaTFL1 (Koskela *et al.*, 2016). Results showed that these plants also lost their SD requirement for flowering, and instead started to continuously flower under LD conditions, so FaTFL1 is also a strong floral repressor for cultivated strawberry plants (Koskela *et al.*, 2016). However, the expression of FaTFL1 differed widely between several cultivars and did not always depend on photoperiod (Koskela *et al.*, 2016).

Gaston *et al.* (2013) proposed a single dominant locus called Perpetual Flowering and Runnering (FaPFRU) that controls both everbearing flowering characteristics and runnering in cultivated octoploid strawberry. This locus differed from the locus on which the genes are found that control flowering for the woodland strawberry *F. vesca*, suggesting different genetic pathways controlling flowering for woodland and cultivated strawberries (Gaston *et al.*, 2013).

In conclusion, the findings presented for the woodland strawberry might to some extent not be applicable to the cultivated strawberry. Moreover, it is hard to define to what extent the external coincidence theory established for *Arabidopsis* is completely applicable to cultivated strawberry plants. This research will contribute to revealing which mechanisms play a role in the control of flowering of cultivated strawberry plants.

B4.5. Photoperiodic control by photoreceptors

Phytochrome B (phyB), phytochrome A (phyA) and cryptochromes play a role in the photoperiodic response of *Arabidopsis* and rice (Taiz & Zeiger, 2010b). They influence the amount of CONSTANS (CO) protein present during a day (Valverde *et al.*, 2004). In this section, the working principles of these photoreceptors are further explained.

Phytochromes

Phytochromes are light absorbing pigments that absorb red (R) and far-red (FR) light most strongly, however, they also absorb blue light (Taiz & Zeiger, 2010b) (Figure 5). Phytochromes can interconvert between the forms Pr and Pfr, of which Pfr is the physiologically active form (Taiz & Zeiger, 2010b). Pr is a red-light absorbing form, which converts to Pfr when it absorbs red light, and Pfr is a far-red light absorbing form, which converts to Pr when it absorbs far-red light (Taiz & Zeiger, 2010b) (Figure 6). The equilibrium between the Pr and Pfr form is defined as the phytochrome photostationary

state (PSS), calculated as the ratio $Pfr/(Pfr+Pr)$ (Taiz & Zeiger, 2010b). The PSS values depends on the spectral composition of a light source and is a good measure for plant responses. For example, in a shade environment, the R/FR ratio is lower than for sun environments. This results in a relatively low PSS value, since far-red light converts Pfr to Pr, and plants are more elongated (Taiz & Zeiger, 2010b).

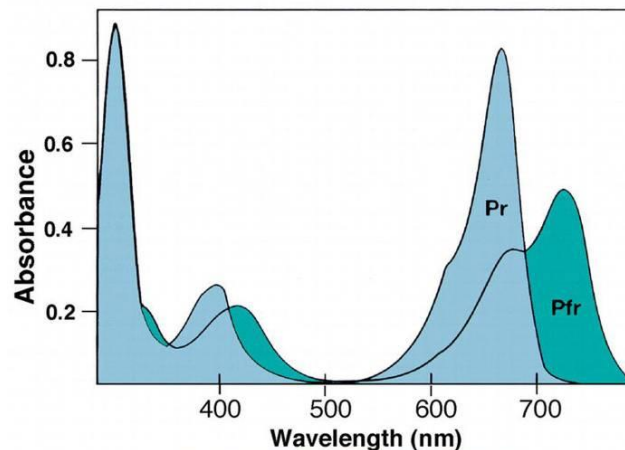


Figure 5. Absorbance spectra of phytochrome forms Pfr and Pr. Figure is copied from Li et al. (2011).

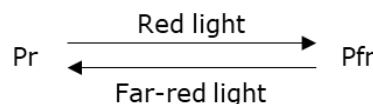


Figure 6. Interconversion of phytochrome forms Pr and Pfr. Pr converts to Pfr under red light conditions and Pfr converts to Pr under far-red light conditions. Figure is copied from Taiz and Zeiger (2010b).

In total five different phytochromes can be distinguished in Arabidopsis, defined as phytochrome A-E. Phytochromes have several sensory functions, e.g. sensing colour, intensity, duration and periodicity of the light environment (Quail, 1997). They have several regulatory functions, e.g. seed germination, de-etiolation, shade avoidance and flowering (Quail, 1997). The different responses are identified by the amount of light to induce them, i.e. the fluence ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$), and by the exposure time, i.e. the fluence rate or irradiance ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) (Taiz & Zeiger, 2010b). In total three different response are distinguished by Taiz and Zeiger (2010b):

- Very low-fluence responses (VLFRs)
- VLFRs are induced by very low fluences of red light, i.e. lower than $0.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2$. A response can already be induced by a brief pulse of light, with as conditions that the exposure time is long enough to obtain the required fluence. Moreover, responses are not reversible by far-red light. An example of such a response is seed germination.
- Low-fluence responses (LFRs)
- LFRs are induced by red light of $1\text{-}1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2$. LFR are already induced by a brief pulse of light, similar to VLFRs. In contrast to VLFRs, a LFR is reversible by applying far-red light. An example of this response is stem elongation.

- High-irradiance responses (HIRs)
- HIRs require a prolonged exposure to a relatively high irradiance. The saturation is at least 100 times higher than for LFRs. HIRs are rather sensitive to the number of photons per second ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) than to the total number of photons ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$). Responses are induced after exposure for several hours, whereas the VLFR and LFR are induced after several minutes. The HIR is also not reversible. An example of this response is the control of flowering.

Based on Taiz and Zeiger (2010a) two crucial different systems for photoperiodic control of flowering are defined. First, for some plants phyB is involved in the control of flowering, for which the reaction is defined as a LFR type. This was determined by night-break experiments. In these experiments, plants were exposed to short days and subsequently exposed to a flash of either red or far-red light during the night. For short day plants, a flash of red light prevented flowering, whereas this reaction was reversed by a flash of far-red light. For long day plants, an opposite response was observed, where flowering was induced by a flash of red light and prevented by a flash of far-red light. These observations indicate that exposure of several minutes is enough to induce photoperiodic control reactions. Far-red light is perceived as a short day, while red light is perceived as a long day. Moreover, responses are reversible.

Second, for other plants phyA is involved in the control of flowering, which is defined as a HIR type (Taiz & Zeiger, 2010a). Flowering of the long day plant *Arabidopsis* is promoted by an exposure for multiple hours to far-red light and delayed by an exposure to only red light. Moreover, the promotion of flowering is sensitive to a circadian rhythm, according to the external coincidence model described earlier. In contrast to the system described above for phyB where far-red light is perceived as a short day, for phyA far-red light seems to be perceived as a long day (Valverde *et al.*, 2004). However, it is important to note that for many past experiments, far-red light was generated by incandescent lamps. Incandescent light also contains red light, so it can be questioned whether these responses are induced by far-red light only. The study of Rausenberger *et al.* (2011) suggest that cycling between the two forms Pfr and Pr is needed for nuclear transport (Figure 7). This suggests that both red and far-red light is required to induce a response of phyA.

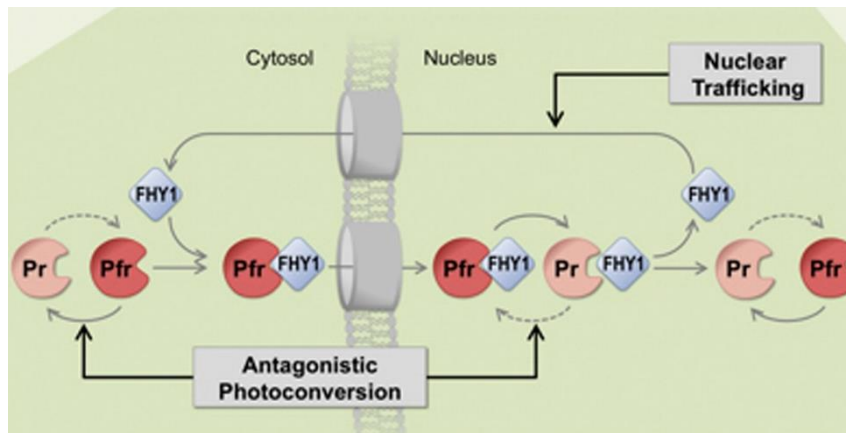


Figure 7. Nuclear transport of Pr and Pfr indicated for *phyA*. Cycling between the Pr and Pfr form is required for nuclear transport, and thus for signalling of *phyA*. This suggests that both red and far-red light are required to induce a response of *phyA*. Figure is copied from Rausenberger *et al.* (2011).

In conclusion, two distinct systems of photoperiodic control of flowering are described above. *PhyA* induces responses to an exposure to light of several hours, whereas *phyB* already induces a response after several minutes. Moreover, the response seems to differ depending on the light spectrum. *PhyA* is most likely to require both red and far-red light to promote flowering for long day plants. In contrast, *phyB* perceives a pulse of red light as a long day and a pulse of far-red light as a short day. Last, *phyA* responses are non-reversible (HIR), while *phyB* responses are reversible (LFR).

Cryptochromes

For *Arabidopsis* blue light also promotes flowering (Taiz & Zeiger, 2010a). Cryptochromes (*cry1* and *cry2*) are responsible for inducing a flowering response to blue light. For example, *Arabidopsis* mutants lacking *cry2* were delayed in flowering. Cryptochromes regulate flowering directly by stabilizing the CO protein.

B4.6. Photoreceptors involved in flowering regulation of woodland strawberry

For *Arabidopsis*, *phyA* is crucial for the stabilization of the CO protein in the afternoon (Valverde *et al.*, 2004). As described in section B6.5, for the activation of *phyA* probably an exposure to both red (R) and far-red (FR) light for several hours is required. Heide *et al.* (2013) describes for multiple studies that the usage of incandescent light as day extension or night interception was a successful way to influence the photoperiodic flowering of strawberry plants. As incandescent light includes besides FR light also R light, it suggests that *phyA* is involved in the photoperiodic control of flowering. Moreover, exposure to incandescent light was only successful when it was applied for multiple hours (Heide *et al.*, 2013), which also indicates the activation of *phyA*.

Rantanen *et al.* (2014) tested the effect of an end-of-day incandescent light treatment for everbearing *F. vesca* seedlings. Results showed that flowering was faster when 6 hours end-

of-day incandescent light was applied after receiving 12 hours of HPS lighting. Flowering was also advanced for an end-of-day treatment with only FR light provided by LED lamps. Seedlings flowered after eight leaves were formed on the primary rosette for both the incandescent and FR end-of-day treatment, compared to twelve leaves for both SD conditions (12 hours) and an end-of-day treatment with only R light (Figure 8). Moreover, floral promotor FvFT1 was highly expressed for both treatments with end-of-day incandescent or FR light, while almost no expression of FvFT1 occurred for the end-of-day R and SD treatments (Rantanen *et al.*, 2014).

It is suggested by Rantanen *et al.* (2014) that phytochromes play a major role in the photoperiodic control of flowering of woodland strawberry but further research is needed to confirm which phytochrome(s) are responsible for the photoperiodic signalling. If the application of solely FR light prolongs the photoperiod, it seems inconsistent with the assumption that (only) phyA plays a role in the photoperiod measurement, since we believe phyA requires both red and far-red for signalling based on Rausenberger *et al.* (2011) (Trouwborst *et al.*, 2013). The results of Rantanen *et al.* (2014) might invalidate the assumption that the working principle of phyA requires both red and far-red light. A more recent review of phytochrome signalling is Legris *et al.* 2019.

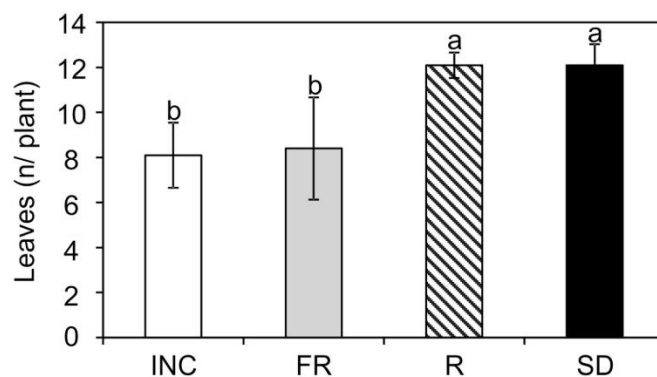


Figure 8. Number of leaves in the primary leaf rosette before the first truss appeared. Data was established for *F. vesca* seedlings plants with everbearing flowering properties. INC = incandescent, FR = Far-red, R= Red, SD = Short day. Values are mean \pm SD. Figure is copied from Rantanen *et al.* (2014).

B4.7. Sink-source balance

Plant growth and development correlates closely with source and sink strength. The net rate of assimilate production in the plant (i.e. photosynthesis rate) determines the source strength and sink strength is defined by the ability of organs to attract assimilates, such as growing strawberries and young developing leaves (Marcelis, 1996). An imbalance between source and sink has different results based upon the limitation. Sink limitation is often seen in young plants without fruit load that receive high light intensities. In this case, assimilate production exceeds the usage, leading to carbohydrate accumulation in leaves and stems, which negatively affects photosynthesis (Li *et al.*, 2015). On the other hand, limitations in source affects plant growth, flowering, fruit size and fruit quality (Li *et al.*, 2015; Sønsteby *et al.*, 2013, 2021a). Competition for carbohydrates between vegetative and reproductive organs

occurs in many fruit crops (Génard *et al.*, 2008; Lyu *et al.*, 2014) and changes in source and sink balance might explain the fluctuating yield pattern in everbearing strawberry, by lacking assimilates to maintain sufficient growth (Osorio *et al.*, 2014; Noordhoek, 2021).

In major horticulture crops such as tomato, source and sink organs are heavily manipulated in practice to maintain the balance between the two (Li *et al.*, 2015). For strawberry, Venner (2017) showed that lowering the sink strength by pruning young leaves increased total yield. Furthermore, Sønsteby *et al.* (2021b) demonstrated with crop manipulation in the everbearing cultivar 'Favori' that the ongoing flowering and fruit growth is reliant on the source-sink balance, requiring a sufficient leaf canopy. However, pruning to maintain the sink-source balance in strawberry is difficult and extremely laborious, making it unfeasible (Venner, 2017). Another approach to influence the balance could be by influencing vegetative growth. Noordhoek (2021) hypothesized that limited light interception under shorter photoperiods could possibly explain the earlier onset of the developmental pause after a peak in production in everbearing strawberry.