

Paprika: effecten van temperatuur en lichtspectrum

Deelrapport IX in project "Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas II"



Mei 2023

M. Wiekens, A. Boonman & S.W. Hogewoning

Paprika: effecten van temperatuur en lichtspectrum

Deelrapport IX in project "Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas II"

Mei 2023

M. Wiekens, A. Boonman & S.W. Hogewoning

Plant Lighting B.V.

Doordraai 1

3981 PE Bunnik

info@plantlighting.nl

www.plantlighting.nl

REFERAAT

M. Wiekens, A. Boonman & S.W. Hogewoning. 2023. Paprika: effecten van temperatuur en lichtspectrum. Deelrapport IX in project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas II”. Plant Lighting B.V. Bunnik. 50p.

Hoofdsponsors



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Gewascoöperatie
Paprika



Stichting
Kennis in je Kas



© 2023 Plant Lighting B.V.

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron, ter stimulering van energiebesparende maatregelen in de tuinbouw. Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door de bijdragen van hierboven vermelde sponsors. De resultaten mogen vrij gebruikt worden, mits de bronnen worden vermeld.

Plant Lighting B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen als gevolg van gebruik van gegevens uit dit rapport.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
DANKWOORD	7
1 INLEIDING.....	8
1.1 Achtergrond.....	8
1.2 Doelstellingen.....	11
2 MATERIAAL EN METHODEN	12
2.1 Plantmateriaal, teeltgegevens en klimaat	14
2.2 Belichting.....	15
2.3 Teeltplan.....	17
2.4 Metingen.....	18
3 RESULTATEN.....	21
3.1 Gewasstand en strekking.....	21
3.2 Bladkwaliteit, verdamping en fotosynthese.....	23
3.3 Plantbelasting en opbrengst	28
3.4 Verdeling droge stof	33
4 DISCUSSIE.....	37
4.1 Conclusies en aanbevelingen	40
5 REFERENTIES.....	41
6 BIJLAGEN.....	42
6.1 Gerealiseerd klimaat.....	42
6.2 Analyses gift- en voedingswater.....	44
6.3 Watergift en drain	45
6.4 Belichtingsschema.....	47
6.5 LAI en bladmassa per oppervlak (LMA).....	48
6.6 Suikergehalte vruchten	49
6.7 Verdeling droge stof	50

Samenvatting

Paprika wordt in Nederland nog niet of nauwelijks jaarrond geteeld, in tegenstelling tot bijvoorbeeld tomaat en komkommer. Voor een toekomstbestendige jaarrond paprikateelt in Nederland moet een goede productie en kwaliteit geteeld kunnen worden met een zo beperkt mogelijke energie-input. Voorgaande onderzoeken van Plant Lighting en Delphy Improvement Centre hebben aangetoond dat paprika in de winter geteeld kan worden met LED-belichting. Controle over de strekking van het gewas, behoud van een goede fotosynthese en bladkwaliteit, een constante vruchtzetting, en beperking van de elektra- en warmtevraag zijn nu nog de belangrijkste uitdagingen. Dit onderzoek is gericht op de (interactieve) effecten van lichtspectrum en etmaaltemperatuur op stengelstrekking, fotosynthese en bladkwaliteit.

In twee klimaatcellen van Plant Lighting B.V. is een proef opgezet waar gedurende vijf maanden twee paprikarassen (Alzamora en Guintoli) werden getoetst onder twee etmaaltemperaturen (21 en 24°C) en twee spectra bijbelichting. In alle behandelingen was een achtergrond van winterdaglicht dat werd gerealiseerd door gebruik van zonlichtsimulatoren. Het breedband- ('witte') spectrum bijbelichting varieerde in het aandeel verrood (4% en 12%), uitgedrukt als PSS-waarde (Phytochrome Photostationary State) van respectievelijk 0.84 en 0.79. De PSS-waarde is een maatstaf waarmee het evenwicht tussen actieve en inactieve fytochromen die gevoelig zijn voor rood of verrood licht wordt uitgedrukt. Bij een toenemend aandeel verrood licht in het spectrum is de PSS-waarde lager. Er was in eerdere proeven al aangetoond dat verrood gunstig is voor stengelstrekking en mogelijk ook voor de opbrengst van belichte paprika in de winter. Echter, aangezien verrood minder bijdraagt aan fotosynthese dan PAR licht en extra investeringen en kosten vraagt, is het van belang om te onderzoeken hoe met zo min mogelijk verrood de doelen kunnen worden gehaald.

De etmaaltemperatuur was relatief hoog in eerdere praktijkstudies in de winter, namelijk 24°C. Dit verhoudt zich niet goed tot een onbelichte praktijkteelt in bijvoorbeeld maart, wanneer vaak koelere temperaturen worden aangehouden, maar er juist al meer (zon-)licht is dan in een belichte winterteelt. Telen bij een lagere etmaaltemperatuur kan diverse voordelen bieden zoals besparing op stookkosten, tragere bladafplitsing en daarmee mogelijk relatief minder investering in vegetatieve delen, en minder benodigde assimilaten voor donkerademhaling.

De volgende doelstellingen zijn geformuleerd voor deze proef:

- Voldoende strekking van de internodia realiseren
- Behoud van bladkwaliteit, huidmondjesgeleiding en fotosynthese
- Voldoende en stabiele zetting door te sturen op source/sink
- Voldoende productie realiseren

De effecten van etmaaltemperatuur en lichtspectrum op bovenstaande gewaseigenschappen zijn onderzocht. Tijdens de proef werd geprobeerd om de source-sinkbalans te sturen om de

plantbelasting zo vlak mogelijk te houden. Hiervoor werd een teeltplan opgezet om de maximaal toelaatbare plantbelasting te voorspellen.

De lagere etmaaltemperatuur van 21°C resulteerde in minder, maar langere internodia dan bij 24 °C. Bij belichting met PSS-waarde van 0.79 strekten de internodia meer dan bij PSS 0.84. Het is de vraag of er met een PSS-waarde van 0.84 niet al genoeg stengelstrekking is, en in hoeverre raseigenschappen hieraan bijdragen. Het ras Guintoli had namelijk in alle behandelingen langere internodia dan Alzamora. Ook het verval in fotosynthesesnelheid was lager bij 21 °C. Dit verval kwam voort uit een sluiting van de huidmondjes in bladeren 5 tot 7 internodia onder de kop van het gewas. Wel was er meer verdamping en trad er, mogelijk daardoor, minder bladchlorose op bij hogere etmaaltemperatuur.

De opbrengst was iets hoger in de behandelingen met meer verrood (PSS 0.79). Temperatuur had geen consistent effect op opbrengst. Bij de lage etmaaltemperatuur van 21°C was er veel minder neusrot dan bij de hogere temperatuur van 24°C (in die laatste tot wel 20% van de vruchten met enige mate van neusrot). Dat pleit dus voor het aanhouden van de lagere temperatuur, al speelde mogelijk ook een tijdelijk hoge EC in de mat een rol. Gezien de beperkte schaal van dit onderzoek moeten gemeten verschillen in opbrengst voorzichtig worden geïnterpreteerd, en kan vervolgonderzoek op grotere schaal en met een bredere selectie aan rassen hierover meer duidelijkheid geven.

Telen bij een lagere etmaaltemperatuur (21°C) lijkt zonder problemen te kunnen. In eerdere kasproeven is een hogere temperatuur aangehouden (24°C), omdat ervan uitgegaan werd dat een lagere temperatuur te weinig strekking van de internodia geeft. Deze zorg blijkt ongegrond. Dit biedt kansen voor een energiezuinigere teelt. Wel was bij de hogere temperatuur het gemiddelde vruchtgewicht lager en het aantal geoogste vruchten hoger.

Afhankelijk van het marktsegment zouden vruchten te zwaar kunnen worden bij de lagere etmaaltemperatuur. Een hogere plantbelasting zou wat dat betreft gunstig zijn. Omdat het inzetten van extra verrood licht investeringen en elektragebruik met zich meebrengt, moet goed overwogen worden welke meerwaarde dit geeft. Bij moeizaam strekkende rassen kan dit de werkbaarheid verhogen, maar worden de extra kosten in elektra niet direct evenredig vertaald naar extra productie. Hierbij kan een teler als alternatief de overweging maken om meer te investeren in PAR licht. Belichting met apart aanstuurbaar verrood biedt flexibiliteit.

Dankwoord

Dit onderzoek is een deelproject binnen het project “Fundamentele kennisontwikkeling LED-belichting voor praktische toepassing in de kas II” ondersteund door het programma “Kas als Energiebron”, gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland, en mede gesponsord door Signify en de gewascoöperatie paprika. Onze dank gaat uit naar Plantise B.V. en Rijk Zwaan, welke plantgoed voor deze proef hebben geleverd. Daarnaast willen we alle telers die de proef in Bunnik hebben bezocht bedanken voor hun interesse in dit onderzoek. De leden van de BCO worden bedankt voor hun actieve bijdrage in de besprekingen. Joke Vreugdenhil (Glastuinbouw Nederland) wordt bedankt voor het coördineren van de BCO's. Als laatste bedanken we de onderzoekskoördinatoren Dennis Medema en Leo Oprel van het programma Kas als Energiebron voor hun steun bij de totstandkoming en uitvoering van dit project.

Mei 2023,

Sander Hogewoning

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Paprika is een belangrijk groentegewas in Nederland, waarvan het areaal tussen 1998 en 2021 van 1010 naar 1630 hectare is gegroeid (CBS StatLine). Hoewel er in de zomer veel paprika's geëxporteerd worden, worden er in de wintermaanden veel paprika's uit het buitenland geïmporteerd naar Nederland. Jaarrond productie van paprika in Nederland kan een uitkomst bieden, wat gunstig is voor de arbeidsinvulling en marktpositie.

Om tot een succesvolle en toekomstbestendige jaarronde paprikateelt te komen, moet voldaan worden aan drie voorwaarden. In de eerste plaats moet er in de winter met behulp van belichting een gezond en voldoende productief gewas geteeld kunnen worden, dat ook na de winterperiode nog voldoende productief blijft. Ten tweede moeten voor een rendabele teelt de kosten voldoende beheerst worden, waaronder de energiekosten. Ten derde zal in het kader van het convenant energietransitie glastuinbouw 2022-2030 het gebruik van fossiele brandstoffen beperkt moeten worden. Voor wat betreft de laatste twee punten is belichting met LED belangrijk. Moderne LED-lampen zijn in staat om tot wel tweemaal zoveel licht te produceren per energie-eenheid als SON-T lampen en er gaat minder energie verloren aan warmte (Katzin et al., 2021, Kusuma et al., 2020). Daarnaast benadrukken de fluctuerende energieprijzen de noodzaak om over te schakelen op het gebruik van LED-belichting en het sturen op fossielvrij telen nog verder. De uitdaging is dus dat er een goede jaarrond teelt gerealiseerd kan worden met energiezuinige teeltmethoden.

Twee aspecten van de teelt vormen het onderwerp van deze proef: **(1) etmaaltemperatuur** en **(2) lichtspectrum**. De etmaaltemperatuur was in eerdere proeven relatief hoog (tot 24°C) en hier wordt onderzocht of dat lager kan. Voor succesvolle toepassing van LED-belichting is het juiste spectrum van belang en met name het aandeel verrood licht. Gebaseerd op eerder opgedane kennis wordt in deze proef een verschillend aandeel verrood in de belichting getoetst. Deze twee punten worden verder toegelicht hieronder, na een kort overzicht van eerder onderzoek.

Proeven paprika jaarrond

Voorgaande onderzoeken bij het Improvement Centre Delphy en Plant Lighting hebben belangrijke inzichten opgeleverd voor de praktische inzet van LED-belichting voor de jaarrond productie van paprika. In een serie kasproeven gedurende de periode 2018-2022, waarin jaarrond van september tot in augustus paprika geteeld werd, heeft het afstemmen van vraag en aanbod van assimilaten bijgedragen aan een relatief gelijkmatige winterproductie (o.a. Helmus-Schuddebeurs et al., 2020). Berekeningen door Plant Lighting aan de lichtbeschikbaarheid- en benutting hebben daarbij een bruikbare voorspelling geleverd voor de benodigde hoeveelheid bijbelichting voor een gewenste plantbelasting. In de kasproef van 2020-2021 is met full-LED bijbelichting voldoende stengelstrekking gerealiseerd, maar is

wel met een hoog aandeel verrood belicht (25% t.o.v. PAR; Helmus-Schuddebeurs et al., 2022), wat het energiegebruik van de belichting verhoogt.

Een opvallende constatering in de kasproeven was het ontstaan van chlorose aan de bladeren. De chlorose trad op gedurende de wintermaanden vanaf ongeveer het moment dat het gewas vol belast was en er relatief veel belicht werd, en bleef ook in het voorjaar bij nieuwe bladeren ontstaan. Ook was de fotosynthese van bladeren vanaf enige internodia onder de kop tot dieper in het gewas vaak sterk gelimiteerd door een lage huidmondjesgeleidbaarheid. Dit, in combinatie met de chlorose, heeft naar alle waarschijnlijkheid vooral in het voorjaar de productie beperkt doordat het toenemende licht niet ten volle benut kon worden.

Etmaaltemperatuur

Zoals gezegd zijn voorgaande kasproeven uitgevoerd bij relatief hoge etmaaltemperaturen (tot 24°C). De redenen hiervoor waren onder andere dat lagere temperaturen onvoldoende stengelstrekking zouden geven en te grove bloemen, die tot mindere vruchtzetting leiden. Echter, in een belichte wintersituatie is er ook met de toegepaste belichting (tot 195 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR) gemiddeld minder licht vergeleken met een onbelichte teelt in voorjaar en zomer. Uitgaande van een balans in aanmaak en verbruik van assimilaten, is de winter juist een situatie waarbij de temperatuur lager zou moeten zijn. Met een hogere temperatuur wordt de groeisnelheid en vraag naar assimilaten immers verhoogd, terwijl minder assimilaten worden gemaakt bij minder beschikbaar licht.

De hoge temperatuur in die eerdere proeven heeft mogelijk geleid tot onnodig snelle bladafsplitsing en versnelde fysiologische veroudering. Chlorose, wat in feite een teken van bladveroudering is, werd mogelijk dus versneld. Een ander mogelijk voordeel van telen bij lagere etmaaltemperaturen is dat er minder internodia en bladeren worden afgesplitst. Hierdoor kan een hoger aandeel van de assimilaten aan de vruchten worden toegewezen ten opzichte van stengel en bladeren. Dat pleit voor een lagere etmaaltemperatuur. Dat leidt uiteraard tot een directe besparing op stookkosten. Nog een fysiologisch voordeel is dat de donkerademhaling daalt bij lagere temperatuur, ofwel er worden minder suikers gebruikt in de plant, wat ook gunstig is voor de assimilatenbalans. Om deze redenen wordt in deze proef de etmaaltemperatuur van 24°C vergeleken met een lagere temperatuur van 21°C, in twee identieke klimaatcellen. Mocht blijken dat bij een lagere temperatuur succesvol belicht geteeld kan worden, dan maakt dat fossielvrij jaarrond telen gemakkelijker.

Lichtspectrum en verrood

In een kasproef met een jaarronde teelt met paprika Maveria zijn in vier behandelingen de effecten van LED (200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 88% rood-5% groen-7% blauw) en hybride belichting (80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T en 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED) getoetst met en zonder toevoeging van 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood (Helmus-Schuddebeurs et al., 2020). Belichting zonder verrood gaf een erg gedrongen gewas wat de werkbaarheid in de weg stond. De behandeling met de laagste PSS-waarde (hybride met verrood) gaf de meeste strekking en werd door telers als net aan voldoende beoordeeld wat betreft werkbaarheid. Opvallend hierbij was de beduidend hogere opbrengst

in behandeling hybride met verrood (41.7 kg/m²) vergeleken met 35.6 tot 37.5 kg/m² in de andere drie behandelingen. Klimaatkamerproeven lieten vervolgens ook zien dat toevoeging van verrood licht meer strekking gaf en de werkbaarheid van het gewas verhoogde (van den Boogaart et al., 2019, Boonman en Hogewoning, 2022). Een toenemend aandeel verrood in de belichting gaf steeds meer strekking en een gesimuleerd zonlichtspectrum het meest (van den Boogaart et al., 2019). Overigens is belichting met een zonlichtspectrum voor commerciële teelten waarschijnlijk niet rendabel vanwege de aanschafkosten en het hogere elektragebruik per eenheid uitgestraald licht.

Strekking wordt gereguleerd door de fotoreceptor fytochroom, die sterk gevoelig is voor de rood/verrood ratio van het lightspectrum. Een zonlichtspectrum heeft bijna evenveel verrode als rode golflengten en stimuleert strekking bij veel gewassen waaronder paprika, vergeleken met de meeste spectra assimilatie-belichting (LED en SON-T). LED rood/blauw zonder enig verrood, als andere uiterste, remt strekking het meest. In onderzoek wordt behalve de rood/verrood ratio het begrip PSS gebruikt, wat staat voor phytochrome photostationary state (Sager et al., 1988). Voor zonlicht is dat PSS 0.71 en voor rood/blauw LED licht is dat ongeveer PSS 0.89. In de net genoemde klimaatkamerproef is onder gesimuleerde winterse omstandigheden het effect van LED-bijbelichting met vier verschillende spectra vergeleken met PSS 0.75 (2x), PSS 0.83 en PSS 0.87 (Boonman en Hogewoning, 2022). Met een basis van rode LED's was veel verrood nodig voor PSS 0.75, wel 55% ten opzichte van PAR. In een andere behandeling is ook een basis van witte LED's gebruikt. Daarmee daalt het aandeel rood licht in het spectrum en daardoor is er minder verrood nodig (18%) voor dezelfde PSS van 0.75. Het is vooral de PSS die de strekkingrespons van de internodia reguleert bij paprika.

Om tot een goed bruikbaar spectrum te komen voor belichting van paprika is verdere optimalisatie nodig. Geen verrood is niet aan te raden vanwege de slechte strekking. Zeer veel verrood in de belichting (PSS 0.75) is duur vanwege de elektra en investeringen in verrode LED. Bovendien draagt verrood licht (>700 nm) veel minder bij aan fotosynthese dan licht wat binnen het PAR (400-700 nm) valt. Verder werd bladchlorose verergerd naarmate het aandeel verrood in het spectrum hoger was (Boonman & Hogewoning, 2022). Te hoge PSS-waardes en teveel verrood moeten dus vermeden worden. We hebben daarom in deze proef twee gemiddelde PSS-waardes getoetst bij een breedband spectrum (blauw 27%-groen 38%-rood 35%) aangevuld met verrood voor PSS 0.79 (+12% verrood) en PSS 0.84 (+4% verrood). Verder zijn twee rassen geselecteerd (Alzamora en Guintoli) welke gemakkelijker strekken en minder gevoelig zijn voor chlorose dan het eerder getoetste ras Mavera. Een kortere daglengte (15 uur) bleek in de eerder genoemde proef in klimaatcellen van Plant Lighting voordelen te bieden boven 18 uur belichting, zoals een hogere verdamping en iets minder bladchlorose (Boonman & Hogewoning, 2022). Om die reden is in de huidige proef ook 15 uur daglengte aangehouden.

1.2 Doelstellingen

De ontwikkeling van rassen Alzamora en Guintoli wordt onder gesimuleerde winterse omstandigheden getoetst bij twee spectra belichting (PSS 0.79 en PSS 0.84) bij twee temperaturen (21 en 24°C) en 15 uur daglengte.

De volgende doelstellingen zijn geformuleerd voor deze proef:

- Voldoende strekking van de internodia realiseren
- Behoud van bladkwaliteit, huidmondjesgeleiding en fotosynthese
- Voldoende en stabiele zetting door te sturen op source/sink
- Voldoende productie realiseren

De effecten van etmaaltemperatuur en lichtspectrum op bovenstaande gewaseigenschappen worden onderzocht. Het uiteindelijke doel is kennis te ontwikkelen voor de praktische implementatie van LED-belichting voor de jaarrond productie van paprika in Nederland.

2 Materiaal en methoden

De proef naar de effecten van etmaaltemperatuur en lichtspectrum op de groei en ontwikkeling van paprika is tussen 8 februari en 27 juni 2022 uitgevoerd in twee klimaatcellen bij Plant Lighting in Bunnik. De proef startte met planten van 49 dagen oud die waren opgekweekt bij plantenkweker Plantise. De setpoints van de proef en de behandelingen staan weergegeven in Tabel 2.1 en 2.2, de tijdslijn staat in Tabel 2.3.

Tabel 2.1. Setpoints van de proef.

Parameter	Waarde
Plantmateriaal	rode blokpaprika rassen Alzamora en Guintoli
Substraat	steenwol
Teeltmethode	2 stengels per plant, hogedraad
Temperatuur	21 of 24°C etmaal (voor verloop zie Figuur 2.3)
Luchtvochtigheid	70/80% D/N
CO ₂	vanaf dag 0: 600/400; dag 18: 700/400; dag 27: 800/400 ppm
Plantdichtheid	op de mat 7.5 stengels/m ²

Tabel 2.2. Behandelingen. In alle behandelingen was er achtergrond winterzonlicht en LED-belichting zoals omschreven in hoofdstuk 2.2.

Behandeling	Etmaaltemperatuur	PSS*	%Vr LED spectrum
21°C PSS 0.79	21°C	0.79	12% verrood
21°C PSS 0.84	21°C	0.84	4% verrood
24°C PSS 0.79	24°C	0.79	12% verrood
24°C PSS 0.84	24°C	0.84	4% verrood

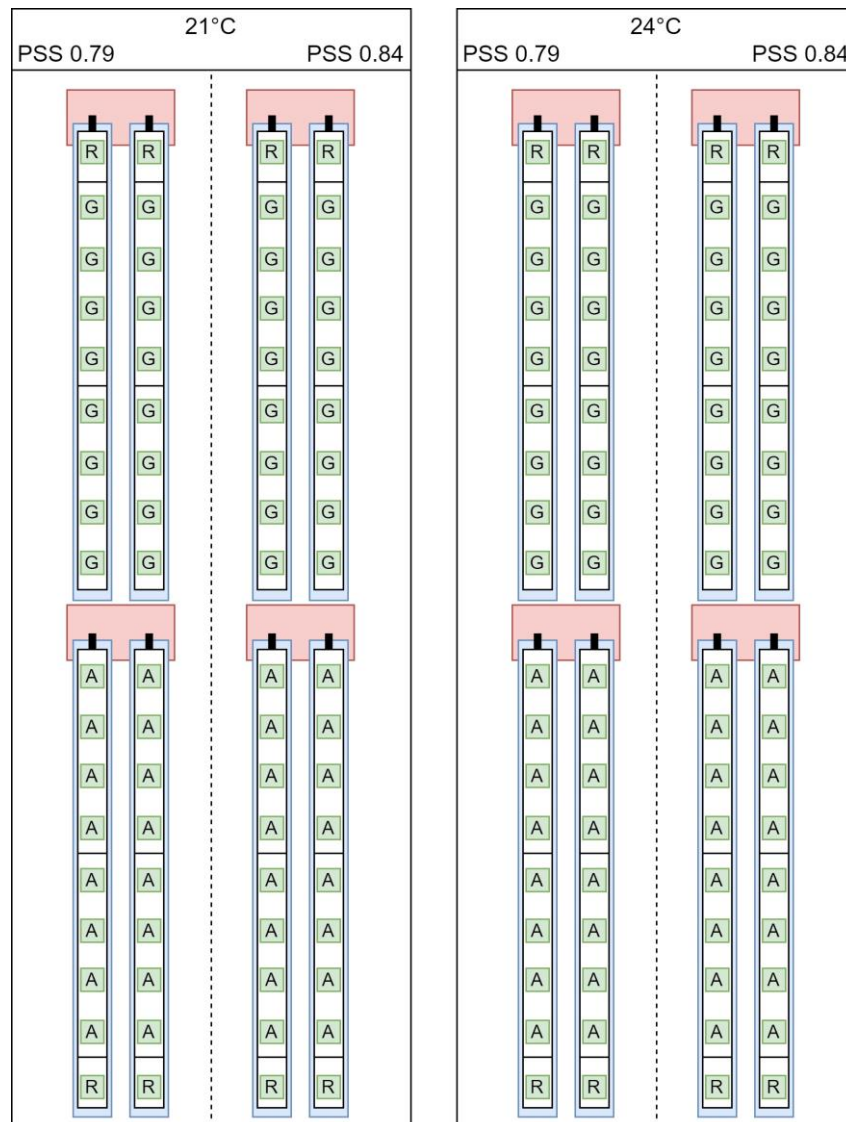
* PSS is een maat voor de hoeveelheid actief fytochroom ten opzichte van totaal fytochroom en een lage PSS-waarde geeft aan dat er relatief veel verrood licht in het spectrum zit (Sager et al., 1988).

Tabel 2.3. Tijdslijn van de proef.

Datum	Week na start	Gebeurtenis
21-12-2021		Zaaien bij plantenkweker
08-02-2022	0	Start proef bij Plant Lighting, planten direct op de mat, start lichtbehandelingen
07-03-2022	4	Start temperatuurbehandelingen
12-04-2022	9	Start oogstperiode
28-06-2022	20	Einde proef

Tussen de twee klimaatcellen, elk 25m² in oppervlakte netto, zijn twee verschillende etmaaltemperaturen aangehouden. In beide klimaatcellen is een basis van kunstmatig zonlicht toegepast, waarmee de winterperiode (december-januari) in een kas is gesimuleerd.

Er is bijbelicht met LED, waarvan in elk van de twee klimaatkamers twee verschillende spectra, welke gescheiden werden door een reflecterend scherm (MCPET). Zie details belichting in hoofdstuk 2.2. Per behandeling zijn twee rassen getoetst. De proefopzet is schematisch weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1. Schematisch overzicht van de twee klimaatcellen. Elke klimaatcel is in twee zones opgedeeld waarin verschillende lichtbehandelingen zijn toegepast (schematisch verdeeld met stippellijnen). Per klimaatcel zijn vier aparte kraanvakken aangelegd (rood). Planten van Guintoli (G), Alzamora (A) en randplanten (R) op de goten (blauw) zijn weergegeven als groene vierkanten met daarin de desbetreffende letters.

Beide klimaatcellen zijn voorzien van tweemaal een dubbele goot (Metazet FormFlex), waarbij elke cel in vier zones was opgedeeld en werd voorzien van aparte kraanvakken. Hiermee kon van elke behandeling afzonderlijk per ras de watergift worden gestuurd en kon het volume, de EC en de pH van de drain worden gemeten. Planten werden aan de draad geteeld op twee stengels per plant (draadhoogte van 2.40 m vanaf de vloer; Figuur 2.2 en details in hoofdstuk 2.1).



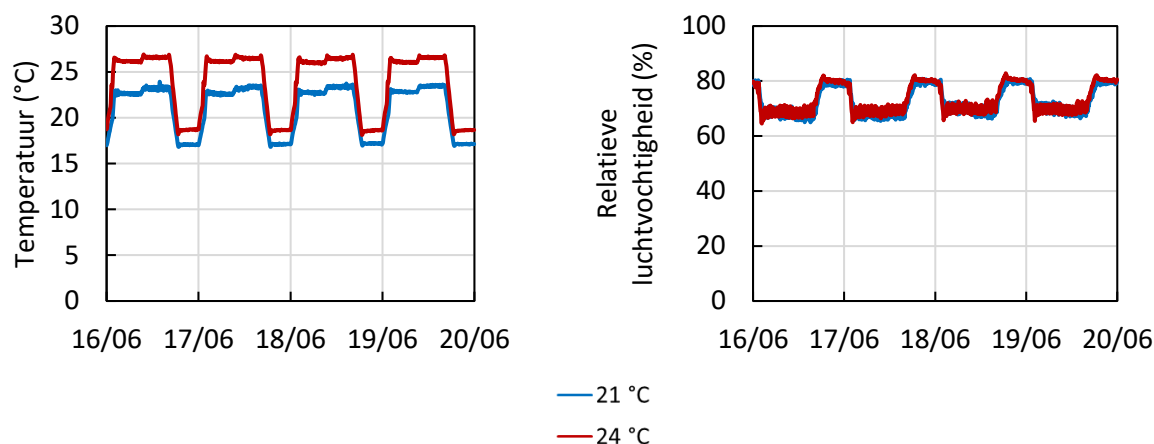
Figuur 2.2. Overzichtsfoto van planten op de dubbele goot in de klimaatcel in proefweek 2.

2.1 Plantmateriaal, teeltgegevens en klimaat

In deze proef zijn de rassen 'Alzamora' RZ F1 (35-BR1405) en 'Guintoli' RZ F1 (35-BR1406) van Rijk Zwaan gebruikt. Bij een kasproef in het Improvement Centre Delphy is het ras 'Guintoli' eerder ingezet, waar het een hoge productiviteit behaalde. Beide rassen hebben een open gewastype en produceren rode blokpaprika's.

Op 21 december 2021 is gezaaid bij Plantise B.V. De planten zijn in een kas met $36 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ SON-T bijbelichting opgekweekt op steenwol blokken (10x10x7 cm). Bij levering van de planten op 8 februari 2022 zijn deze op steenwol matten (Grodan Vital 133 cm) geplaatst met een plantdichtheid van $3.75 \text{ planten}/\text{m}^2$, waarbij per klimaatcel 64 meetplanten en 8 randplanten zijn geplaatst (Figuur 2.1). Op het moment van aankomst hadden de planten een hoogte van 30 tot 40 cm met een open of gesloten bloem in de splitsing. Bij het vormen van een vrucht in de splitsing is deze verwijderd. Gedurende de eerste teeltweken is in beide klimaatcellen een etmaaltemperatuur van 24°C aangehouden ter acclimatisatie van de planten. Na een week zijn alle planten op twee stengels getopt, resulterend in een stengeldichtheid van $7.5 \text{ stengels}/\text{m}^2$. Vanaf het moment van toppen is ook begonnen met het handmatig bestuiven van de bloemen (trillen). Vanaf 7 maart (dag 27) zijn de temperatuurbehandelingen ingezet. Tot het einde van de proef zijn etmaaltemperaturen van 21 en 24°C aangehouden in de klimaatcellen (Figuur 2.3, Bijlage 6.1.1). Door de proef uit te voeren in klimaatcellen was het mogelijk om volledige controle te houden over de belichting,

temperatuur, CO₂-concentratie en luchtvochtigheid. CO₂-concentraties van 800 ppm zijn aangehouden tijdens de dagperiode, terwijl aan het begin van de proef 600 ppm is aangehouden gedurende de dag. In beide klimaatcellen zijn relatieve luchtvochtigheidspercentages van 70% (dag) en 80% (nacht) aangehouden. Gedurende de duur van 20 weken van de proef zijn de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid vastgelegd (Figuur 2.3, Bijlage 6.1.2). Zie ook Tabel 2.3 voor een overzicht van de belangrijkste gebeurtenissen uit de proef. Gedurende de hele proef zijn alle planten vrij van plagen en ziekten gebleven.



Figuur 2.3. Gerealiseerde temperaturen (links) en relatieve luchtvochtigheidspercentages (rechts) tussen 16 en 20 juni 2022.

Watergift is gerealiseerd met een druppelsysteem, waarbij werd gestuurd op een drainpercentage van 20- 30%. De gift EC en pH is over de proefduur enkele keren aangepast (Bijlage 6.2). Gedurende de proef zijn zowel het gift- als het drainwater een aantal malen geanalyseerd door Groen Agro Control. Voedingsschema's kunnen worden gevonden in Bijlage 6.2 en alle metingen van gift en drain in Bijlage 6.3.

2.2 Belichting

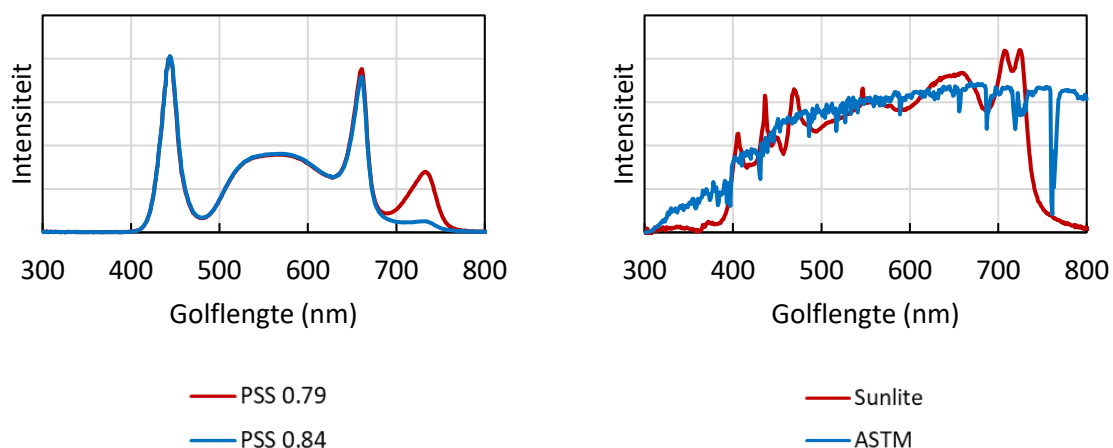
Als achtergrondbelichting is gebruik gemaakt van zonlichtsimulatoren (SunLite, Specialty Lighting Holland, Giessen) om een wintersituatie in de kas te simuleren. Deze lampen produceren licht met een spectrum dat lijkt op dat van zonlicht (Figuur 2.5 rechterpaneel; Hogewoning et al., 2010). Het grootste deel van de proef is 2.1 mol/m²/dag achtergrond kunstzonlicht gegeven, met uitzondering van een aantal weken aan het begin waarin meer werd toegelaten (Tabel 2.5).

Belichting in aanvulling op het gesimuleerde winterdaglicht was met maximaal 200 µmol/m²/s LED (HortiLED Multi White & 4-channel) met een spectrum van 27% blauw, 38% groen, 35% rood aangevuld met 12% of 4% verrood t.o.v. PAR (400-700 nm; Figuur 2.4; Tabel 2.4). De gewenste lichtsommen (Tabel 2.5) zijn afgestemd volgens een teeltplan (zie volgende Hoofdstuk 2.3).

Door het verschillende aandeel verrood licht in de spectra is de PSS-waarde tussen de spectra verschillend. De PSS-waarde (Phytochrome Photostationary State), berekend volgens Sager et al. (1988), vertegenwoordigt het aandeel actief fytochroom ten opzichte van de totale hoeveelheid fytochromen, welke worden geactiveerd door rood en geïnactiveerd door verrood licht. Bij een hoog aandeel verrood ten opzichte van rood licht is de PSS-waarde lager. De lichtbehandelingen resulteerden in PSS 0.79 bij 12% verrood en PSS 0.84 bij 4% verrood (Tabel 2.2).

De PAR-lichtsom was gelijk voor beide lichtspectra, en is trapsgewijs verhoogd naarmate de plantbelasting toenam (Tabel 2.5; Bijlage 6.4). In de eerste weken is de LED-belichting gedimd tot 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ gedurende de hele lichtperiode (details in Bijlage Tabel 6.4). Vanaf week 7 werd maximaal belicht. Bij het op- of afschakelen van de LED-belichting werd de intensiteit in de eerste en laatste 15 minuten van de lichtperiode geleidelijk veranderd (zie het patroon over de dag in Figuur 2.5). De lichtintensiteit is op hoogtes van 1, 1.5 en 2 m ingesteld om het lichtniveau aan de top van de plant zo gelijk mogelijk te houden naarmate de planthoogte toenam.

Supplementair zijn extra UV-B-lampen (Arcadia FD3P36) ingezet, welke gedurende de volledige fotoperiode brandden.



Figuur 2.4. Spectrale verdeling van de gebruikte LED-belichting (links), SunLite zonlichtlampen (rechts; rood) en de ASTM-standaard voor natuurlijk daglicht (rechts; blauw).

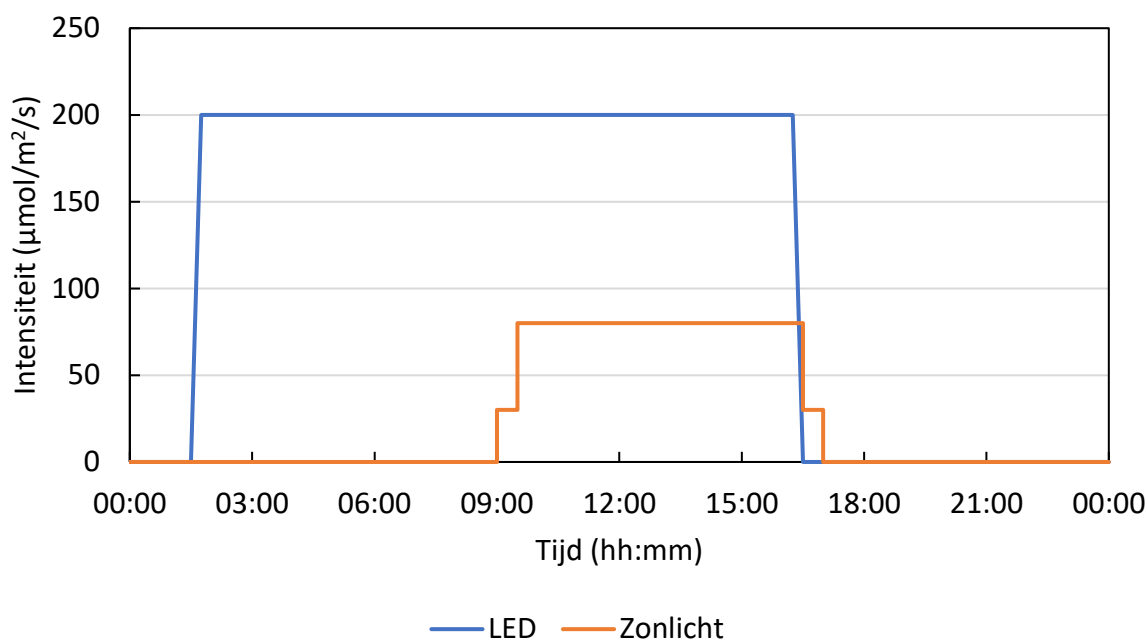
Tabel 2.4. Spectrale samenstelling van LED-belichting als percentages van PAR. Verrood komt bovenop PAR dus het totaal is meer dan 100%.

Kleur	Lichtverdeling per kleur (% van PAR)	
	PSS 0.79	PSS 0.84
Blauw	27	27
Groen	38	38
Rood	35	35
Verrood	12	4

Tabel 2.5. DLI (mol/m²/dag PAR) over de proefduur voor LED- en zonlichtbelichting in de twee temperatuurbehandelingen. Over de hele proef is de DLI gelijk gehouden tussen beide behandelingen. De DLI aan daglichtachtergrond was bij 21°C per abuis gedurende 1 week verhoogd, waarvoor de week erna gecorrigeerd is.

Weken na start	Daily Light Integral (mol/m ² /dag PAR)					
	21°C			24°C		
	LED	Zon	Totaal	LED	Zon	Totaal
0.0	5.0	2.1	7.1	5.0	2.1	7.1
0.4	3.6	3.5	7.1	3.6	3.5	7.1
2.9	4.9	4.0	8.9	4.9	4.0	8.9
3.9	7.9	4.0	11.9	7.9	2.1	10.0
5.0	7.9	2.1	10.0	7.9	4.0	11.9
6.1	9.8	2.1	11.9	9.8	2.1	11.9
7.3	10.6	2.1	12.7	10.6	2.1	12.7

t/m 19



Figuur 2.5. Belichtingsintensiteiten over het etmaal vanaf week 7. De fotoperiode was 15.5 uur. De zonlichtbelichting (oranje) werd trapsgewijs in- en afgeschakeld. De intensiteit van de LED-belichting (blauw) liep in een kwartier geleidelijk op en af.

2.3 Teeltplan

Om de benodigde lichtsom voor een gewenste plantbelasting bij verschillende etmaaltemperaturen te voorspellen is een teeltplan opgezet (Zie maximale toelaatbare plantbelasting in Figuur 3.6 in Resultaten). Hierin werd berekend hoeveel uren bijbelicht moest worden om een gegeven assimilatsom te bereiken per teeltweek. Er werd gerekend

met de verwachting van een gemiddeld vruchtgewicht van 200 g en een uitgroeiduur van 5 en 6 weken bij etmaaltemperaturen van 24 en 21°C respectievelijk. Om een gelijke opbrengst te halen zijn er daarom meer vruchten aangehouden bij de lagere temperatuur. Andere invoer voor het teeltplan waren het aantal stengels/m², de vruchtzetting per internodium die gehaald of toegelaten werd, het aantal internodia dat per week ontwikkelde en de hoeveelheid assimilaten die vereist waren voor de groei van vegetatieve en generatieve plantendelen op basis van de aangeboden hoeveelheid licht (PAR-som). Om een hogere assimilatenvraag dan het berekende assimilatenaanbod te voorkomen, is er tijdens deze proef vruchtdunning toegepast. Dit om te trachten om zoveel mogelijk te voorkomen dat er een golfpatroon ontstaat met weken met veel vruchtzetting afgewisseld door weken met massale vruchtabortie. Tijdens de eind oogst van deze proef zijn metingen verricht aan de verticale verdeling van droge stof in de bladeren, stengels en vruchten. Hiermee kan in de toekomst de assimilatenvraag nauwkeuriger worden ingeschat.

Volgens het teeltplan is dus bepaald wat de benodigde lichtsom was tijdens de eerste weken van de teelt totdat de eerste vruchten rijp zijn en daarna (Tabel 2.5), en hoeveel vruchten eventueel gedund moesten worden, voor de twee getoetste temperaturen.

2.4 Metingen

Tijdens de proef zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- Luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid zijn gedurende de hele teelt gemonitord. Twee etmaaltemperaturen zijn aangehouden, waartussen de relatieve luchtvochtigheid zoveel mogelijk gelijk is gehouden. Hierdoor was het vochtdeficit hoger bij 24°C.
- LAI is meermaals non-destructief bepaald door lengte en breedte te meten van alle bladeren aan 2-4 planten en bladoppervlakte werd berekend met de formule $A = 0.59 \times l \times b + 2.69$.
- Tweewekelijks zijn gezette vruchten geregistreerd aan 16 meetplanten per ras per behandeling (N = 16). Ook is eventuele vruchtdunning op dit moment uitgevoerd, waarbij er gedund is wanneer er drie of meer vruchten aan opeenvolgende internodia zetten of wanneer de plantbelasting boven de maximaal toelaatbare plantbelasting kwam op basis van het teeltplan.
- Tweewekelijks zijn rijpe vruchten aan 16 meetplanten geoogst (ten minste 80% gekleurd). Bij de eind oogst zijn ook onrijpe vruchten geoogst met een score voor de categorieën deels gekleurd, onrijp volgroeid en onrijp onvolgroeid (N=16).
 - Tijdens de oogst is ook gescoord op neusröt op een schaal van 1-3 waarbij 1 de minste schade had en 3 de ernstigste schade, zie Figuur 2.6. Bij plekken kleiner dan 1 cm² werd een score van 1 genoteerd. Bij grotere plekken of meerdere plekken van 1 cm² was de score 2. Vruchten met rotte plekken werden als score 3 genoteerd.

- De weekproductie is bepaald op basis de totale opbrengst van rijpe vruchten vanaf proefweek 10 en 11 voor de respectievelijk de etmaaltemperaturen van 24 en 21°C tot en met de eind oogst in proefweek 20.
- Verdamping op gewasniveau is ten minste tweewekelijks per ras per behandeling berekend uit de gift minus drain, evenals de pH en EC van het drainwater (N = 1).
- Verdamping van het gewas is tevens bepaald op basis van de energiebalans met een Fytawatch stomatasensor (N = 1).
- Plantlengte is wekelijks gemeten, waarbij elke stengel afzonderlijk is gemeten bij acht verschillende planten per ras per behandeling (twee stengels per plant, N = 16).
- Het aantal internodia per stengel is van acht planten wekelijks geteld vanaf de splitsing (N = 16).
- Fotosynthesesnelheid, huidmondjesgeleiding en de efficiëntie van de lichtreactie van fotosysteem II (Φ_{PSII}) zijn op twee momenten gemeten (week 14 en week 18 na start). Hiervoor is de Li-6800 draagbare fotosynthesemeter (Li-Cor, USA) gebruikt. Er is in beide klimaatcellen gemeten bij een lichtintensiteit van 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (spectrum meetlicht R90%-B10%), een CO₂-concentratie van 800 ppm en luchttemperatuur op 24°C. Metingen zijn verricht op twee verschillende hoogtes: op bladeren in de kop van de plant en bladeren op 5 tot 7 internodia daaronder (N = 15 - 16).
- Het suikergehalte van rijpe vruchten is op twee momenten bepaald met een refractometer (N = 3–8).
- Het percentage droge stof van rijpe vruchten is in week 11 en 14 na start en tijdens de eind oogst bepaald. Het versgewicht is bij de oogst bepaald, waarna het drooggewicht is bepaald na ten minste 48 uur in een oven op 70°C.
- Aan het einde van de proef zijn verschillende destructieve metingen uitgevoerd:
 - Stengel en blad zijn in drie delen verdeeld van acht planten per behandeling: hoog = bovenste 50 cm; midden = tussen bovenste 50 cm en splitsing; laag = onder de splitsing. Vers- en drooggewicht zijn bepaald. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de twee stengels die per plant zijn aangehouden (N = 8).
 - Alle onrijpe vruchten zijn geoogst en gewogen, waarna deze in weken na zetting zijn ingedeeld voor het bepalen van drooggewicht. Hieruit kon het drooggewichtpercentage van vruchten over de tijd worden bepaald (N = 16).
 - Per behandeling zijn willekeurige bladeren geplukt van de plant op 5 tot 7 en 10 tot 12 internodia onder de kop om een overzicht te kunnen maken van de bladkwaliteit aan het einde van de proef (N = 6).
 - Van vier planten per behandeling zijn bladoppervlaktes gemeten met een bladoppervlaktemeter (LI-3100C, Li-Cor), waarmee de leaf area index (LAI) en leaf mass per area (LMA) berekend zijn (N = 4 bij eind oogst). Dit is gedaan voor drie verticale posities in het gewas: hoog = bovenste 50 cm; midden = tussen bovenste 50 cm en splitsing; laag = onder de splitsing.
 - Stengels zijn gefotografeerd voor het opdelen in de drie onderdelen. Stengeldiameter is bepaald op 50 cm onder de kop van de plant en het aantal

internodia in de bovenste 50 cm is geteld voor het bepalen van de stengelstrekking (N = 16).

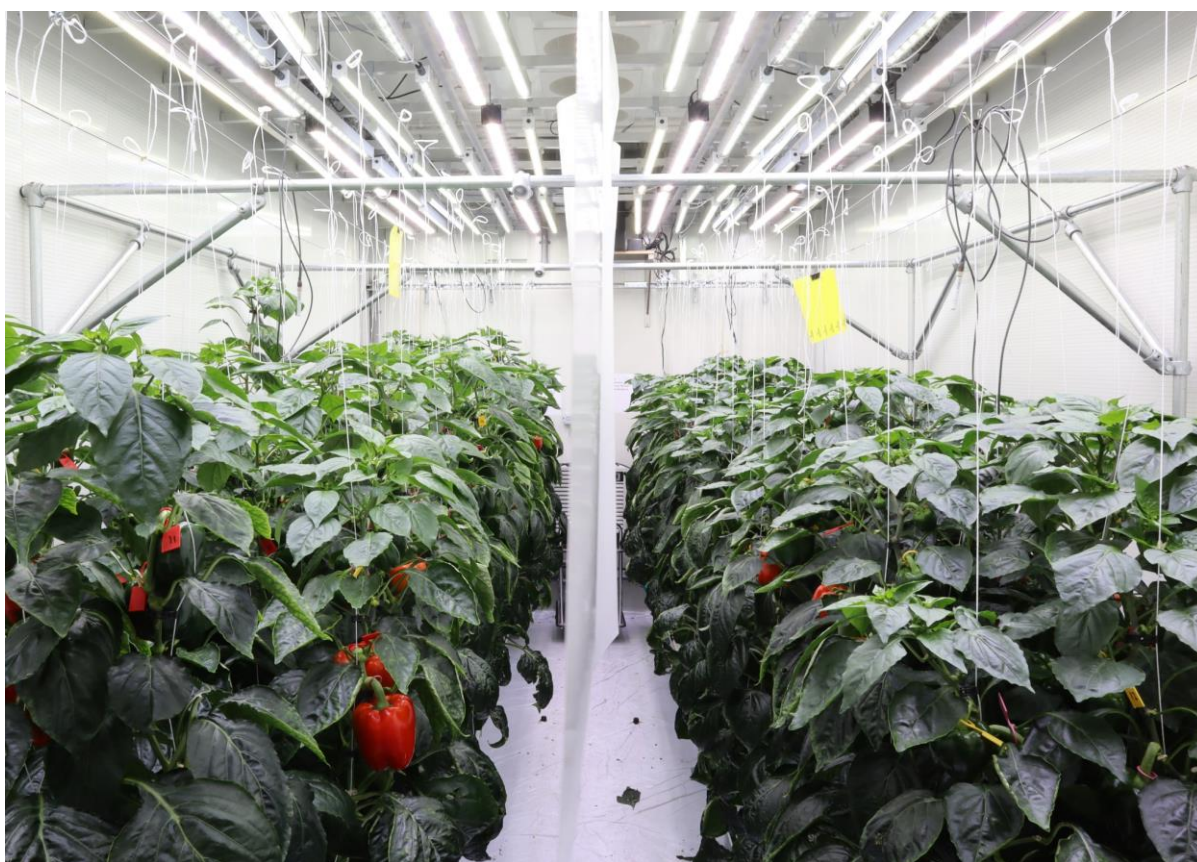


Figuur 2.6. De scoringsklassen voor neusrot bij de oogst van een vrucht.

3 Resultaten

3.1 Gewasstand en strekking

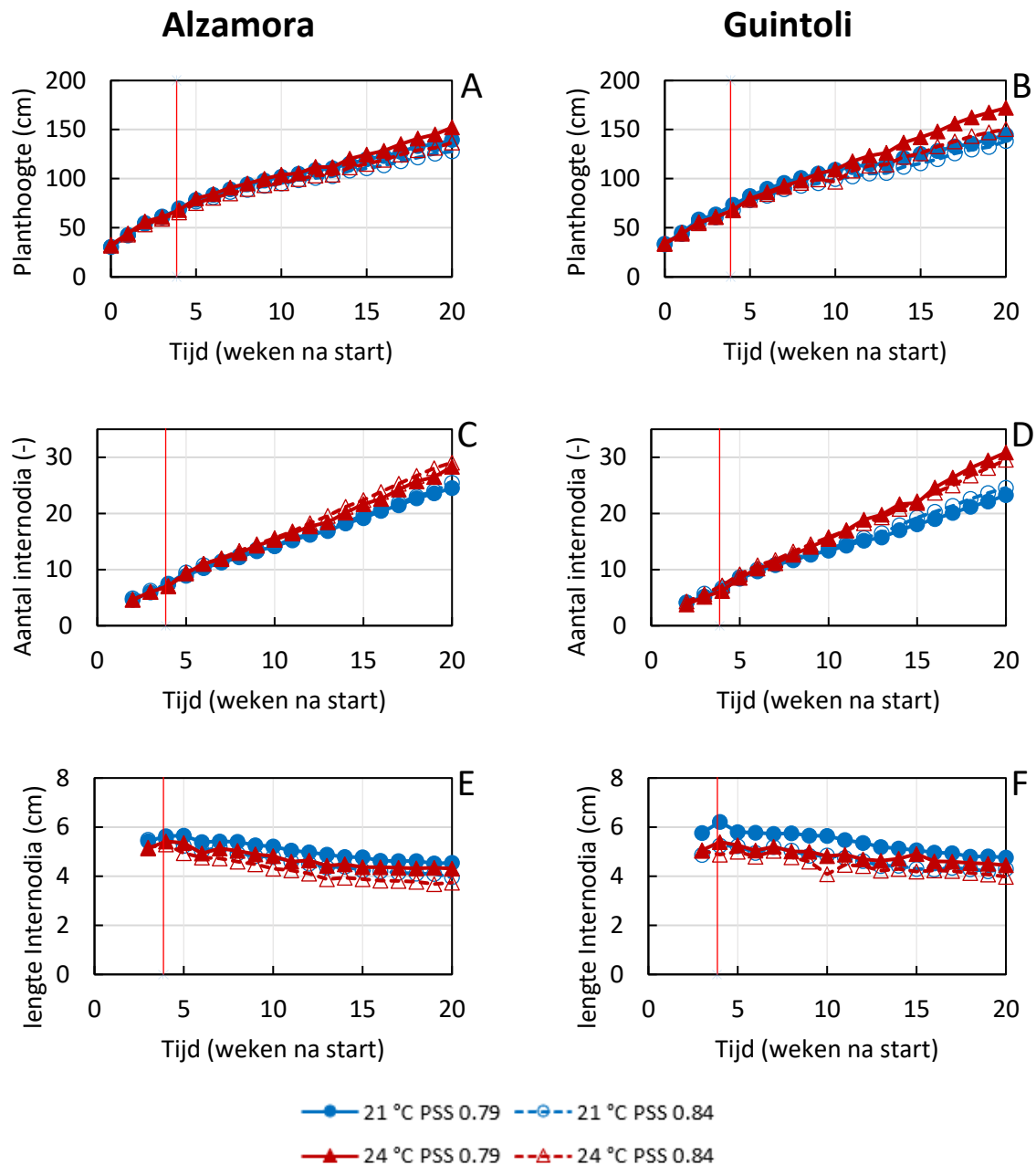
Een overzicht van het gewas in de klimaatkamer is te zien in Figuur 3.1. Bij een etmaaltemperatuur van 24°C werden planten van beide rassen langer dan bij 21°C (Figuur 3.2, Tabel 3.1). Het aantal gevormde internodia over de 20 weken teelt was lager bij 21°C. De afsplitsing van nieuw blad was dus ook trager, zoals verwacht. In alle behandelingen was de werkbaarheid van het gewas goed en de strekking voldoende. Verder waren planten langer in het spectrum met meer verrood (PSS 0.79), wat ook te zien is in Figuur 3.1 hieronder: planten links met PSS 0.79 zijn langer dan rechts met PSS 0.84. De strekking van de internodia was hoger door het extra verrood (Tabel 3.1), zoals ook steeds in eerdere proeven is gevonden.



Figuur 3.1. Impressie van de gewasstand en bladkwaliteit in de klimaatcel met een etmaaltemperatuur van 21°C en spectra met een PSS-waarde van 0.79 (links) en 0.84 (rechts) in proefweek 19. Bladeren in de kop zien er gezond uit, terwijl dieper in het gewas chlorose zichtbaar is. Vooraan zijn planten van het ras Alzamora te zien en achteraan staat Guintoli.

Een overzicht van alle resultaten per ras en statistische analyse is te vinden in Tabel 3.8 aan het eind van dit hoofdstuk. Het verloop van LAI over de tijd is weergegeven in Bijlage Figuur 6.5.1. Bladmassa per oppervlak (LMA) staat in Bijlage Figuur 6.5.2. Opvallend aan die gegevens was dat LMA van de bovenste bladeren hoger was bij 21°C dan 24°C, in beide rassen. Mogelijk was er ook een wat hogere fotosynthesecapaciteit (bij lichtverzadiging), die

over het algemeen gecorreleerd is aan LMA (Wright et al, 2004). Metingen bij de heersende lichtintensiteit (bij $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) lieten in ieder geval geen consistent effect zien van etmaaltemperatuur op fotosynthesesnelheid in de topbladeren, maar wel een positief effect van 21°C op bladeren iets onder de kop (zie volgende Hoofdstuk 3.2).



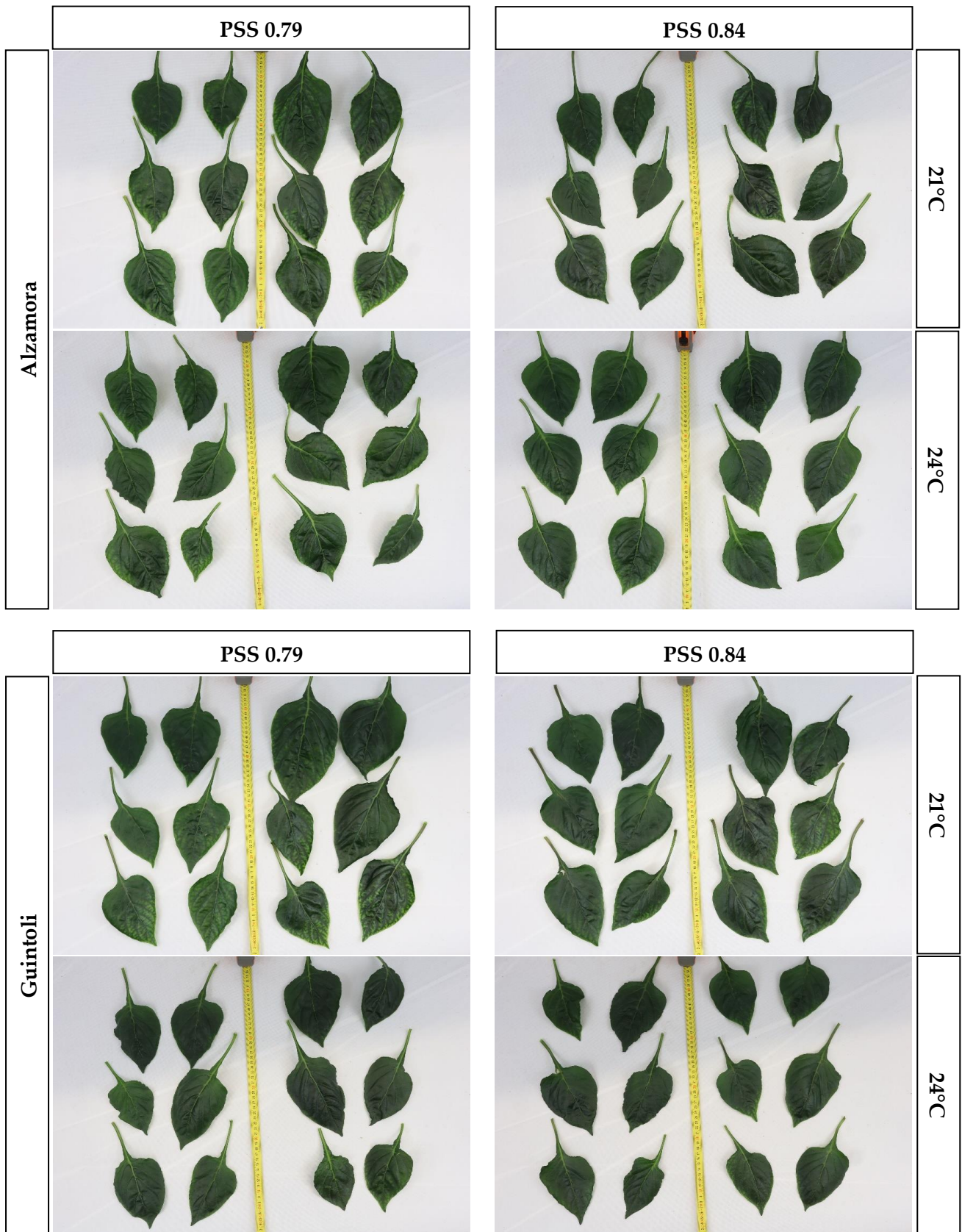
Figuur 3.2. Planthoogte vanaf maaiveld (A, B), aantal internodia boven de splitsing (C, D) en gemiddelde internodiale lengte vanaf de splitsing (E, F) over de tijd. De verticale rode lijn geeft het begin van de temperatuurbehandelingen weer. (N = 16)

Tabel 3.1. Internodiale lengte (gemiddeld in de bovenste 50 cm van de plant en per tak gemiddeld vanaf de splitsing), aantal internodiën per stengel boven de splitsing en plantlengte aan het einde van de proef. Waardes in dezelfde kolom voor ieder ras met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, $P < 0.05$). ($N = 16$)

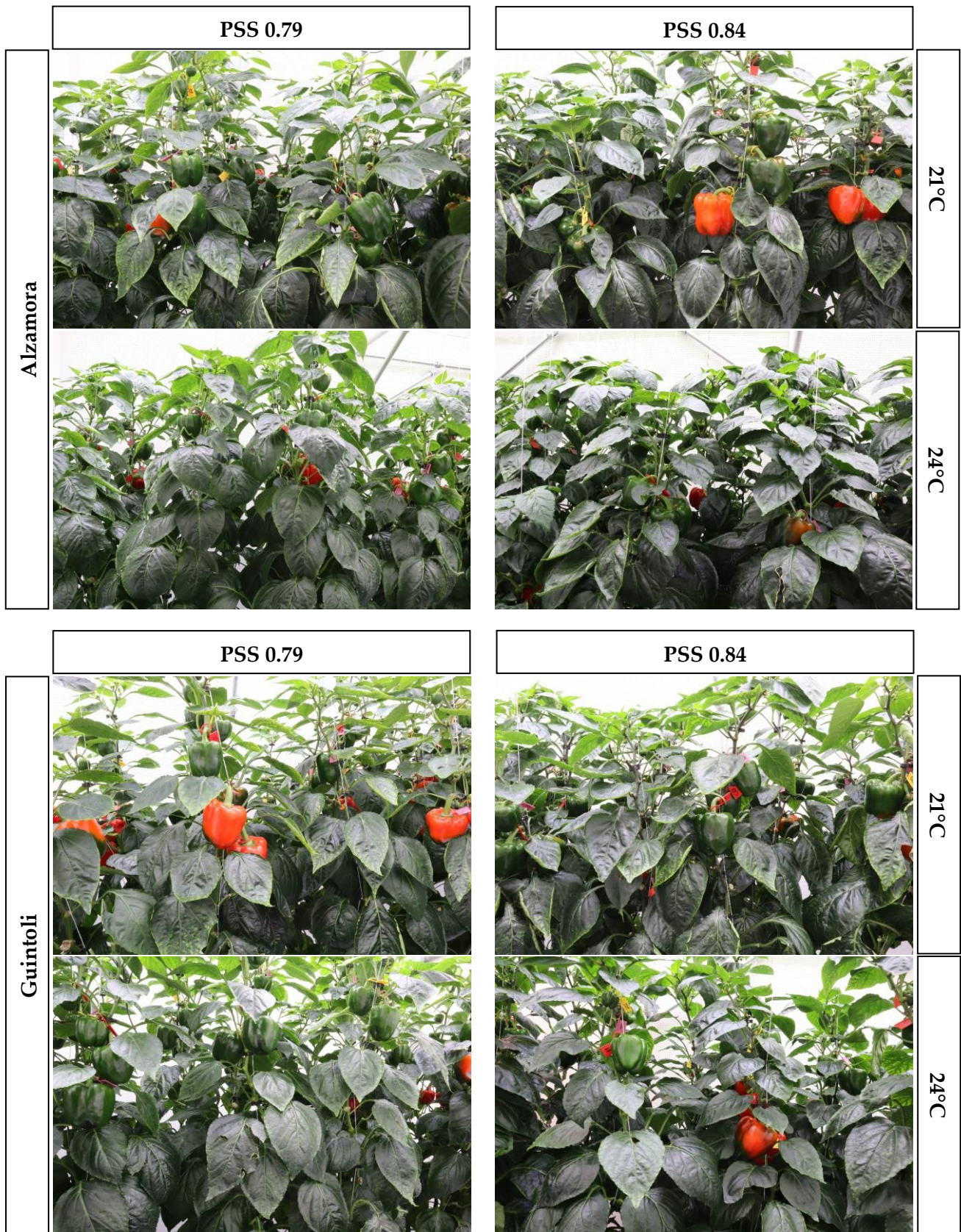
Ras	Behandeling	Internodiale lengte (cm)				Plantlengte (cm)
		Top 50 cm	Boven splitsing	Aantal internodia		
Alzamora	21°C PSS 0.79	4.1 ± 0.3 a	4.6 ± 0.2 a	24.5 ± 1.9 b	140 ± 8 b	
	21°C PSS 0.84	3.4 ± 0.3 b	4.0 ± 0.2 b	25.4 ± 2.3 b	128 ± 8 c	
	24°C PSS 0.79	3.8 ± 0.4 a	4.3 ± 0.2 a	28.3 ± 1.1 a	152 ± 7 a	
	24°C PSS 0.84	3.1 ± 0.3 b	3.8 ± 0.6 b	29.1 ± 2.7 a	137 ± 11 b	
Guintoli	21°C PSS 0.79	4.1 ± 0.4 a	4.8 ± 0.3 a	23.3 ± 2.0 b	145 ± 12 bc	
	21°C PSS 0.84	3.6 ± 0.4 b	4.3 ± 0.3 b	24.6 ± 1.2 b	138 ± 9 c	
	24°C PSS 0.79	4.2 ± 0.4 a	4.5 ± 0.3 b	30.9 ± 2.5 a	172 ± 9 a	
	24°C PSS 0.84	3.5 ± 0.5 b	4.0 ± 0.3 c	29.6 ± 2.8 a	150 ± 13 b	

3.2 Bladkwaliteit, verdamping en fotosynthese

Over het algemeen had nieuw blad in alle behandelingen een goede kwaliteit. Aan bladeren in de kop van de plant werd geen chlorose aangetroffen, maar dieper in het gewas trad zichtbare chlorose op (Figuur 3.3; 3.4). In alle behandelingen heeft zich wel enige mate van bladchlorose ontwikkeld, maar over het algemeen was er meer chlorose bij de lage etmaaltemperatuur van 21°C. Een van de hypothesen was dat een lagere etmaaltemperatuur veroudering remt, wat bladchlorose zou kunnen verminderen. Blijkbaar kon de typische bladschade onder belichte paprikateelt niet verminderd of voorkomen worden met deze temperatuur. Ook was er iets meer chlorose bij PSS 0.79 dan bij PSS 0.84.



Figuur 3.3. Foto's van representatieve bladeren in de proef bij twee temperaturen (21 en 24°C) en twee kleurenspectra bijbelichting (PSS 0.79 en 0.84). Bladeren zijn geplukt in proefweek 20 op 5 - 7 (links van het meetlint) en 10 - 12 (rechts van het meetlint) internodia onder de kop van het gewas. De bovenste vier afbeeldingen zijn van bladeren van het ras 'Alzamora', en de onderste vier voor het ras 'Guintoli'. Chlorose is soms zichtbaar.



Figuur 3.4. Aanzicht van de bovenste bladlagen in de klimaatcellen voor de rassen 'Alzamora' (bovenste vier afbeeldingen) en 'Guintoli' (onderste vier afbeeldingen) in proefweek 19. Temperatuurbehandelingen van 21°C (boven) en 24°C (onder) staan per ras boven elkaar, spectrale behandelingen met een PSS van 0.79 (links) en 0.84 (rechts) staan naast elkaar.

Een typische bevinding was de lage huidmondjesgeleiding van blad in eerdere belichte paprikaproeven. Hoewel topblad over het algemeen goed functioneert, heeft blad met maar een korte afstand onder de kop, waar nog veel licht op valt, meestal een fors lagere geleiding. Ook in deze proef was huidmondjesgeleiding veel lager bij blad 5 tot 7 internodia onder de kop dan in topblad, althans in proefweek 14 (Tabel 3.2). Fotosynthesesnelheid werd hierdoor beperkt. De waardes waren ook fors lager dan in topblad, vooral bij de behandelingen met 24°C.

Bij een etmaaltemperatuur van 21°C was de gemiddelde afname in huidmondjesgeleiding en fotosynthesesnelheid opvallend en consistent kleiner dan bij 24°C (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Fotosynthesesnelheid A , huidmondjesgeleiding G_{sw} en efficiëntie van fotosysteem-II (ϕ_{PSII}) in proefweek 14 in de kop van het gewas ('Hoog') en 5 tot 7 internodia daaronder ('Laag'), gemeten bij een lichtintensiteit van 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, een CO_2 -concentratie van 800 ppm en een bladtemperatuur van 24°C. Waardes in dezelfde rij met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, $P < 0.05$).

Parameter	Behandeling 'Alzamora'				Significantie behandelingseffect		
	21°C PSS 0.79	21°C PSS 0.84	24°C PSS 0.79	24°C PSS 0.84	T ¹	S ²	TxS
A Hoog	17.4 ± 0.6 ab	17.7 ± 1.4 a	15.6 ± 2.5 b	17.8 ± 0.7 a	n.s.	*	n.s.
A Laag	10.6 ± 2.3 a	10.6 ± 4.1 a	4.6 ± 1.5 b	5.8 ± 2.0 b	***	n.s.	n.s.
G_{sw} Hoog	0.36 ± 0.15 a	0.30 ± 0.13 a	0.13 ± 0.05 b	0.24 ± 0.06 ab	***	n.s.	*
G_{sw} Laag	0.07 ± 0.02 a	0.08 ± 0.05 a	0.02 ± 0.01 b	0.02 ± 0.01 b	***	n.s.	n.s.
ϕ_{PSII} Hoog	0.64 ± 0.01 ab	0.65 ± 0.02 ab	0.61 ± 0.06 b	0.65 ± 0.01 a	n.s.	*	n.s.
ϕ_{PSII} Laag	0.50 ± 0.05 a	0.49 ± 0.12 a	0.36 ± 0.08 b	0.39 ± 0.09 ab	***	n.s.	n.s.

Parameter	'Guintoli'				Significantie behandelingseffect		
	21°C PSS 0.79	21°C PSS 0.84	24°C PSS 0.79	24°C PSS 0.84	T ¹	S ²	TxS
A Hoog	15.8 ± 3.6 a	17.7 ± 0.9 a	15.9 ± 1.5 a	15.7 ± 3.6 a	n.s.	n.s.	n.s.
A Laag	11.2 ± 1.7 a	10.2 ± 3.5 a	5.6 ± 1.7 b	5.2 ± 1.7 b	***	n.s.	n.s.
G_{sw} Hoog	0.27 ± 0.19 ab	0.36 ± 0.13 a	0.15 ± 0.08 b	0.21 ± 0.15ab	*	n.s.	n.s.
G_{sw} Laag	0.07 ± 0.02 a	0.06 ± 0.03 a	0.03 ± 0.02 b	0.03 ± 0.01 b	***	n.s.	n.s.
ϕ_{PSII} Hoog	0.62 ± 0.05 a	0.65 ± 0.02 a	0.64 ± 0.01 a	0.63 ± 0.04 a	n.s.	n.s.	n.s.
ϕ_{PSII} Laag	0.49 ± 0.06 a	0.49 ± 0.09 a	0.39 ± 0.07 a	0.41 ± 0.09 a	**	n.s.	n.s.

N = 7 – 8

¹ Temperatuurseffect

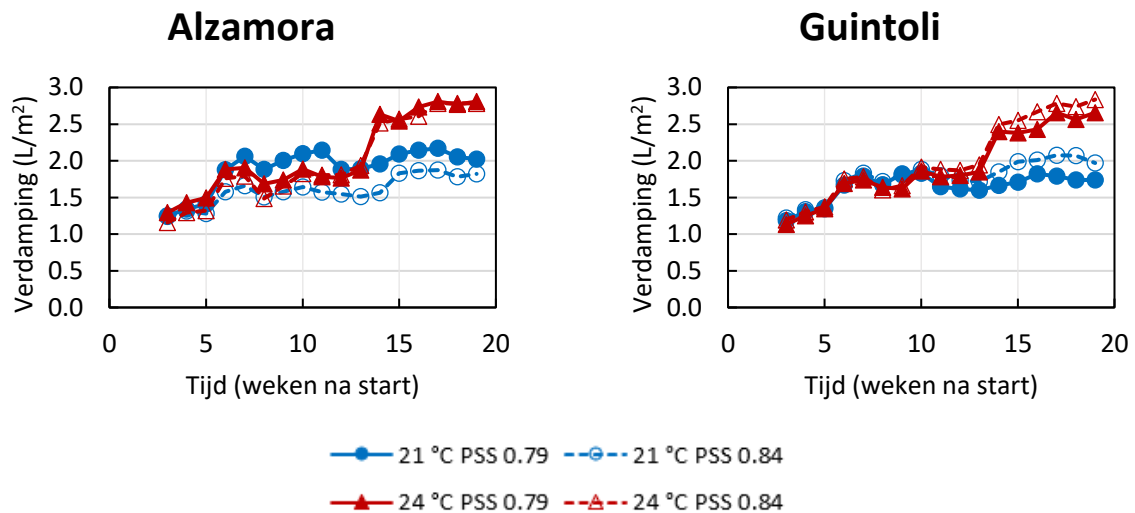
² Spectraal effect

*, **, ***, n.s. = $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$, niet significant

Verder had temperatuur een vergelijkbaar effect op de efficiëntie van de lichtreactie van fotosysteem II (Φ_{PSII}). Bij de lagere etmaaltemperatuur bleef deze wat hoger op 5-7 internodia onder de kop dan bij 24°C, waarschijnlijk vanwege de sterke limitatie van CO_2 -opname door de zeer lage geleidbaarheid van de huidmondjes.

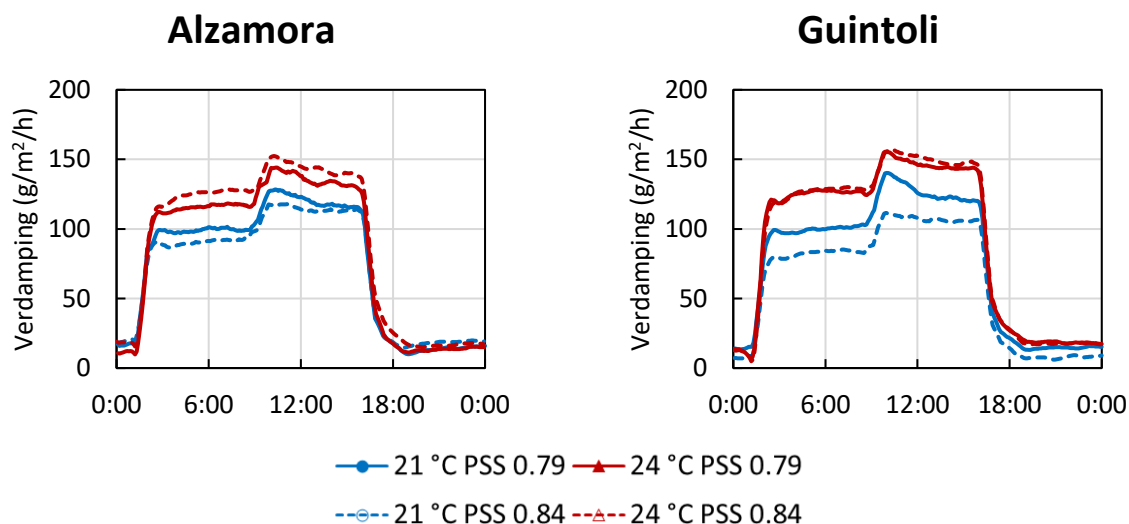
De gemeten verschillen in huidmondjesgeleiding tussen de temperatuurbehandelingen hebben zich niet vertaald in eenzelfde trend wat betreft de verdamping op gewasniveau. De verdamping, berekend bij benadering als watergift (L/m^2) minus drain (L/m^2), was hoger bij de hogere etmaaltemperatuur van 24°C dan bij 21°C, in ieder geval vanaf 13 weken na start

(Figuur 3.5A). Er werd een gelijke relatieve luchtvochtigheid aangehouden in beide klimaatcellen, wat bij de hoge temperatuur resulteert in een hogere VPD. Die verklaart zeer waarschijnlijk de hogere verdamping. Lichtspectrum (PSS) en ras hadden geen opvallend effect op de gemeten verdamping. De toename in verdamping die bij vooral de 24°C behandelingen opvalt na proefweek 13, zou gerelateerd kunnen zijn aan de verlaging in gift- (en drain-) EC vanaf dat moment (zie Bijlage 6.3).



Figuur 3.5A. Verdamping op gewasniveau berekend uit gift minus drain voor de rassen 'Alzamora' (links) en 'Guintoli' (rechts). (N = 1)

Met behulp van een Fytawatch is verdamping van de bovenste bladlaag bepaald over een etmaal in proefweek 11 (Figuur 3.5B). Verdamping in de bovenste bladlaag volgde het patroon van belichting, met overdag ook een zichtbare toename op het moment dat kunstzonlicht werd aangeschakeld om 09:00 uur. In de donkerperiode was er volgens de berekening 10 tot 20 ml/m²/uur verdamping door de bovenste gewaslaag. Bij hoge temperatuur was de verdamping ook hoger in beide rassen en lichtspectra. Dit patroon was consistent voor beide rassen in alle behandelingen. Bij een etmaaltemperatuur van 21°C en 24°C was de gemiddelde berekende verdamping van de bovenste bladlaag 1.7 en 2.1 L/m²/d, wat in dezelfde orde van grootte is als de 1.6 tot 2.1 L/m²/d berekend uit gift minus drain voor het hele gewas (Figuur 3.5A).

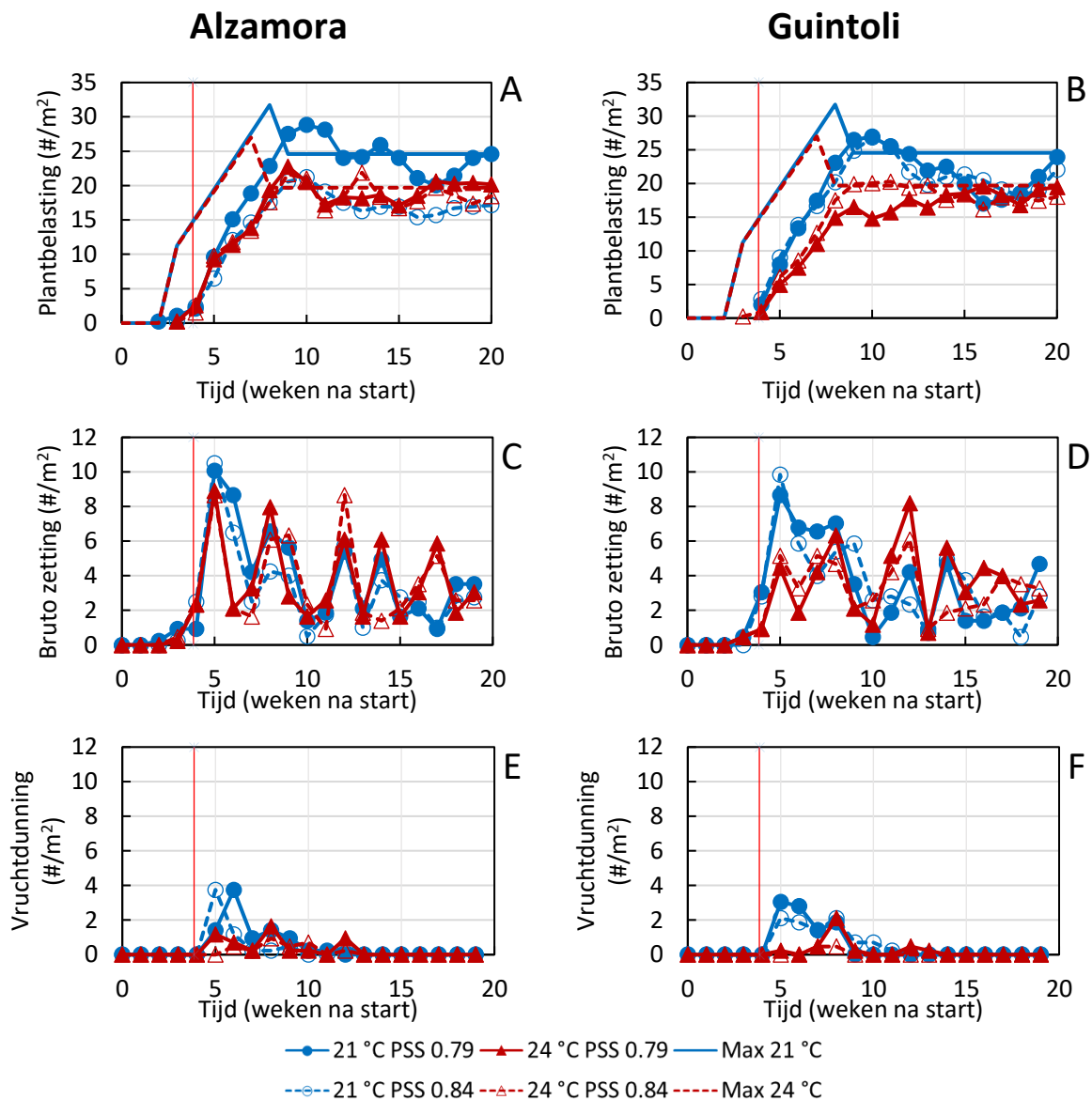


Figuur 3.5B. Verdamping berekend uit de energiebalans van de bovenste gewaslaag in proefweek 11 voor de rassen 'Alzamora' (links) en 'Guintoli' (rechts). (N = 1)

3.3 Plantbelasting en opbrengst

Er is een teeltplan per temperatuur opgesteld (Zie Materiaal en methoden 2.3). De maximaal toelaatbare van de plantbelasting op basis van het teeltplan is te zien in Figuur 3.6. Bij een lagere etmaaltemperatuur (21°C) zijn meer vruchten aangehouden vanwege de tragere uitgroeiduur dan bij de hogere etmaaltemperatuur (24°C). Dit om een gelijke assimilatenvraag vanuit de ontwikkelende vruchten aan het gewas te bereiken voor de twee temperatuurbehandelingen. Afgezien van het trager op gang komen van de zetting werd de voorspelde plantbelasting redelijk gehaald over het algemeen.

De zetting liet, zoals meestal bij paprika, soms flinke verschillen tussen weken zien. Er is gedund wanneer de gewenste plantbelasting werd overschreden of wanneer er drie of meer vruchten aan opeenvolgende internodia zetten (Figuur 3.6). Vanaf volle plantbelasting 9 weken na start van de proef zijn nog maar weinig vruchten gedund.



Figuur 3.6. Plantbelasting (A, B; N = 16), bruto vruchtzetting (C, D; N = 16) en vruchtdunning (E, F; N = 1) voor de rassen 'Alzamora' (links) en 'Guintoli' (rechts). De verticale rode lijn geeft het begin van de temperatuurbehandelingen weer. De maximaal toelaatbare plantbelasting op basis van het teeltplan is weergegeven met lijnen zonder driehoeken of cirkels.

Opbrengst is bepaald over een periode van 10-11 weken oogsten. Het teeltoppervlak was beperkt, 4.8m² netto voor iedere behandeling per ras. Deze resultaten moeten dus voorzichtig worden geïnterpreteerd. Over het algemeen waren er geen grote consistente effecten van behandeling op de opbrengst van rijpe vruchten bij beide rassen. Bij 21°C was de opbrengst vergelijkbaar of zelfs hoger dan bij 24°C. Ook belichting met verrood in het spectrum lijkt van belang: de totale opbrengst is steeds wat hoger bij PSS 0.79 dan PSS 0.84 bij beide rassen en etmaaltemperaturen (Tabel 3.3).

De gemiddelde opbrengst varieerde tussen 0.64 en 0.87 kg/m²/week. Juist bij 21°C en PSS 0.79 lag die gemiddelde opbrengst het hoogst (0.87 en 0.78 kg/m²/week voor de twee rassen). Het

lijkt er dus op dat productie op peil blijft wanneer de etmaaltemperatuur wordt verlaagd van de voorheen in kasproeven gebruikte 24°C naar 21°C.

Tabel 3.3. Opbrengst van vruchten van rijpe, deels gekleurde, onrijp volgroeide en onrijpe paprika's per behandeling in kg/m². De gemiddelde opbrengst per week is berekend vanaf proefweek 10 en 11 bij etmaaltemperaturen van 24 en 21°C respectievelijk. Waardes per ras in dezelfde kolom met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, P < 0.05).

Ras	T (°C)	Spectrum	Gem. opbrengst ¹ (kg/m ² /week)	Opbrengst (kg/m ²)				
				Totaal	Rijp	DG ²	VG ²	OVG ²
Alzamora	21	PSS 0.79	0.87	12.2 a	8.9 a	1.39 a	1.04 a	0.85 b
	21	PSS 0.84	0.70	9.6 b	7.1 c	0.92 b	0.92 a	0.69 b
	24	PSS 0.79	0.70	10.1 b	7.8 b	0.58 c	0.40 b	1.30 ab
	24	PSS 0.84	0.67	9.8 b	7.5 bc	0.45 c	0.17 c	1.58 a
Guintoli	21	PSS 0.79	0.78	11.0 a	8.0 a	1.48 a	0.57 bc	0.98 a
	21	PSS 0.84	0.73	10.6 ab	7.3 bc	1.32 b	0.61 b	1.31 a
	24	PSS 0.79	0.69	10.3 b	7.8 ab	0.42 c	1.02 a	1.03 a
	24	PSS 0.84	0.64	9.2 c	7.1 c	0.42 c	0.45 c	1.32 a

N = 16

¹ vanaf proefweek 10 (24 °C) en 11 (21°C) tot einde proef.

² DG (deels gekleurd), VG (volgroeid groen) en OVG (onvolgroeid groen)

Het aantal rijp geogste vruchten was wat hoger bij 24°C dan 21°C (Tabel 3.4; Figuur 3.7). Dit kwam overeen met het teeltplan waarin meer vruchten werden aangehouden bij de hogere temperatuur. Wanneer ook onrijpe vruchten werden opgeteld bij de eind oogst ("Totaal" in Tabel 3.4) verdween dit verschil in aantal vruchten grotendeels. Planten in de lagere etmaaltemperatuur hadden over het algemeen op het moment van eind oogst meer vruchten aangelegd, zoals bijvoorbeeld te zien is aan de categorie deels gekleurde vruchten (DG). Op basis daarvan heeft het er de schijn van dat de lagere temperatuurbehandelingen beter zouden presenteren in de weken volgend op het einde van de proef, indien de teelt langer zou zijn doorgezet.

Tabel 3.4. Aantal vruchten van rijpe, deels gekleurde, onrijp volgroeide en onrijpe paprika's per behandeling in aantallen over de proefduur en tijdens de eind oogst.

Ras	T (°C)	Spectrum	Totaal	Rijp	DG ¹	VG ¹	OVG ¹
Alzamora	21	PSS 0.79	258	153	23	21	61
	21	PSS 0.84	206	128	16	17	45
	24	PSS 0.79	253	167	12	9	65
	24	PSS 0.84	251	167	11	6	67
Guintoli	21	PSS 0.79	242	140	23	10	69
	21	PSS 0.84	228	134	22	11	61
	24	PSS 0.79	247	164	9	23	51
	24	PSS 0.84	232	155	9	10	58

¹ DG (deels gekleurd), VG (volgroeid groen) en OVG (onvolgroeid groen) tijdens de eind oogst.

Neusrot kwam meer voor bij de hoge etmaaltemperatuur (Tabel 3.5). Bij Guintoli 24°C PSS 0.79 had zelfs 20% van de vruchten enige mate van neusrot. Bij 21°C was dat nooit meer dan 5%. Tijdens een deel van de proef was er een erg hoge EC in de drainage. Dit kan de verdamping en de water- en voedingopname hebben verstoord. Bij de hoge temperatuur nam de verdamping ook toe nadat de gift EC werd verlaagd. Meer neusrot bij de hoge etmaaltemperatuur was dus mogelijk het gevolg van te lage voedingsopname.

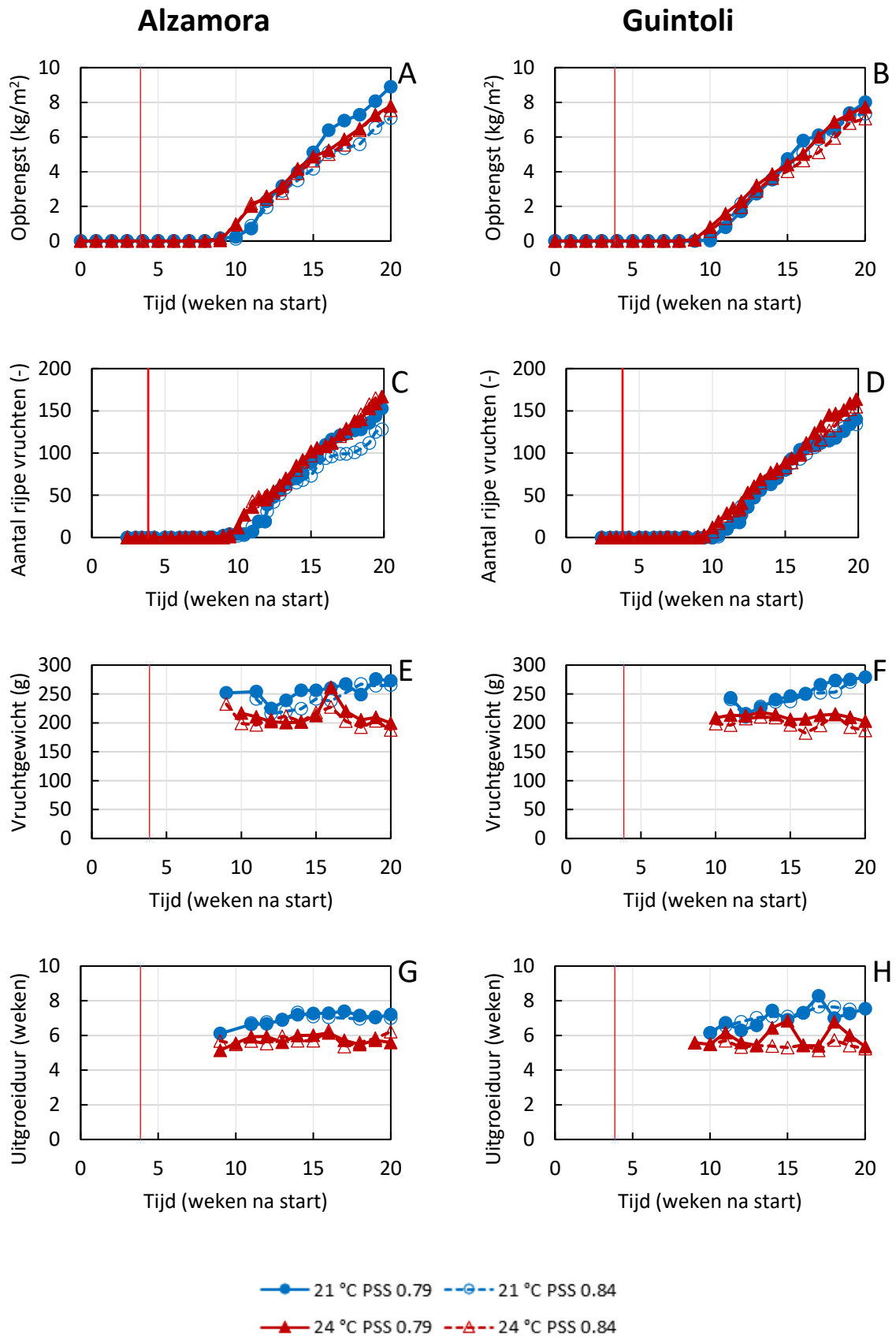
Tabel 3.5. Percentages neusrot per scoringsklasse (1 is minste schade, 3 is ernstig) en totaal van geoogste rijpe vruchten tijdens de proef. Voorbeelden van de scoringsklassen zijn te vinden in Figuur 2.6. (N = 128 – 167)

Ras	T (°C)	Spectrum	Rijpe vruchten	Neusrotscore (%)			Totaal (%)
				1	2	3	
Alzamora	21	PSS 0.79	153	0.0	1.3	0.0	1.3
	21	PSS 0.84	128	0.0	1.6	2.3	3.9
	24	PSS 0.79	167	4.2	6.0	2.4	12.6
	24	PSS 0.84	167	4.2	4.2	4.8	13.2
Guintoli	21	PSS 0.79	140	0.0	0.7	0.0	0.7
	21	PSS 0.84	134	2.3	1.5	0.0	3.8
	24	PSS 0.79	164	9.8	7.3	3.0	20.1
	24	PSS 0.84	155	5.2	5.2	1.3	11.6

Bij beide rassen en lichtspectra was het gemiddeld vruchtgewicht van vruchten zonder neusrot duidelijk hoger bij 21°C dan 24°C, soms tot boven 250 g (Figuur 3.7). Een hoger vruchtgewicht ten koste van het aantal vruchten is gunstig voor besparing op arbeid, hoewel een hoog gewicht vruchten wellicht minder geschikt maakt voor een multipack. De uitgroeiduur was ook langer bij 21°C dan bij 24°C, zoals verwacht. Gemiddeld lag de uitgroeiduur tussen proefweek 11 en 20 op 49 tot 51 dagen bij 21°C, en tussen 39 en 41 dagen bij 24°C voor beide rassen. Vruchten die vóór deze periode geoogst zijn werden mogelijk aangelegd in de weken voor aanvang van de temperatuurbehandelingen en zijn daarom niet meegenomen (Tabel 3.8). De opbrengst van rijpe vruchten over de tijd nam vanaf 15 weken wat meer toe bij Alzamora bij 21°C en PSS 0.79 dan bij andere behandelingen (Figuur 3.7). Dit is in lijn met de wat hogere gerealiseerde plantbelasting (Figuur 3.6) en behoud van een relatief hoog gemiddeld vruchtgewicht (Figuur 3.7) bij deze behandeling.

Op twee momenten in de proef is het BRIX-gehalte van de vruchten bepaald (Bijlage 6.6). Dit lag iets hoger bij de hoge temperatuur.

Het streven is om een goede opbrengst te halen met een zo hoog mogelijk aantal vruchten van het juiste gewicht en afmeting, zonder neusrot. De vraag is of bij lage etmaaltemperatuur niet meer vruchten kunnen worden toegelaten. Er is immers vooral in het begin van de teelt ook veel gedund. Met een hogere plantbelasting zou waarschijnlijk ook het gemiddelde vruchtgewicht wat dalen. Later in de teelt is echter nauwelijks meer gedund. Een andere mogelijkheid om meer vruchten te laten zetten is dan door meer te belichten.



Figuur 3.7. Cumulatieve opbrengst van rijpe vruchten (A, B; N = 16), aantal rijpe vruchten (C, D), vruchtgewicht (E, F; N = 128 - 167) en uitgroei duur (G, H; N = 128 - 167).

3.4 Verdeling droge stof

Een lagere etmaaltemperatuur vertraagde de afsplitsing van internodia (Figuur 3.2 CD in Hoofdstuk 3.1) en bladeren. Dat zou kunnen leiden tot relatief minder investering in vegetatieve delen en meer in de vruchten (grotere "harvest index"). De verdeling van droge stof naar de vruchten was bij Guintoli wel hoger bij lage temperatuur, maar bij Alzamora niet (Tabel 3.6). Ook was er niet zoals verwacht een groot verschil in allocatie naar stengel en blad, de verschillen zaten bij Guintoli in het snoeisel. Dit snoeisel, bestaande uit zijscheuten, is steeds vers gewogen. Terwijl van andere plantendelen uitvoerig het percentage droge stof (%DS) is bepaald (Tabel 3.6; 3.7; Figuur 3.8; Bijlage 6.7), is daar voor het snoeisel alleen een aanname voor. Die luidde dat het %DS gelijk is aan dat van de stengel in de bovenste 50 cm van de plant. Vanwege deze onnauwkeurigheid en het relatief grote effect van snoeisel is de harvest index niet helemaal betrouwbaar te beoordelen. Beide rassen reageerden ook niet gelijk zoals hierboven gemeld. Mogelijk is er dus een licht positief effect van lage etmaaltemperatuur op harvest index, maar dat zal verder moeten worden bevestigd.

Bij lagere etmaaltemperatuur hadden de vruchten bij eind oogst een wat lager %DS (Tabel 3.7). Een reeks vruchten van verschillende leeftijd is ook geanalyseerd bij eind oogst op %DS (Figuur 3.8) wat grofweg ook die trend weergaf.

Tabel 3.6. Percentuele verdeling van droge stof over stengel, blad, vrucht en snoeisel ten opzichte van de totale hoeveelheid aangemaakte bovengrondse droge stof. (N = 8-9).

Verdeling bovengrondse droge stof op totaal					
Ras	Behandeling	Stengel	Blad	Snoeisel	Vrucht
Alzamora	21°C PSS 0.79	18%	20%	6%	57%
	21°C PSS 0.84	18%	23%	5%	53%
	24°C PSS 0.79	18%	20%	7%	56%
	24°C PSS 0.84	18%	21%	8%	53%
Guintoli	21°C PSS 0.79	19%	21%	5%	55%
	21°C PSS 0.84	18%	22%	6%	54%
	24°C PSS 0.79	20%	21%	8%	50%
	24°C PSS 0.84	19%	21%	10%	50%

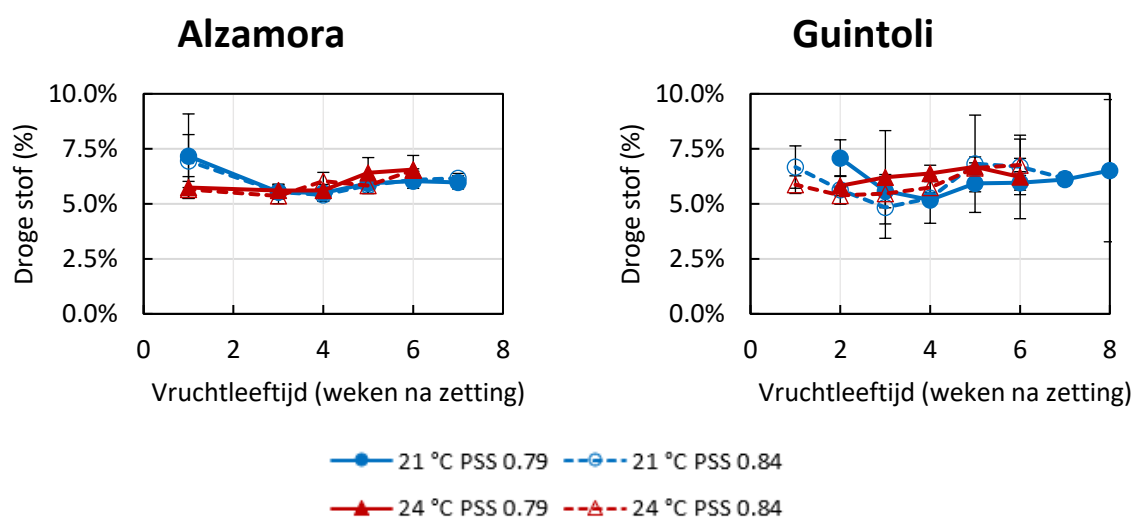
De verdeling van droge stof over de plant is van belang voor de assimilatenbalans en productiviteit. De combinatie met LAI (Bijlage 6.5.1), bladmassa per oppervlak (LMA; Bijlage 6.5.2) en %DS bepaalt hoeveel droge stof naar de bladeren gaat.

Tabel 3.7. Gemiddeld droge stofpercentage van rijpe vruchten op drie momenten (proefweek 11, 14 en bij de eendoogst). Waardes per ras in dezelfde kolom met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, $P < 0.05$). ($N = 2 - 13$)

		Droge stofpercentage van rijpe vruchten (%)		
Ras	Behandeling	Proefweek 11	Proefweek 14	Eendoogst
Alzamora	21°C PSS 0.79	6.4 ± 0.4 b	6.7 ± 0.5 b	6.2 ± 0.4 b
	21°C PSS 0.84	6.5 ± 1.0 b	7.0 ± 0.2 ab	¹
	24°C PSS 0.79	7.3 ± 0.4 a	7.4 ± 0.2 a	6.8 ± 0.4 a
	24°C PSS 0.84	6.9 ± 0.3 ab	7.0 ± 0.4 ab	7.0 ± 0.2 a
	Temperatuur	***	**	***
	Spectrum	n.s.	n.s.	n.s.
	Interactie	n.s.	*	-
Guintoli	21°C PSS 0.79	6.5 ± 0.3 ab	6.6 ± 0.5 a	6.3 ± 0.4 a
	21°C PSS 0.84	6.4 ± 0.5 b	6.7 ± 0.4 a	6.1 ± 0.2 a
	24°C PSS 0.79	7.2 ± 0.7 a	7.0 ± 0.8 a	6.7 ± 0.2 a
	24°C PSS 0.84	6.7 ± 0.8 ab	7.4 ± 0.4 a	6.9 ± 0.2 a
	Temperatuur	*	*	***
	Spectrum	n.s.	n.s.	n.s.
	Interactie	n.s.	n.s.	n.s.

¹ Bij de eendoogst waren geen vruchten van Alzamora binnen deze behandeling geoogst

*, **, ***, n.s. = $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, niet significant



Figuur 3.8. Droge stofpercentage voor onrijpe vruchten van verschillende leeftijd bij de eendoogst voor het ras 'Alzamora' (links) en 'Guintoli' (rechts). Foutbalken geven de standaarddeviatie weer. Vruchten met een leeftijd van 0 tot 1 week na zetting en vruchten van 2 weken oud voor het ras 'Alzamora' gaven te veel spreiding om het droge stofpercentage nauwkeurig te bepalen. ($N = 2 - 14$).

Tabel 3.8. Hoofddresultaten van de proef. Waardes in dezelfde rij met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, $P < 0.05$).

Alzamora Parameter	Behandeling				Significantie behandelingseffect		
	21°C PSS 0.79	21°C PSS 0.84	24°C PSS 0.79	24°C PSS 0.84	T	S	TxS
Uitgroeiduur (week 11-20)	49.2 ± 3.5 a	48.8 ± 3.4 a	40.7 ± 3.7 b	40.1 ± 2.9 b	***	*	n.s.
Vruchtgewicht	252 ± 31 a	239 ± 29 b	211 ± 27 c	205 ± 23 c	***	***	n.s.
Planthoogte (N = 16)	140 ± 8 b	128 ± 8 c	152 ± 7 a	137 ± 11 b	***	***	n.s.
# Internodia (boven splitsing) (N = 16)	24.5 ± 1.9 b	25.4 ± 2.3 b	28.3 ± 1.1 a	29.1 ± 2.7 a	***	n.s.	n.s.
# Internodia (50 cm ¹) (N = 16)	12.2 ± 1.0 b	14.9 ± 1.4 a	13.3 ± 1.5 b	15.9 ± 1.5 a	**	***	n.s.
Stengeldikte (mm) (N = 16)	8.4 ± 0.8 b	9.6 ± 0.7 a	8.8 ± 1.0 ab	9.0 ± 1.2 ab	n.s.	**	*
Lengte Internodia (boven splitsing) (N=16)	4.6 ± 0.2 a	4.0 ± 0.2 b	4.3 ± 0.2 a	3.8 ± 0.6 b	*	***	n.s.
Lengte Internodia (50 cm ¹) (N = 16-18)	4.1 ± 0.3 a	3.4 ± 0.3 b	3.8 ± 0.4 a	3.2 ± 0.3 b	**	***	n.s.
DW blad (%) (N = 8-9)	11.8 ± 0.4 a	11.4 ± 0.6 ab	10.8 ± 0.5 bc	10.7 ± 0.6 c	***	n.s.	n.s.
DW Stengel (%) (N = 8-9)	16.4 ± 2.1 a	15.6 ± 0.7 a	15.8 ± 0.8 a	15.1 ± 0.9 a	n.s.	n.s.	n.s.
LMA topblad (g/m ²) (N = 4)	65.6 ± 1.4 a	63.8 ± 4.0 a	53.2 ± 2.5 b	53.5 ± 3.1 b	***	n.s.	n.s.
Bladoppervlak (m ² /plant) (N = 4)	1.34 ± 0.16	1.25 ± 0.11	1.27 ± 0.06	1.16 ± 0.08	n.s.	n.s.	n.s.
Opbrengst (rijp) per m ² (kg/m ²) (N = 15-16)	8.9 ± 0.6 a	7.1 ± 0.4 c	7.8 ± 0.7 b	7.5 ± 0.7 bc	*	***	***

¹ in de bovenste 50 cm van het gewas.

* = $P \leq 0.05$

** = $P \leq 0.01$

*** $P \leq 0.001$

n.s. = niet significant

Waardes in dezelfde rij met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, $P < 0.05$).

Tabel 3.8 (vervolgd)

Guintoli Parameter	Behandeling				Significantie behandelingseffect		
	21°C PSS 0.79	21°C PSS 0.84	24°C PSS 0.79	24°C PSS 0.84	T	S	TxS
Uitgroeiduur (week 11-20)	50.6 ± 4.1 a	49.7 ± 3.9 a	39.4 ± 3.4 b	38.6 ± 3.0 b	***	*	n.s.
Vruchtgewicht	244 ± 32 a	239 ± 27 a	213 ± 23 b	200 ± 25 c	***	***	n.s.
Planthoogte (N = 16)	145 ± 12 bc	138 ± 9 c	172 ± 9 a	150 ± 13 b	***	***	**
# Internodia (boven splitsing) (N = 16)	23.3 ± 2.0 b	24.6 ± 1.2 b	30.9 ± 2.5 a	29.6 ± 2.8 a	***	n.s.	*
# Internodia (50 cm ¹) (N = 16)	12.3 ± 1.3 b	14 ± 1.4 a	11.9 ± 1.1 b	14.4 ± 1.7 a	n.s.	***	n.s.
Stengeldikte (mm) (N = 16)	9.0 ± 1.0 a	9.6 ± 1.0 a	9.4 ± 1.1 a	9.4 ± 0.9 a	n.s.	n.s.	n.s.
Lengte Internodia (boven splitsing) (N=16)	4.8 ± 0.3 a	4.3 ± 0.3 b	4.5 ± 0.3 b	4.0 ± 0.3 c	***	***	n.s.
Lengte Internodia (50 cm ¹) (N = 16-18)	4.1 ± 0.4 a	3.6 ± 0.4 b	4.2 ± 0.4 a	3.5 ± 0.5 b	n.s.	***	n.s.
DW blad (%) (N = 8-9)	11.9 ± 0.5 a	11.8 ± 0.5 a	10.9 ± 0.4 b	10.7 ± 0.4 b	***	n.s.	n.s.
DW Stengel (%) (N = 8-9)	16.0 ± 0.6 a	15.7 ± 0.9 a	14.6 ± 0.5 b	14.3 ± 0.4 b	***	n.s.	n.s.
LMA topblad (g/m ²) (N = 4)	59.8 ± 6.6 a	64.9 ± 12.8 a	50.4 ± 6.8 a	51.9 ± 4.2 a	*	n.s.	n.s.
Bladoppervlak (m ² /plant) (N = 4)	1.26 ± 0.12	1.29 ± 0.14	1.57 ± 0.23	1.37 ± 0.08	*	n.s.	n.s.
Opbrengst (rijp) per m ² (kg/m ²) (N = 15-16)	8.0 ± 0.5 a	7.3 ± 0.5 bc	7.8 ± 0.6 ab	7.1 ± 0.5 c	n.s.	***	n.s.

¹ in de bovenste 50 cm van het gewas.

* = P ≤ 0.05

** = P ≤ 0.01

*** P ≤ 0.001

n.s. = niet significant

Waardes in dezelfde rij met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, P < 0.05).

4 Discussie

Gewasstand en strekking

Voor een praktische toepassing van LED-belichting moet een afweging worden gemaakt tussen kosten voor investering en elektraverbruik enerzijds en de meerwaarde in werkbaarheid en opbrengst anderzijds. Over het algemeen was de werkbaarheid van het gewas goed in alle behandelingen. De hier getoetste proefcondities en lichtspectra zijn wat dat betreft dus allemaal bruikbaar en de keuze valt vanuit praktisch oogpunt dan op de meest energiezuinige strategie (21°C etmaaltemperatuur en lichtspectrum met PSS 0.84). De hier gebruikte rassen Guintoli en Alzamora strekken op zich al redelijk, terwijl in eerder onderzoek het moezaam strekkende ras Maveria werd getoetst (Boonman & Hogewoning, 2022). Raskeuze is dus van belang voor een succesvolle jaarrond teelt. Overigens zal de strekking naar verwachting nog beter zijn in een jaarrond teelt in de kas. In deze proef is continu winterzonlicht nagebootst over de hele teelt van 20 weken. In de praktijk zal er dus gemiddeld veel meer zonlicht zijn dan in de proef, althans tijdens een groot deel van de teelt. Zonlicht, met een fors aandeel verrood (PSS 0.71) zou dus waarschijnlijk bijdragen aan meer strekking dan hier in de proef is waargenomen.

In deze proef werd in het spectrum met PSS 0.84 slechts 4% verrood gebruikt, maar dat hangt samen met de 38% groen die ook in het spectrum is gebruikt. De witte LED's die daarvoor nodig zijn, hebben een lagere efficiëntie dan rode LED's. Bij een rood-dominant spectrum zal beduidend meer verrood nodig zijn om de PSS 0.84 te behalen (bijvoorbeeld 20% verrood toegevoegd aan spectrum R89%-G5%-B6% voor PSS 0.84; zie ook Boonman & Hogewoning, 2022). Die vorige proef liet ook zien dat een rood-dominant spectrum met zeer veel verrood (PSS 0.75) niet aan te bevelen is vanwege juist overmatige strekking en meer bladchlorose. Wat betreft de inzet van verrood LED licht is er besparing in elektraverbruik mogelijk door het alleen in te zetten in periodes met weinig zonlicht. Hiervoor moet het licht wel per kanaal apart aanstuurbaar zijn.

In het spectrum met het meeste verrood in deze proef (PSS 0.79) was er meer strekking van de internodia dan in het spectrum met minder verrood (PSS 0.84). Eerder werd als doelstelling 4.5 cm lengte van de internodiën aangehouden (Helmus-Schuddebeurs et al., 2022). Bij 21°C etmaaltemperatuur en PSS 0.79 is deze doelstelling gehaald voor beide rassen, althans gemiddeld over de hele plant (Tabel 3.1). Het is echter de vraag of er niet al voldoende stengelstrekking is met een PSS-waarde van 0.84. Het ras Alzamora behaalde een gemiddelde internodiumlengte van 4.0 cm en Guintoli 4.3 cm bij 21°C en PSS 0.84. En zoals gezegd was de werkbaarheid goed in alle behandelingen.

Bladkwaliteit, verdamping en fotosynthese

Bij jaarrond belichte paprikateelt is in een aantal recente proeven tot nu toe altijd bladchlorose gezien (Helmus-Schuddebeurs et al., 2020 en 2022) en hier in deze proef ook, hoewel niet in heel ernstige mate. Opvallend genoeg was de chlorose niet minder bij een lagere etmaaltemperatuur maar juist wat sterker, vooral bij Guintoli (Figuur 3.3; 3.4). Een lagere etmaaltemperatuur zou veroudering van het blad kunnen vertragen. De hypothese was dat chlorose hierdoor zou verminderen, maar dat blijkt niet het geval.

Verder was nieuwgevormd blad over het algemeen van goede kwaliteit, zonder chlorose. Fotosynthese van topbladeren functioneerde normaal en huidmondjes hadden een redelijke geleidbaarheid (van zo'n 0.2-0.3 mol/m²/s) die niet beperkend is voor gasuitwisseling (Tabel 3.2). Is het blad eenmaal wat ouder en op een positie van (slechts) 5-7 internodia onder de kop, treden er problemen op onder belichting zoals chlorose. Bij 24°C was er minder chlorose dan bij 21°C. In de warme behandeling was de verdamping ook hoger vanaf week 13. Mogelijk heeft dat bijgedragen aan de betere bladkwaliteit.

Een ander typisch fenomeen onder belichte teelt van paprika is de relatief snelle daling van huidmondjesgeleiding en fotosynthesesnelheid met de gewashoogte (zie Inleiding). Op een bladpositie van 5-7 internodia onder de kop, waar nog relatief veel licht valt, is die geleiding bijvoorbeeld nog maar een kwart van die van topbladeren bij 24°C en sterk limiterend voor de fotosynthese (Tabel 3.2). Ook bij de lagere etmaaltemperatuur van 21°C was er zo'n afname van huidmondjesgeleiding, al was dat minder sterk dan bij 24°C. De onderliggende oorzaken van de lage geleiding en chlorose van paprika onder belichting zijn niet bekend.

Verdamping is mogelijk geremd tijdens een deel van de proef toen de drain EC erg hoog was. Vanaf proefweek 13 nam is de EC van het gietwater verlaagd en nam de verdamping bij de hoge temperatuurbehandeling toe (Figuur 3.5A en Figuur 6.3 in Bijlage). Waarschijnlijk werd dit voornamelijk bepaald door de temperatuur en daarmee VPD. Er was geen eenduidig effect van temperatuur op geleiding van de bovenste bladeren, die ook meer bijdragen aan verdamping dan diepere gewaslagen. Eerder is al gevonden dat een kortere daglengte onder belichting (15 uur in plaats van 18 uur) en een spectrum met hoog wit (t.o.v. hoog rood) de verdamping stimuleerde (Boonman & Hogewoning, 2022). Deze condities zijn in deze proef gebruikt.

Effecten van etmaaltemperatuur en belichtingsstrategie op chlorose en functioneren van fotosynthese dienen verder te worden onderzocht in praktijkproeven. Een open vraag is nog steeds of juist bij toenemend zonlicht in het voorjaar het gewas weer kan herstellen van de typische bladschade die in de winter optreedt.

Plantbelasting en opbrengst

De doelstelling van een jaarrond paprikateelt is om voldoende productie te behalen met zoveel mogelijk vruchten van goede kwaliteit. Omdat de proef op een relatief kleine oppervlakte van 5m² per ras per behandeling is uitgevoerd moeten relatief kleine verschillen

in gemeten productie voorzichtig worden geïnterpreteerd. Bij een etmaaltemperatuur van 21°C werden minder rijpe vruchten geoogst dan bij 24°C (Tabel 3.3), maar waren de vruchten zwaarder (250 g bij 21°C en 210 g bij 24°C). De opbrengst in versgewicht van rijpe vruchten of van het totaal inclusief onrijpe vruchten verschilde niet consistent tussen de twee temperaturen. Dit geeft aan dat het in ieder geval niet nadelig is voor de opbrengst om de etmaaltemperatuur te verlagen naar 21°C. Bij Guintoli waren er bijvoorbeeld wel wat meer deels gekleurde vruchten onder de lage temperatuur, en zou de opbrengst dus (tijdelijk) hoger uitkomen wanneer deze rijp zijn. Voor sommige marktsegmenten zijn de zwaardere vruchten uit de 21°C behandeling mogelijk te grof. Ze kunnen bijvoorbeeld minder makkelijk in een multi-pack worden verwerkt. Wel kunnen grovere vruchten bijdragen aan een reductie in arbeid, aangezien er meer gewicht met eenzelfde handeling kan worden geoogst.

De langere uitgroeiduur bij lagere etmaaltemperatuur droeg bij aan het hogere vruchtgewicht, aangezien er over een langere periode assimilaten naar de vruchten werden getransporteerd (Wubs et al. 2009). Meer vruchtzetting en daardoor een hogere plantbelasting zal het vruchtgewicht beperken, en waarschijnlijk gunstig zijn voor de totale opbrengst. Immers, bij een hogere vruchtzetting wordt de verdeling van assimilaten tussen vruchten enerzijds en vegetatieve delen anderzijds, gunstiger. De vraag is dan hoe structureel meer vruchtzetting te bereiken. Mogelijk biedt meer belichting uitkomst. Immers, bij paprika wordt een vaste stengeldichtheid aangehouden, in tegenstelling tot de hogedraad tomatenteelt. In feite wordt in de winter dus een zomerstengeldichtheid aangehouden. Dat maakt de verdeling van assimilaten tussen vruchten en vegetatieve organen in de winter ongunstig. Dat blijkt ook uit de slechts 50-57% partitionering naar de vruchten in deze proef (Tabel 3.6). Door meer te belichten zou de vruchtzetting toe kunnen nemen, wat de partitionering van assimilaten naar de vruchten gunstiger maakt, en waardoor het rendement van de teelt per eenheid energie-input en kasruimte sterk kan worden verbeterd. Het is de moeite waard om dit te toetsen, en om te zien of er geen andere onvoorziene problemen optreden. Verder valt op dat er relatief veel energie verloren gaat door het snoeisel (5-10%; Tabel 3.6), terwijl in deze proef toch zeer regelmatig zijtakken gesnoeid zijn. Regelmatig snoeien lijkt dus belangrijk.

De opbrengst was iets hoger onder het spectrum met meer verrood met een PSS-waarde van 0.79 dan onder het spectrum met minder verrood met PSS 0.84 (Tabel 3.3). Verrood licht vergroot de partitionering van assimilaten naar vruchten (zie bijvoorbeeld Hogewoning et al., 2012 en Ji et al., 2020), wat hier ook het geval lijkt. Ook hier geldt dat de hogere kosten van extra verrood wel moeten opwegen tegen meerwaarde in productie, met name bij een lagere PSS-waarde zoals 0.79. De stap van 4% verrood (bij PSS 0.84), naar 18 % verrood (bij PSS 0.79) betekent dat met eenzelfde energiegebruik ook ruim 14% meer PAR-licht gegeven had kunnen worden als alternatief voor het extra verrood. Dat zou de opbrengst ook verhoogd hebben.

Omdat uit deze proef naar voren komt dat er prima bij een etmaaltemperatuur van 21°C geteeld kan worden in winterse condities, roept dit de verdere vraag op hoe laag men kan gaan in etmaaltemperatuur. Door nog verder te zakken in etmaaltemperatuur kan een verdere

reductie in fossiel energiegebruik worden bewerkstelligd. Ook is het interessant dat bij de behandeling met de lagere temperatuur van 21°C de fotosynthese en huidmondjesgeleidbaarheid 5 tot 7 bladeren onder de kop ten opzichte van de kopbladeren beduidend minder terugliep vergeleken met 24°C (Tabel 3.2). In de proef is continu een wintersituatie gesimuleerd. Het zou interessant zijn om in een kasproef te toetsen of een lagere teelttemperatuur in de winter een positief effect heeft op de bladkwaliteit, fotosynthese en lichtbenutting bij toenemend daglicht in het voorjaar.

4.1 Conclusies en aanbevelingen

- Belichte paprika kan net zo goed bij een etmaaltemperatuur van 21°C geteeld worden in winterse condities als bij de eerder gebruikte 24°C.
- LED-belichting met een spectrum met 38% groen en 4% verrood resulterend in PSS 0.84 gaf een goed werkbaar gewas en een redelijke opbrengst. Met nog meer verrood (PSS 0.79) was de stengelstrekking wat groter en de opbrengst wat hoger. Hierbij is het belangrijk een goede overweging te maken van de meerwaarde die extra verrood belichten met zich meebrengt. Een praktische toepassing is mogelijk flexibele inzet van verrood ten tijde van moeizame strekking zoals in de winter.
- Meer vruchtzetting lijkt de sleutel te zijn tot een betere productie in de winter. Dit verhoogt de allocatie van assimilaten naar de vruchten ten koste van de vegetatieve delen. Meer belichten zou hierin uitkomst kunnen bieden en is de moeite om te toetsen waard.

5 Referenties

- de Ávila Silva L, Omena-Garcia RP, Condori-Apfata JA, Costa PMA, Silva NM, DaMatta FM, Zsögön A, Araújo WL, de Toledo Picoli EA, Sulpice R, Nunes-Nesi A.** (2021) Specific leaf area is modulated by nitrogen via changes in primary metabolism and parenchymal thickness in pepper. *Planta*. 2021 253:16.
- Boonman A, Hogewoning SW** (2022) Effecten van spectrum en daglengte bij jaarrond teelt van paprika. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 45p.
- Centraal Bureau voor de Statistiek** (2022) CBS StatLine.
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?dl=DECC>
- Helmus-Schuddebeurs L, Zwinkels J, Hogewoning SW** (2020) Hoe wordt jaarrond productie van paprika rendabel? (2018-2019). *Delphy Improvement Centre*. 50p.
- Helmus-Schuddebeurs L, Oudshoorn B, Zwinkels J, Hogewoning SW, Kaarsemaker R** (2022) Hoe wordt jaarrond productie van paprika rendabel? De paprikateelt energetisch en teelttechnisch in balans. *Delphy Improvement Centre*. 49p.
- Heuvelink E, Marcelis LFM, Körner O** (2004) How to reduce yield fluctuations in sweet pepper? *Acta Horti* 633: 349–355
- Hogewoning SW, Douwstra P, Trouwborst G, Van Ieperen W, Harbinson J** (2010) An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *J Exp Bot* 61: 1267–1276
- Hogewoning SW, Sanders J, Peekstok T, Persoon S** (2012) Lichtkleuren onderzoek: Wat is de ontbrekende schakel voor succesvolle productieverhoging? 49 pp. *TTO & Plant Lighting B.V.*
- Ji, Y., Nuñez Ocaña, D., Choe, D., Larsen, D. H., Marcelis, L. F. M., & Heuvelink, E.** (2020) Far-red radiation stimulates dry mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength in tomato. *New Phyt* 228: 1914–1925
- Katzin D, Marcelis LFM, van Mourik S** (2021) Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting. *Appl Energy* 281: 116019
- Kusuma P, Pattison PM, Bugbee B** (2020) From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. *Hortic Res.* 7., 56
- Sager JC, Smith WO, Edwards JL, Cyr KL** (1988) Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *Trans ASAE* 31: 1882–1889
- van den Boogaart SAJ, Hogewoning SW, Trouwborst G, Krause A** (2019) Hoe wordt jaarrond productie in paprika rendabel? Vooronderzoek naar het effect van lichtspectrum. *Plant Lighting B.V., Bunnik*. 25p.
- Voogt J. van Weel P.** (2008) Climate control based on stomatal behavior in a semi-closed greenhouse system 'aircokas'. *Acta Horti* 797: 151-156
- Wubs AM, Heuvelink E, Marcelis LFM** (2009) Abortion of reproductive organs in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.): A review. *J Horti Sci Biotechnol* 84: 467–475
- Wright I, Reich P., Westoby M. et al.** (2004) The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821–827

6 Bijlagen

6.1 Gerealiseerd klimaat

Wekelijks gemiddelde etmaaltemperatuur

Proefweek	Temperatuur per behandeling (°C)							
	Alzamora				Guintoli			
	21°C	21°C	24°C	24°C	21°C	21°C	24°C	24°C
	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS
	0.79	0.84	0.79	0.84	0.79	0.84	0.79	0.84
0	23.4	23.3	23.7	23.6	23.4	23.2	23.7	23.7
1	23.8	23.9	24.1	23.9	23.8	23.8	24.0	24.1
2	23.6	23.6	23.7	23.5	23.6	23.5	23.6	23.7
3	22.8	22.9	23.3	23.2	22.8	22.8	23.3	23.4
4	21.0	21.0	24.0	23.8	20.9	20.8	23.9	24.0
5	21.1	21.0	23.9	23.8	21.0	20.9	23.8	23.9
6	21.0	21.0	23.9	23.8	21.0	20.9	23.8	23.9
7	21.2	21.1	24.0	24.0	21.1	20.9	24.0	24.1
8	21.0	20.9	23.9	23.9	20.9	20.7	23.8	24.0
9	21.0	21.0	23.9	23.8	20.9	20.8	23.8	24.0
10	21.1	21.1	23.8	23.7	21.1	21.0	23.8	23.9
11	21.1	21.1	23.8	23.7	21.1	20.9	24.1	24.0
12	21.0	21.0	23.8	23.8	21.1	20.9	24.0	24.1
13	21.1	21.0	23.8	23.7	21.1	20.9	23.9	24.1
14	21.1	21.1	23.8	23.7	21.1	20.9	23.9	24.2
15	20.9	20.9	23.9	23.7	20.9	20.8	24.0	24.2
16	21.0	21.0	23.9	23.8	21.1	20.8	24.1	24.3
17	21.0	21.1	23.9	23.9	21.1	20.9	24.2	24.4
18	21.1	21.1	23.9	23.8	21.3	21.0	24.2	24.3
19	21.1	21.2	23.8	23.8	21.4	21.0	24.1	24.3
20	21.4	21.3	24.2	24.0	21.5	21.2	24.4	24.6

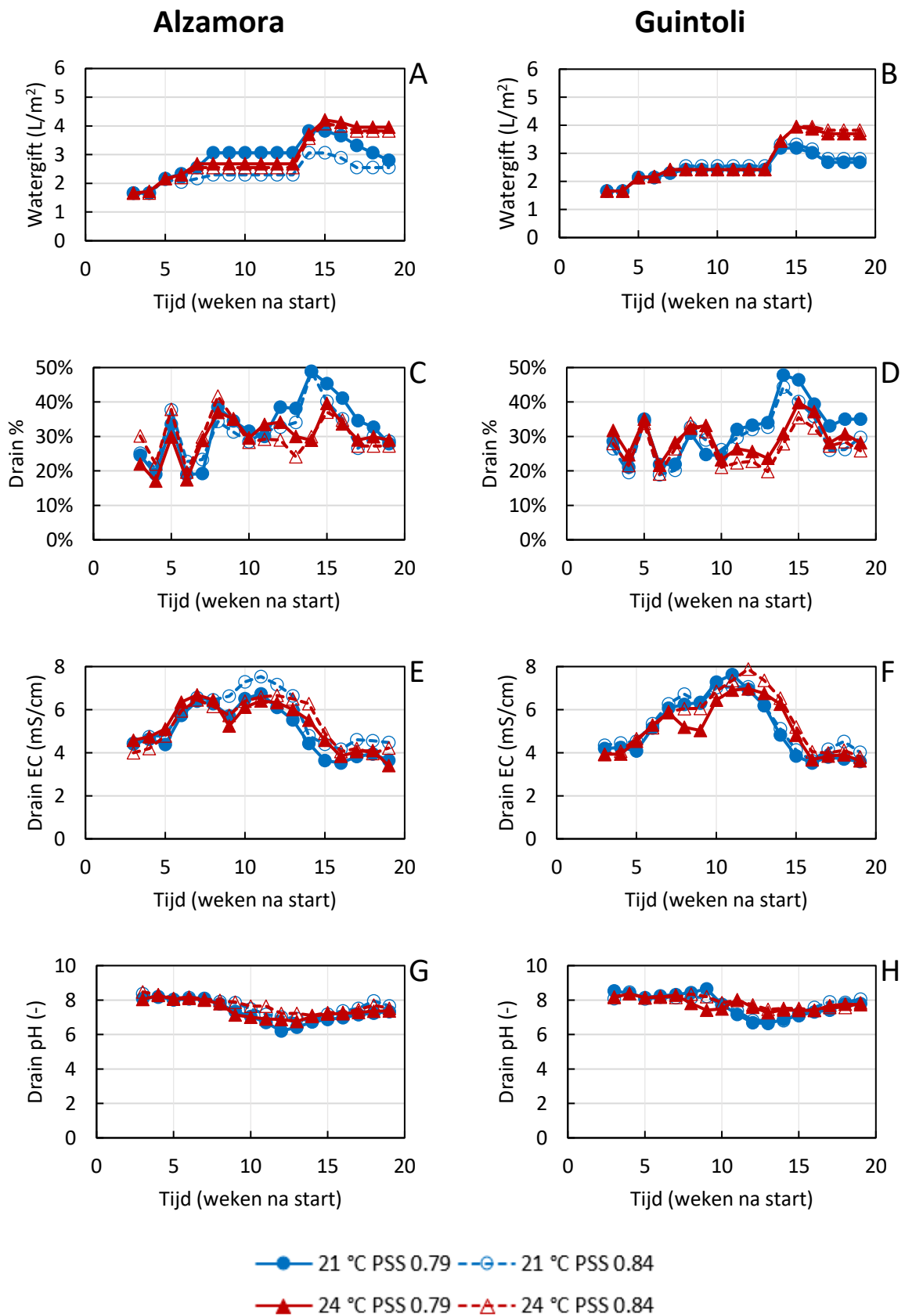
Wekelijks gemiddelde relatieve luchtvochtigheid

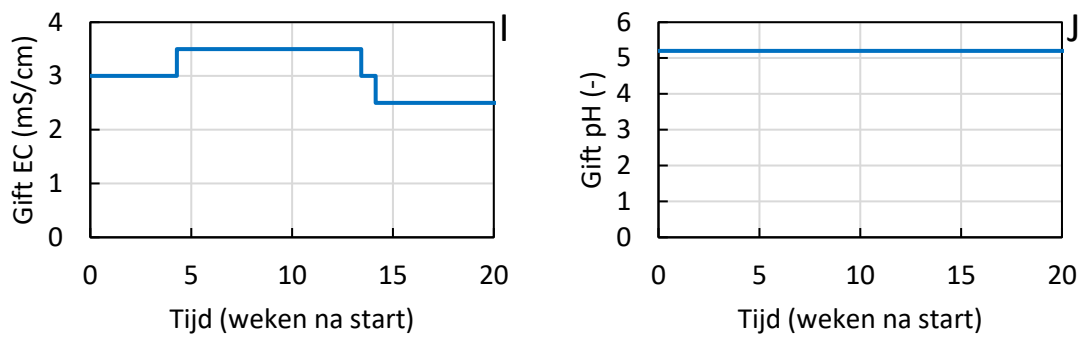
Proef week	Relatieve luchtvochtigheid per behandeling (%)							
	Alzamora				Guintoli			
	21°C	21°C	24°C	24°C	21°C	21°C	24°C	24°C
	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS	PSS
0.79	0.84	0.79	0.84	0.79	0.84	0.79	0.84	
0	71	72	74	74	72	74	74	74
1	74	73	75	76	74	74	75	75
2	74	74	75	76	74	75	75	75
3	73	73	72	73	74	74	73	72
4	72	73	74	75	73	74	75	74
5	73	74	74	75	74	75	74	74
6	72	73	73	74	73	73	73	73
7	72	73	73	73	73	73	73	72
8	73	74	73	73	74	74	73	73
9	73	74	73	73	75	75	73	73
10	73	74	72	73	75	75	73	73
11	72	73	72	72	73	74	71	72
12	72	73	71	72	73	73	71	72
13	72	74	72	73	73	74	72	72
14	71	73	72	73	73	74	72	72
15	71	73	72	74	73	74	73	72
16	72	73	73	74	73	74	73	73
17	72	74	73	75	74	75	74	73
18	73	74	73	74	74	75	73	73
19	73	74	74	75	74	76	74	74
20	70	73	73	75	72	74	74	74

6.2 Analyses gift- en voedingswater

Dagen na start	Behandeling	mS/cm	-	mmol/L											μmol/L					
		EC	pH	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	Si	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
55	Giftwater	3.7	5.5	0.6	12.4	0.8	6.4	2.4	0.3	29.7	0.5	1.0	0.0	0.9	10.9	9.7	4.3	73.6	2.7	0.5
76	Giftwater	3.7	5.6	0.6	12.4	0.8	6.4	2.5	0.3	27.9	0.6	1.0	0.1	1.2	13.1	11.3	5.3	76.8	2.7	0.5
97	Giftwater	3.8	5.6	0.6	12.9	0.8	6.8	2.6	0.3	29.5	0.6	1.1	0.1	1.2	13.6	11.7	5.1	77.4	2.9	0.4
125	Giftwater	2.7	5.8	0.4	7.6	0.7	5.8	1.9	0.3	20.8	0.6	0.8	0.3	0.8	11.0	7.9	3.4	52.8	2.0	0.3
	Drainwater																			
55	'Alzamora' 21°C	7.2	8.1	<0.1	19.4	2.8	15.9	6.2	0.9	57.8	1.9	2.7	3.1	0.0	9.6	0.1	5.1	198	3.2	1.5
55	'Alzamora' 24°C	6.9	8.0	<0.1	18.5	2.5	15.3	5.8	0.8	54.7	1.6	2.6	2.6	0.0	10.4	0.0	4.8	186	3.8	1.4
55	'Guintoli' 21°C	6.7	8.2	<0.1	17.8	2.8	14.9	5.8	0.9	54.4	1.6	2.6	2.5	0.0	8.3	0.3	4.3	193	2.8	1.5
55	'Guintoli' 24°C	6.4	8.1	<0.1	16.8	2.6	14.2	5.4	0.8	52.2	1.6	2.6	2.9	0.0	9.9	0.0	4.9	182	3.8	1.5
114	'Alzamora' 21°C	4.1	7.3	<0.1	10.9	2.0	9.0	3.4	0.6	34.2	1.6	0.7	1.1	0.3	4.2	0.2	1.0	104	2.8	0.5
114	'Alzamora' 24°C	4.2	7.4	<0.1	10.9	2.1	9.2	3.3	0.6	34.5	1.7	0.9	1.0	0.2	5.4	<0.1	1.1	106	2.8	0.6
114	'Guintoli' 21°C	3.8	7.5	<0.1	9.7	2.0	8.2	3.1	0.6	31.7	1.6	0.5	1.2	0.1	4.0	<0.1	1.1	97.6	2.5	0.5
114	'Guintoli' 24°C	4.1	7.5	<0.1	10.4	2.1	9.2	3.2	0.6	34.5	1.8	0.9	1.2	0.1	6.3	<0.1	1.7	108	2.8	0.6

6.3 Watergift en drain





Figuur 6.3. (deze en vorige pagina). Gegevens watergift en drain. A,C, E, G voor Alzamora; B, D, F, H voor Guintoli, I en J zijn gegevens van gift (voor beide rassen).

6.4 Belichtingsschema

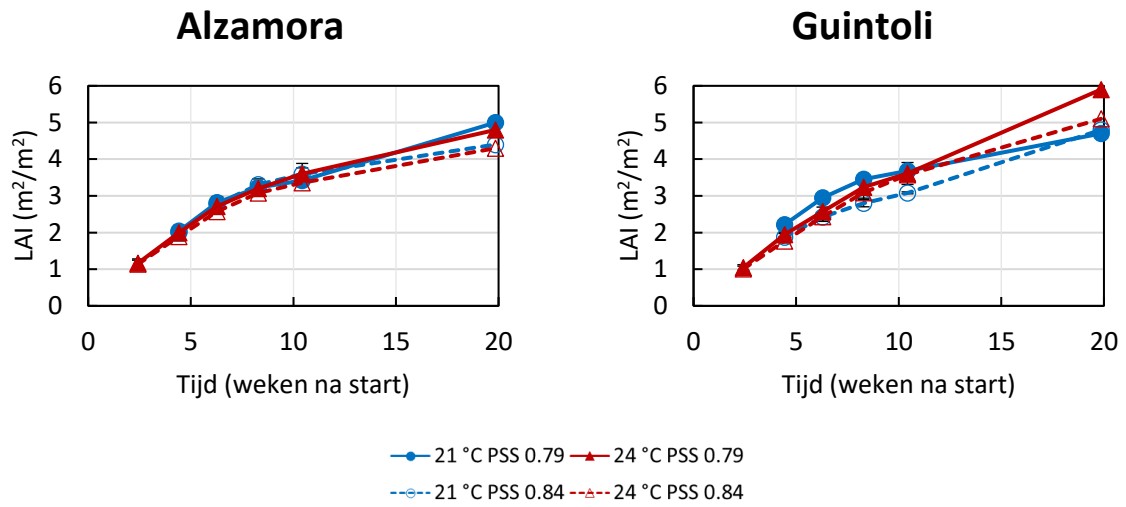
Proef- week	Zonlicht			LED			
	Aan	Uit	Intensiteit ² ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Aan	Uit	Intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Waarvan uren gedimd op 100
0	9:00	17:00	80	3:00	10:00	200	0
1	7:00	17:00	105	3:00	13:00	100	0
2	7:00	17:00	105	3:00	13:00	100	0
3	7:00	17:00	120	3:00	16:30	100	0
4 ¹	7:00	17:00	120	1:30	16:30	200	11.5
5 ¹	7:00	17:00	80	1:30	16:30	200	11.5
6	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	2.75
7	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200 ³	0.5
8	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
9	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
10	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
11	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
12	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
13	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
14	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
15	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
16	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
17	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
18	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
19	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5
20	9:00	17:00	80	1:30	16:30	200	0.5

¹Per abuis is meer zonlicht gegeven bij etmaaltemperatuur van 21°C. Dat is de week erna gecorrigeerd. In de klimaatcel met een etmaaltemperatuur van 24°C was de situatie van proefweek 4 en 5 andersom dan de tabel.

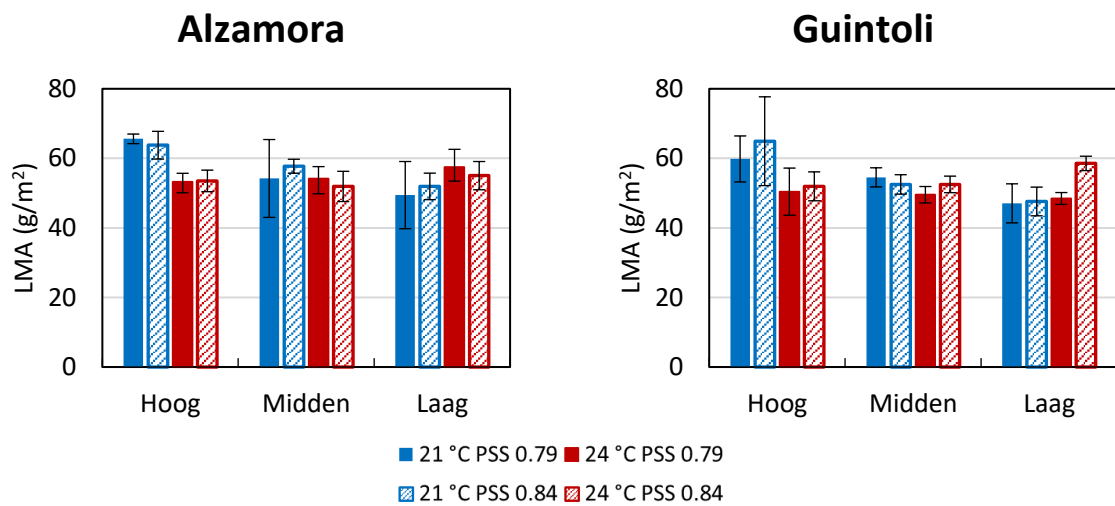
²De intensiteit van de zonlichtbelichting was het eerste- en laatste halfuur gedimd tot 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

³Vanaf week 7 werd de belichting traploos opgeschakeld in het eerste kwartier en weer afgeschakeld in het laatste kwartier van de lichtperiode, wat neerkomt op een half uur per dag gemiddeld 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

6.5 LAI en bladmassa per oppervlak (LMA)

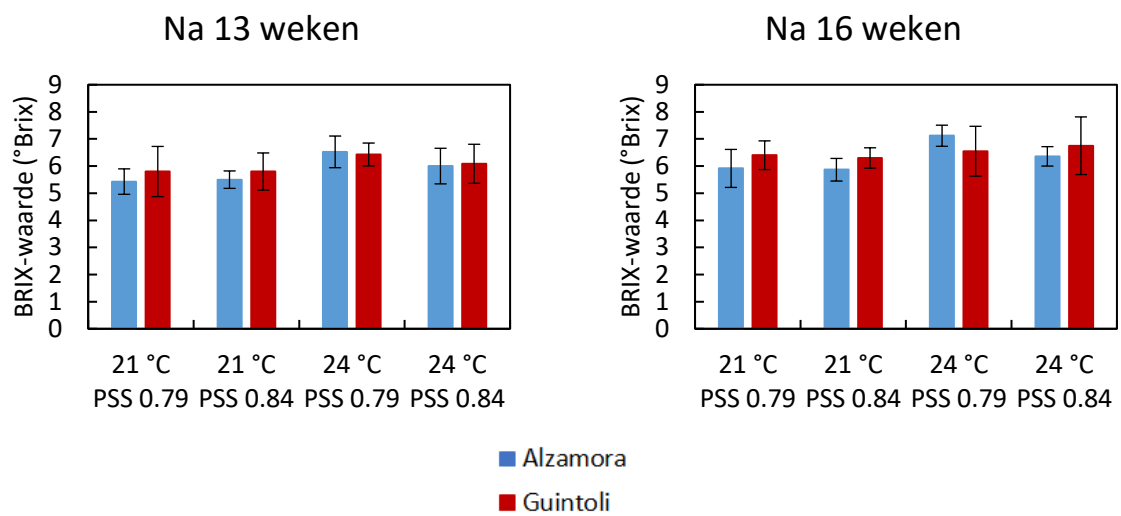


Figuur 6.5.1 LAI over de tijd voor de rassen 'Alzamora' (links) en 'Guintoli' (rechts). Foutbalken vertegenwoordigen de standaarddeviatie. (N = 2 – 4)



Figuur 6.5.2. LMA uit drooggewicht voor de verschillende planthoogtes voor de rassen 'Alzamora' (links) en 'Guintoli' (rechts). (N = 4; alle bladeren van 4 planten per behandeling)

6.6 Suikergehalte vruchten



Figuur 6.6. BRIX-waarde van vruchten op twee oogstmomenten.

6.7 Verdeling droge stof

Tabel 6.7. Gemiddelde hoeveelheden en percentages van droge stof per plant voor de verschillende behandelingen in blad en stengels. Weergegeven als gemiddelde \pm standaarddeviatie. Waardes in dezelfde kolom met verschillende letters verschillen significant van elkaar (Tukey-test, $P < 0.05$).

Ras	Behandeling	Top 50 cm	Midden	Onder splitsing	Totaal
Gemiddelde hoeveelheid droge stof van blad per plant (g)					
Alzamora	21°C PSS 0.79	24.4 \pm 2.7 b	41.8 \pm 5.5 a	6.5 \pm 1.0 a	72.7 \pm 6.2 a
	21°C PSS 0.84	31.2 \pm 2.4 a	37.2 \pm 7.4 a	6.2 \pm 1.1 a	74.6 \pm 7.8 a
	24°C PSS 0.79	21.9 \pm 2.3 b	40.4 \pm 4.3 a	6.4 \pm 2.2 a	68.7 \pm 5.4 a
	24°C PSS 0.84	25.1 \pm 4.0 b	40.1 \pm 9.1 a	5.6 \pm 1.5 a	70.8 \pm 10.1 a
Guintoli	21°C PSS 0.79	24.5 \pm 2.2 b	39.6 \pm 4.2 b	6.4 \pm 2.3 a	70.4 \pm 5.3 a
	21°C PSS 0.84	30.2 \pm 3.0 a	34.3 \pm 5.6 b	7.2 \pm 2.0 a	71.7 \pm 6.7 a
	24°C PSS 0.79	24.8 \pm 3.5 b	48.2 \pm 7.2 a	6.1 \pm 1.2 a	79.2 \pm 8.1 a
	24°C PSS 0.84	24.4 \pm 3.3 b	41.4 \pm 4.5 ab	6.9 \pm 2.1 a	72.7 \pm 6.0 a
Gemiddelde hoeveelheid droge stof van stengels per plant (g)					
Alzamora	21°C PSS 0.79	10.2 \pm 0.9 b	37.1 \pm 7.9 a	17.1 \pm 4.8 a	64.4 \pm 9.2 a
	21°C PSS 0.84	14.3 \pm 1.3 a	31.6 \pm 6.4 a	14.2 \pm 2.4 a	60.1 \pm 6.9 a
	24°C PSS 0.79	9.9 \pm 1.8 b	36.9 \pm 3.3 a	13.6 \pm 1.9 a	60.3 \pm 4.2 a
	24°C PSS 0.84	11.5 \pm 2.2 b	34.3 \pm 4.9 a	13.1 \pm 2.4 a	58.9 \pm 5.9 a
Guintoli	21°C PSS 0.79	10.8 \pm 1.3 a	36.6 \pm 5.1 bc	17.2 \pm 2.8 a	64.7 \pm 5.9 b
	21°C PSS 0.84	12.8 \pm 1.7 a	30.2 \pm 4.2 c	16.5 \pm 2.0 ab	59.6 \pm 5.0 b
	24°C PSS 0.79	11.2 \pm 2.5 a	50.4 \pm 7.9 a	14.0 \pm 2.7 bc	75.6 \pm 8.7 a
	24°C PSS 0.84	13.3 \pm 2.7 a	38.6 \pm 4.9 b	12.5 \pm 1.5 c	64.4 \pm 5.8 b
Droge stofpercentage blad (%)					
Alzamora	21°C PSS 0.79	14.7 \pm 0.7 a	10.8 \pm 0.4 a	9.9 \pm 0.7 a	11.8 \pm 1.0 a
	21°C PSS 0.84	13.3 \pm 1.4 b	10.3 \pm 0.5 a	10.6 \pm 1.0 a	11.4 \pm 1.8 ab
	24°C PSS 0.79	12.3 \pm 0.6 bc	10.2 \pm 0.5 a	9.8 \pm 1.1 a	10.8 \pm 1.4 b
	24°C PSS 0.84	11.7 \pm 0.6 c	10.3 \pm 0.7 a	9.5 \pm 0.5 a	10.7 \pm 1.1 b
Guintoli	21°C PSS 0.79	15.6 \pm 0.7 a	10.8 \pm 0.5 a	9.8 \pm 0.9 a	11.9 \pm 1.2 a
	21°C PSS 0.84	14.7 \pm 1.5 a	10.4 \pm 0.4 a	9.8 \pm 0.4 a	11.8 \pm 1.6 a
	24°C PSS 0.79	12.7 \pm 0.7 b	10.4 \pm 0.3 a	9.1 \pm 0.7 a	10.9 \pm 1.0 b
	24°C PSS 0.84	12.2 \pm 0.8 b	10.2 \pm 0.4 a	9.9 \pm 0.4 a	10.7 \pm 0.9 b
Droge stofpercentage stengel (%)					
Alzamora	21°C PSS 0.79	13.4 \pm 0.9 a	15.7 \pm 1.9 a	21.1 \pm 4.8 a	16.4 \pm 5.2 a
	21°C PSS 0.84	13.5 \pm 0.5 a	14.8 \pm 0.9 a	21.3 \pm 1.4 a	15.6 \pm 1.8 a
	24°C PSS 0.79	12.7 \pm 0.8 a	15.4 \pm 0.8 a	20.9 \pm 1.7 a	15.8 \pm 2.1 a
	24°C PSS 0.84	12.6 \pm 0.3 a	14.5 \pm 1.0 a	20.6 \pm 1.8 a	15.1 \pm 2.1 a
Guintoli	21°C PSS 0.79	13.3 \pm 1.1 a	15.2 \pm 0.7 a	21.2 \pm 1.3 a	16.0 \pm 1.8 a
	21°C PSS 0.84	13.4 \pm 0.8 a	14.6 \pm 0.7 ab	20.9 \pm 1.7 ab	15.7 \pm 2.0 ab
	24°C PSS 0.79	10.9 \pm 0.4 b	14.8 \pm 0.4 a	18.8 \pm 1.8 bc	14.6 \pm 1.9 bc
	24°C PSS 0.84	12.1 \pm 0.9 ab	14.1 \pm 0.5 b	18.5 \pm 1.2 c	14.3 \pm 1.6 c