Chrysanten telen met minder elektriciteit en minder warmte

Deelverslag III van project LED licht met de zon mee

Anja Dieleman, Esther Meinen, Esmée de Graaf en Kirsten Leiss

Rapport WPR-1188

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Glastuinbouw Nederland
morgen groeit vandaag

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

KAS ALS ENERGIEBRON

Referaat
De glastuinbouw staat voor de uitdaging om het energiegebruik terug te dringen, om daarmee de CO_2 emissie te reduceren. In de belichte teelten is de transitie naar LED belichting daarin cruciaal. Sinds najaar 2021 zijn de prijzen van elektriciteit en gas sterk gestegen, hetgeen de urgentie van reductie in energiegebruik voor de sector nog versterkt. Om een rendabele chrysantenteelt mogelijk te maken zal het energiegebruik voor belichting en verwarming teruggebracht moeten worden. In dit project werden chrysanten Baltica en Pina colada geteeld bij twee temperaturen ("normale" en "lage" temperatuur van respectievelijk 18.5/18°C en 17.5/16.5°C (dag/nacht)) en drie lichtniveaus ("laag", "midden" en "hoog" licht met lichtsommen van 6.0, 7.5 en 9.1 mol/m^2/dag). De plantdichtheden en de periode lange dag werden aangepast aan de lichtniveaus. Het verlagen van de teelttemperatuur leidde tot een vertraging in de ontwikkeling van de bloemtakken. De uitgroeiduur werd niet beïnvloed door het lichtniveau, maar een lagere lichtintensiteit leidde tot een lager takgewicht. De productie uitgedrukt in kg versgewicht per m^2 nam sterk af met een lagere lichtintensiteit, evenredig met de afname in plantdichtheid. Er bleek geen effect te zijn van de behandelingen op de hoeveelheid tripsschade en de grootte van de *Botrytis* laesies. Deze resultaten laten zien dat het goed mogelijk is chrysanten te telen bij een lager energiegebruik met een goede takkwaliteit.

Abstract
Greenhouse horticulture faces the challenge of reducing energy consumption in order to reduce CO_2 emissions. In illuminated crops, the transition to LED lighting is crucial. Since the autumn of 2021, the prices of electricity and gas have risen sharply, which further reinforces the urgency of reducing energy consumption for the sector. To enable profitable chrysanthemum cultivation, energy consumption for lighting and heating will have to be reduced. In this project, chrysanthemum varieties Baltica and Pina colada were grown at two temperatures ("normal" and "low" temperatures of 18.5/18°C and 17.5/16.5°C respectively (day/night)) and three light levels ("high", " medium" and "low" light with light sums of 9.1, 7.5 and 6.0 mol/m^2/day). Plant densities and the long day period were adjusted to the light levels. Lowering the cultivation temperature led to a delay in the development of the flowering stems. The time to harvest was not affected by the light intensity, but a lower light intensity resulted in a lower stem weight. The production expressed in kg fresh weight per m^2 decreased considerably with a lower light intensity, proportional to the decrease in plant density. Bio-assays showed no effect of the treatments on the amount of thrips damage and the size of the *Botrytis* lesions. These results show that chrysanthemums can be grown at reduced energy consumption while maintaining a good stem quality.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1188
Projectnummer: 3742312600
Thema: Kwaliteit en productie
DOI: https://doi.org/10.18174/630581

Dit project/onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland in het kader van het programma Kas als Energiebron.

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.
Kamer van Koophandel nr.: 09098104
BTW nr.: NL 8113.83.696.B07
Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. 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 Stichting Wageningen Research.
Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

Samenvatting **5**

1 Inleiding **7**

1.1 Aanleiding 7
1.2 Achtergrondinformatie 7
1.3 Onderzoeksvragen en doelstelling 8

2 Materiaal en methodes **9**

2.1 Teelt en behandelingen 9
2.2 Behandelingen 10
2.3 Plantmetingen 11
2.3.1 Plantlengte en destructieve metingen 11
2.3.2 Biotoetsen 12

3 Resultaten **13**

3.1 Klimaat 13
3.1.1 Licht 13
3.1.2 Temperatuur, CO_2 en RV 13
3.2 Beginoogst 14
3.3 Teeltverloop 15
3.4 Taklengte 15
3.5 Destructieve eindoogst 17
3.5.1 Uitgroeiduur en ontwikkeling 17
3.5.2 Takgewichten en productie per m^2 21
3.5.3 Stevigheid van de tak en bladoppervlakte 23
3.5.4 Lichtbenuttingsefficiëntie 25
3.6 Plantweerbaarheid 26
3.6.1 Trips 26
3.6.2 Botrytis 27

4 Conclusies en aanbevelingen **31**

5 Referenties **35**

Bijlage 1 Takgewichten **37**

Samenvatting

De glastuinbouw is een belangrijke sector die jaarrond consumenten voorziet van vers en gezond voedsel en sierteeltgewassen om de kwaliteit van leven te verhogen. De sector staat voor de uitdaging om het energiegebruik terug te dringen, om daarmee de CO_2 emissie te reduceren. Om jaarrond te kunnen produceren in een regio waar in de winter lichtintensiteiten laag zijn, is assimilatiebelichting nodig. In de afgelopen jaren is de transitie van SON-T belichting naar LED belichting in gang gezet. Een belangrijke reden voor deze transitie is de hoge efficiëntie van LEDs in het omzetten van elektriciteit in licht (tot 3.6-3.7 µmol/J) in vergelijking tot SON-T (ca. 1.8-1.9 µmol/J). Daarnaast kunnen LEDs het lichtspectrum afgeven dat het meest geschikt is voor het gewas, ras en gewasstadium en zijn ze snel aan en uit te schakelen en te dimmen. Mede vanwege bovenstaande voordelen van LED belichting, gaat de ontwikkeling van belichting met SON-T via hybride belichtingssystemen (SON-T + LED) naar full-LED in chrysant snel.

Sinds najaar 2021 zijn de prijzen van elektriciteit en gas sterk gestegen, hetgeen de urgentie van reductie in energiegebruik voor de sector nog heeft versterkt. Om een rendabele chrysantenteelt mogelijk te maken zal het energiegebruik voor belichting en verwarming teruggebracht moeten worden. In dit project is onderzocht hoe de teelt bij lagere temperatuur en lagere lichtniveaus ingevuld kan worden, en op welke manier de teelt met andere maatregelen (bijvoorbeeld plantdichtheid en duur van de lange dag periode) zodanig gestuurd kan worden dat de takkwaliteit op het gewenste niveau blijft.

Chrysanten cultivars Baltica en Pina colada werden in twee geconditioneerde kascompartimenten geteeld bij twee temperaturen ("normale" en "lage" temperatuur van respectievelijk 18.5/18°C en 17.5/16.5°C (dag/nacht)) en drie lichtniveaus ("laag", "midden" en "hoog" licht met lichtsommen van 6.0, 7.5 en 9.1 mol/m^2/dag). De plantdichtheden en de periode lange dag werden aangepast aan de lichtniveaus. De plantdichtheden voor de laag, midden en hoog licht behandeling waren 40, 48 en 56 planten/m^2 en de periode lange dag werd met 1 en 3 dagen verlengd bij midden en laag licht ten opzichte van hoog licht. Tijdens de teelt werd de strekking van de planten gevolgd, en werd de plantweerbaarheid tegen *Botrytis* en trips bepaald via biotoetsen. Aan het einde van de teelt werd de reactietijd beoordeeld en werden planten destructief geoogst waarbij takkwaliteit, aantal bloemen en gewichten per tak en per m^2 werden bepaald.

Het verlagen van de teelttemperatuur leidde tot een vertraging in de ontwikkeling van de bloemtakken. Bij Baltica was de reactietijd (teeltduur in aantal dagen korte dag tot de takken geoogst konden worden) 2 tot 3 dagen langer bij een lagere temperatuur, terwijl de vertraging bij Pina colada vier dagen was (op een teeltduur van 61 dagen). De reactietijd werd niet beïnvloed door het lichtniveau. Het lichtniveau had wel effect op het takgewicht: een lagere lichtintensiteit leidde tot een lager takgewicht, maar voldeed wel aan de kwaliteitsnorm. Het effect van een lagere lichtintensiteit werd dus niet volledig gecompenseerd door de lagere plantdichtheid. De productie uitgedrukt in kg versgewicht per m^2 nam sterk af met een lagere lichtintensiteit, evenredig met de afname in plantdichtheid. Het takgewicht werd niet beïnvloed door de temperatuur.

De effecten van de licht- en temperatuurbehandelingen op de weerbaarheid van het gewas tegen *Botrytis* en trips werd bepaald via biotoetsen. Er bleek geen effect te zijn van de behandelingen op de hoeveelheid tripsschade en de grootte van de *Botrytis* laesies.

De resultaten van deze proef laten zien dat taklengte, takgewicht, takopbouw en aantal bloemen bij de aangelegde licht- en temperatuurbehandelingen goed was. Om dit mogelijk te maken is de plantdichtheid aangepast aan de lichtniveaus, hetgeen betekent dat bij lage lichtniveaus de productie per m^2 lager was. De behandelingen met laag en midden licht leverden een besparing aan elektriciteit voor belichting op van respectievelijk 33 en 18% ten opzichte van de behandeling met hoog licht. De verlaging van de temperatuur met 1.3°C houdt een ingeschatte energiebesparing van ruim 10% in. Deze resultaten laten zien dat het goed mogelijk is chrysanten te telen bij een lager energiegebruik met een goede takkwaliteit.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De glastuinbouw is een belangrijke sector die jaarrond consumenten voorziet van vers en gezond voedsel en sierteeltgewassen om de kwaliteit van leven te verhogen. De sector staat voor de uitdaging om het energiegebruik terug te dringen, om daarmee de CO_2 emissie te reduceren. Om jaarrond te kunnen produceren in een regio waar in de winter lichtintensiteiten laag zijn, is assimilatiebelichting nodig. In de afgelopen jaren is de transitie van SON-T belichting naar LED belichting in gang gezet. Een belangrijke reden voor deze transitie is de hoge efficiëntie van LEDs in het omzetten van elektriciteit in licht (tot 3.6-3.7 µmol/J) in vergelijking tot SON-T (ca. 1.8-1.9 µmol/J). Daarnaast kunnen LEDs het lichtspectrum afgeven dat het meest geschikt is voor het gewas, ras en gewasstadium en zijn ze snel aan en uit te schakelen en te dimmen. Mede vanwege bovenstaande voordelen van LED belichting, gaat de ontwikkeling van belichting met SON-T via hybride belichtingssystemen (SON-T + LED) naar full-LED in chrysant snel.

Sinds najaar 2021 is er de nodige onrust op de energiemarkt wereldwijd, hetgeen geleid heeft tot een sterke toename in de prijzen van elektriciteit en gas. Gezien deze energiecrises is de vraag of en hoe er nog chrysantenteelt in de wintermaanden mogelijk is. Daarvoor zal het energiegebruik voor zowel belichting als voor verwarming flink teruggebracht moeten worden. Dat betekent telen bij lagere temperaturen, met een lagere intensiteit van de belichting. De vraag hierbij is hoe ver er terug gegaan kan worden in lichtintensiteit en temperatuur, en op welke manier er met andere maatregelen (bijvoorbeeld plantdichtheid en duur van de lange dag periode) er dan gezorgd moet worden dat lengte en takgewicht op het gewenste niveau blijven. Het is duidelijk dat dit een systeemverandering in de teelt van chrysant is: er moet een nieuwe teeltstrategie ontwikkeld worden waarbij geteeld wordt bij een laag energiegebruik voor belichting en verwarming. Dit zal gevolgen hebben voor de productie, te weten het aantal takken dat per m^2 geproduceerd kan worden, maar mag maar beperkt gevolgen hebben voor de kwaliteit van de bloemtakken, want gewicht en taklengte moeten aan de minimale vereisten (blijven) voldoen om de afzet te garanderen.

Dat betekent dat er een systeemaanpassing nodig is, waarbij licht, temperatuur, plantdichtheid en eventueel de duur van de lange dag op elkaar moeten worden afgestemd. Dat zou onderzoek kunnen betekenen met heel veel behandelingen: verschillende lichtniveaus maal verschillende temperaturen maal verschillende plantdichtheden. Dit zou onuitvoerbaar en onbetaalbaar worden. Dat betekent dat er gezocht is naar een aanpak om het systeem aan te passen op een manier waarbij de lichtbenuttingsefficiëntie constant gehouden kan worden. Dat betekent dat we de plantdichtheid hebben afgestemd op het lichtniveau, en dat bij twee verschillende temperaturen. Per teelttemperatuur wordt bekeken hoe lang de lange dag periode moet duren om een goede plantontwikkeling te waarborgen.

1.2 Achtergrondinformatie

Chrysant is het grootste sierteeltgewas in de Nederlandse glastuinbouw, met een areaal van bijna 500 ha in 2022. De teelt van chrysanten start met het planten van (bewortelde) stekken, die eerste ca. 10 dagen in een lange dag periode geteeld worden, met een daglengte van ca. 20 uur, in de vegetatieve fase (Spaargaren, 2002). Chrysanten zijn korte dag planten, en hebben dus een donkerperiode van tenminste 12 uur nodig om bloemen aan te leggen. Na de lange dag fase worden de planten geteeld in een korte dag, met een daglengte van minder dan 12 uur, om bloemaanleg te stimuleren. Afhankelijk van het ras duurt deze periode ca. 6 tot 10 weken. Om de hoeveelheid zonlicht aan te vullen en om ook in de wintermaanden de lange dag te kunnen realiseren, worden chrysanten belicht. De plantdichtheid wordt aangepast aan de omstandigheden, en kan uiteenlopen van 40 tot 70 planten/m^2, afhankelijk van de hoeveelheid licht en van het ras.

In het algemeen leidt een hogere lichtintensiteit in de teelt van chrysant tot een hoger vers- en drooggewicht van de plant en een versnelling van de teelt (Cockshull and Hughes, 1971). Bij een hogere lichtintensiteit wordt in de praktijk geteeld bij een hogere plantdichtheid, zodat de hoeveelheid licht per plant vergelijkbaar blijft, en daarmee het effect op takgewicht ook. De optimale teelttemperatuur voor chrysanten ligt tussen 17 en 22°C. Bij hogere temperaturen is de bladafsplitsingssnelheid hoger, en is de uitgroeiduur van de bloemtakken korter (Karlsson *et al.* 1989; van der Ploeg en Heuvelink, 2006). Dat betekent dat de uitdaging ligt in het afstemmen van lichtniveau, temperatuur, plantdichtheid en aantal dagen korte dag periode om met een lagere energie input toch bloemtakken te telen met de gewenste kwaliteit.

1.3 Onderzoeksvragen en doelstelling

Dit onderzoek heeft als doelstelling te komen tot een energiezuinige teeltstrategie voor chrysant door het afstemmen van belichting, verwarming en teeltbeslissingen zoals het aantal dagen korte dag en de plantdichtheid, op basis van de lichtbenuttingsefficiëntie.

De onderzoeksvragen die in dit project beantwoord moeten worden, zijn:
- Wat is het effect van het verlagen van de temperatuur op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
- Wat is het effect van het verlagen van de lichtsom op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
- Wat is het effect van een combinatie van lage temperaturen, lage lichtniveaus met aangepaste plantdichtheid en periode korte dag op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
- Wat is het effect van een combinatie van lage temperaturen, lage lichtniveaus met aangepaste plantdichtheid en periode korte dag op plantweerbaarheid tegen *Botrytis* en trips?
- Is het mogelijk temperatuur, lichtniveau en teeltbeslissingen zoals het aantal dagen korte dag en de plantdichtheid zodanig op elkaar af te stemmen dat een vergelijkbare plantkwaliteit verkregen wordt?

2 Materiaal en methodes

2.1 Teelt en behandelingen

Chrysanten cultivars "Baltica" en "Pina colada" werden geteeld in twee kascompartimenten van 24 m^2 met ieder drie teelttafels van 1.4 x 3.3 m, onder full-LED. Deze kascompartimenten hebben airconditioning, dus daar wordt de ingestelde temperatuur gerealiseerd. Boven iedere tafel hingen dynamische LED modules (spectrum instelbare Embrace modules, Oreon) waarmee de gewenste lichtintensiteiten en lichtspectra gerealiseerd kunnen worden. Er werd geteeld onder winterse omstandigheden, waarbij gestreefd werd naar 90% LED licht en 10% zonlicht in de totale lichtsom per dag.

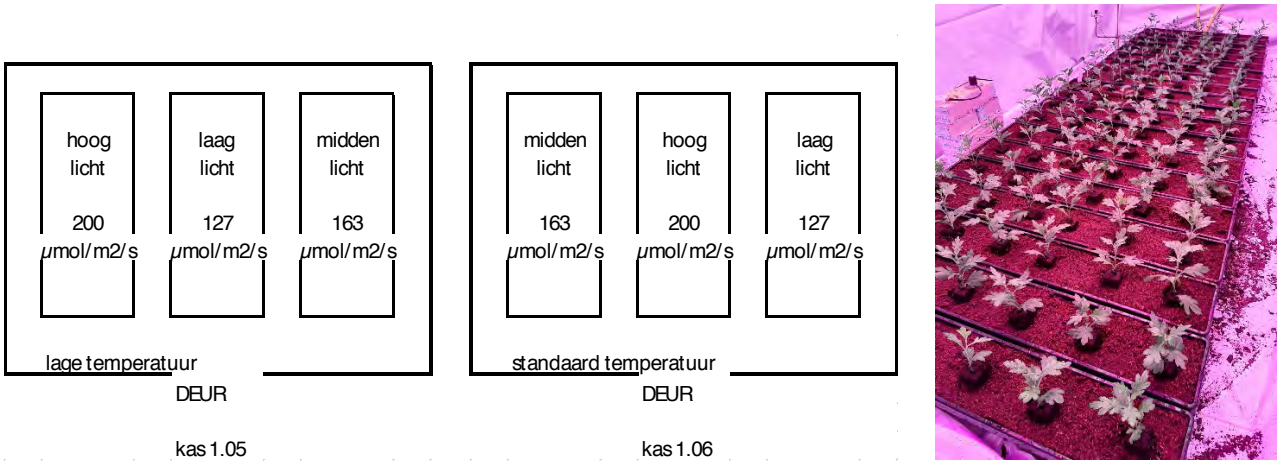
De behandelingen en teeltstrategie zijn voorafgaand aan de proef besproken met de begeleidingscommissie. Het experiment werd regelmatig bezocht door (een delegatie van) de begeleidingscommissie, en zij adviseerden over teeltmaatregelen zoals het moment van overgang naar korte dag, gebruik en dosering van remstoffen en het moment van de eindoogst.

Tabel 2.1
Overzicht gegevens experiment chrysant.

Gewas	Chrysant
Rassen	Baltica (Deliflor) en Pina colada (Dümmen Orange)
Plantdatum (start experiment)	Stekken geplant in de kas op 12 oktober 2022.
Plantdichtheid	Verschillend per behandeling, zie paragraaf 2.2
Teeltstrategie	Nabootsen winterse condities. Periode lange dag (duur afhankelijk van temperatuurbehandeling en lichtbehandeling), gevolgd door korte dag. Planten werden geoogst als ze oogstrijp waren (gemiddeld 5-7 open bloemen).
Substraat en watergift	Bakken met substraat (turfstrooisel 80%, veenmosveen 40%, cocopeat 30%). Aan het begin watergift via broezen daarna met eb en vloed systeem.
Hoogte van het lampenplafond	2 m
Lichtintensiteit	Lichtniveau gemeten op 1 m onder de lampen. Verschillend per behandeling (zie paragraaf 2.2)
Lichtspectrum	5% blauw (400-500 nm), 5% groen (500-600 nm), 90% rood (600-700 nm) licht met einde van de dag gedurende 20 minuten 10 µmol/m^2/s verrood licht
Daglengte	LD: daglengte 20 uur (22:00-18:00) met daarna nog 20 min 10 µmol/m^2/s verrood licht KD: daglengte 11:45 uur (6:30-18:15) met daarna nog 20 min 10 µmol/m^2/s verrood licht
Lichtbehandelingen	Zie paragraaf 2.2. De tafels zijn afgeschermd met plastic om vermenging van de lichtbehandelingen te voorkomen.
Temperatuurinstellingen	Referentiebehandeling: 18.5°C dag, 18°C nacht Behandeling met lage temperatuur: 17.5°C dag, 16.5°C nacht
Instellingen relatieve luchtvochtigheid	85 % RV (dag/nacht) via verneveling, raam opening en koeling.
Schermstrategie	Donkerdoek gesloten van 18:00-9:00, gaat in 3 stappen open en dicht tussen 9:00-10:00 en 17:00-18:00
CO_2 concentratie	600 ppm als er belicht wordt, niet doseren als de lampen uit staan
Einde experiment	De eindoogst werd gedaan tussen 21 en 29 december 2022

De teeltstrategie hield ook in dat gedurende de teelt naar behoefte werd geremd. Dit mocht verschillen per behandeling.

De chrysanten werden in bakken (1 meter lang en 20 cm breed) op tafels geteeld, met per tafel een PAR/FAR sensor om de lichtintensiteit te controleren. In de voorste 10 bakken werd Pina colada geteeld, in de achterste 10 bakken Baltica.



Figuur 2.1 *Schematisch overzicht van de behandelingen over de twee kascompartimenten en een overzicht van de chrysanten in bakken op een van de tafels. Voorste bakken zijn Pina colada, achterste bakken zijn Baltica. Rondom de tafels is plastic gehangen om lichtvervuiling te voorkomen.*

2.2 Behandelingen

In dit experiment werden de volgende behandelingen aangehouden:

Temperatuur: Er werd geteeld bij twee temperatuurregimes (één kas per temperatuurbehandeling):
1. Referentie: 18.5°C dag, 18°C nacht.
2. Lagere temperatuur: 17.5°C dag, 16.5°C nacht.

Dagelijkse lichtsom: Er werd geteeld bij drie lichtniveaus (één lichtbehandeling per teelttafel). De streefwaardes voor de dagelijkse PAR lichtsom waren:
1. 9 mol/m^2/dag (referentie, vergelijkbaar met spectrumproeven 2021 en 2022, en praktijksituatie voor de energiecrisis).
2. 7.5 mol/m^2/dag.
3. 6 mol/m^2/dag (laag licht omstandigheden).

Omdat de kascompartimenten een lage lichttransmissie hebben (vanwege de constructiedelen, het lampenplafond en het plastic rondom de tafels) en de proef in de wintermaanden werd uitgevoerd, zal er niet meer dan ca. 0.8 mol zonlicht per m^2 per dag op de tafels komen. Dat betekent dat het resterende licht via de lampen gegeven moet worden. Uitgaande van een daglengte van 11:45 uur in de KD, betekent dit dat de volgende lichtintensiteiten met de LEDs moeten worden gegeven:
1. 200 µmol/m^2/s (DLI van de lampen is 8.2, van de zon is 0.8, totale DLI is 9 mol/m^2/dag).
2. 163 µmol/m^2/s (DLI van de lampen is 6.7, van de zon is 0.8, totale DLI is 7.5 mol/m^2/dag).
3. 127 µmol/m^2/s (DLI van de lampen is 5.2, van de zon is 0.8, totale DLI is 6 mol/m^2/dag).

Plantdichtheid. Om een goede takkwaliteit in de verschillende behandelingen te kunnen halen, moet de plantdichtheid worden aangepast aan het lichtniveau. Het uitgangspunt was de plantdichtheid zodanig aan te passen aan het lichtniveau er een vergelijkbare lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) gerealiseerd zou kunnen worden. Er is daarom geteeld bij de volgende plantdichtheden, die een compromis waren tussen volledig aanpassen van de plantdichtheid aan de lichtsom en een minimale plantdichtheid die economisch nog rendabel zou kunnen zijn:

1. Lichtintensiteit: 200 µmol/m^2/s – plantdichtheid 56 planten/m^2.
2. Lichtintensiteit: 163 µmol/m^2/s – plantdichtheid 48 planten/m^2.
3. Lichtintensiteit: 127 µmol/m^2/s – plantdichtheid 40 planten/m^2.

Een samenvatting van deze behandelingen staat in onderstaande tabel.

Tabel 2.2

Overzicht van de behandelingen voor de rassen Baltica en Pina colada.

Temperatuur	Temperatuur (d/n°C)	Licht	DLI (mol/m^2/dag)	Licht intensiteit LED (µmol/m^2/s	Plantdichheid (pl/m^2)
Normaal	18.5/18	Hoog (HL)	9	200	56
		Midden (ML)	7.5	163	48
		Laag (LL)	6	127	40
Laag	17.5/16.5	Hoog (HL)	9	200	56
		Midden (ML)	7.5	163	48
		Laag (LL)	6	127	40

Periode lange dag. De temperatuur en het lichtniveau hebben effect op de ontwikkelingssnelheid van het gewas. Dat betekent dat de duur van de korte dag periode aangepast moest worden aan de behandelingen. De behandelingen zijn als volgt naar de korte dag gegaan:

- Behandelingen met hoog licht: nacht van woensdag 19 op donderdag 20 oktober is de eerste lange nacht.
- Behandelingen met "midden" licht": nacht van donderdag 20 oktober op vrijdag 21 oktober is de eerste lange nacht.
- Behandelingen met laag licht": nacht van zaterdag 22 op zondag 23 oktober is de eerste lange nacht.

Remstrategie. Er werd geremd naar behoefte van het gewas. Dat hield in dat alle behandelingen volvelds met 1 g/L daminozide geremd zijn, 19 dagen na start van de korte dag periode van iedere afzonderlijke behandeling (dus tussen 7 en 10 november 2022). Ongeveer 4 dagen eerder waren de langste planten in de behandelingen selectief geremd (met 0.5 g/L daminozide voor de behandelingen met hoog licht en met 0.3 g/L voor de behandelingen met midden of laag licht). Op 16 november zijn de laatste behandelingen nog selectief geremd met 0.2 g/L daminozide. De planten van Baltica in de twee behandelingen met hoog licht zijn per ongeluk twee maal volvelds geremd (4 en 7 november 2022).

2.3 Plantmetingen

2.3.1 Plantlengte en destructieve metingen

Bij de start van het experiment (dag van planten) werd een destructieve beginoogst gedaan, waarbij van 15 planten van Baltica en Pina colada plantlengte, aantal bladeren, bladoppervlakte en drooggewichten van bladeren en stengels worden gemeten.

Tijdens de proef werd twee keer per week de plantlengte per behandeling per ras te meten.

Het einde van de teelt werd per behandeling bepaald door het moment waarop een tak 5-7 open bloemen had. Op dat moment werden de volgende kenmerken gemeten (per tak): lengte, takgewicht (vers- en droog), aantal internodiën/bladeren en aantal bloemen, en werd per ras en behandeling de uitgroeiduur bepaald. Op basis van de oogstdata werd de lichtbenuttingsefficiëntie per ras per behandeling berekend.

2.3.2 Biotoetsen

De invloed van de aangelegde licht- en temperatuurbehandelingen op de plantweerbaarheid tegen trips en *Botrytis* werd bepaald door 7 weken na planten van 8 planten per ras per behandeling van elke plant het 5^{e} en 6^{e} blad van boven te nemen voor de biotoetsen trips en *Botrytis*.

Voor de biotoets trips werd ieder blad op een laag 1% water agar gelegd in een 280 cc plastic bakje met het steeltje in de agar tegen uitdroging. Per bakje werden vijf volwassen Californische tripsen (*Frankliniella occidentalis*) op het blad geplaatst en het bakje werd afgesloten met een deksel met gaas. De bakjes werden voor 6 dagen bij 20°C geplaatst. De bladschade aan de bovenkant van het blad werd in aantal mm^{2} geteld.

Voor de biotoets *Botrytis* werd het toegewezen blad op een laag 1% water agar gelegd in een petrischaal met de onderkant van het deelblad op de agar. *Botrytis* werd voor 10 dagen op Potato Dextrose Agar (PDA) opgekweekt bij 22°C. De kweek werd hierna voor minstens 1 nacht geïncubeerd onder UV-licht om spoorvorming te stimuleren. 10^{6} sporen/mL werden gedurende 2 uur bij kamertemperatuur weggezet, hierna werden 2 druppels van 2 µL op de bladeren gepipetteerd (links en rechts van de hoofdnerf, kleine nerven vermijdend). De petrischalen werden bij 20°C geplaatst en na 3 en 6 dagen postinfectie (dpi) werden de ontstane laesies aan beide kanten op het blad opgemeten in mm.

3 Resultaten

3.1 Klimaat

3.1.1 Licht

De planten werden belicht met LED lampen met een intensiteit variërend tussen 127 en 200 µmol/m^2/s en kregen daarnaast nog een lage intensiteit zonlicht (vanwege lage transmissie kas, lampenplafond en plastic). Het aandeel zonlicht in de totale lichtsom was 7% voor de behandelingen met de hoogste belichtingsintensiteit, 8% voor midden licht en 10% voor de laagste belichtingsintensiteit. De totale hoeveelheid PAR licht tijdens de teelt verschilde per behandeling en per ras vanwege de verschillen in reactietijd (Tabel 3.1).

Tabel 3.1
Som van LED licht en zonlicht (mol/m^2) van het moment van planten tot de eindoogst voor Baltica en Pina colada geteeld bij 2 teelttemperaturen en 3 lichtbehandelingen (HL=hoog licht (200 µmol/m^2/s), ML=midden licht (163 µmol/m^2/s), LL=laag licht (127 µmol/m^2/s)).

Cultivar	Temperatuur	Licht	PAR som LD (mol/m^2)	PAR som KD (mol/m^2)	PAR som totaal (mol/m^2)
Baltica	Normaal	HL	121	585	705
		ML	112	473	585
		LL	112	388	500
	Laag	HL	121	621	742
		ML	112	503	615
		LL	112	400	512
Pina colada	Normaal	HL	121	566	687
		ML	112	458	570
		LL	112	365	476
	Laag	HL	121	585	705
		ML	112	473	585
		LL	112	388	500

De streefwaardes voor de dagelijkse lichtsom (DLI, daily light integral) voor de korte dag periode waren respectievelijk 6.0, 7.5 en 9.0 mol/m^2/dag voor de behandelingen laag, midden en hoog licht. De precieze realisatie ervan is afhankelijk van de zon, omdat de lichtsom van de lampen gestuurd kon worden. Uiteindelijk bleken de realisaties goed de streefwaardes te volgen: de gerealiseerde gemiddelde dagelijkse lichtsommen in de korte dag periode waren respectievelijk 6.0, 7.5 en 9.1 mol/m^2/dag voor de behandelingen laag, midden en hoog licht.

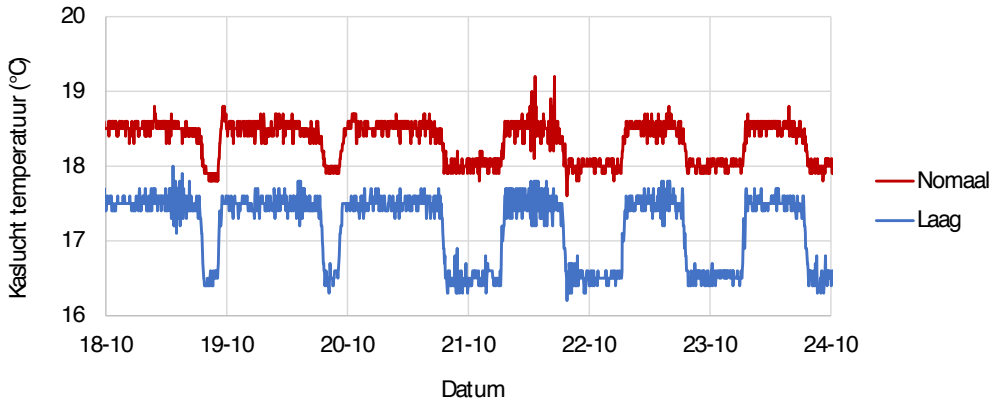
3.1.2 Temperatuur, CO_2 en RV

De temperatuurbehandelingen bestonden uit een "normale" teelttemperatuur van 18.5/18.0°C (dag/nacht) en een "lage" temperatuur van 17.5/16.5°C (dag/nacht). Deze temperaturen zijn goed gerealiseerd met etmaaltemperaturen van gemiddeld 18.3°C en 17.0°C voor de behandelingen met normale temperatuur en lage temperatuur (Tabel 3.2). De gecombineerde koeling en verwarming in de kascompartimenten zorgde voor een constant temperatuurpatroon gedurende de dag met af en toe wat kleine fluctuaties door de regeling (Figuur 3.1).

Tabel 3.2

Gerealiseerd klimaat in de twee temperatuurbehandelingen tijdens de lange dag periode (12-20 oktober 2022) en korte dag periode (21 oktober-28 dec 2022). Normaal = ingestelde temperatuur van 18.5/18.0°C (dag/nacht) en Laag = ingestelde temperatuur van 17.5/16.5°C (dag/nacht)

	Lange dag periode		Korte dag periode		Hele teelt	
Temperatuur behandeling	Normaal	Laag	Normaal	Laag	Normaal	Laag
Temperatuur gemiddeld (°C)	18.4	17.4	18.3	17.0	18.3	17.0
Temperatuur lichtperiode (°C)	18.5	17.5	18.5	17.4	18.5	17.4
Temperatuur donkerperiode (°C)	18.1	16.7	18.1	16.5	18.1	16.6
CO_2 lichtperiode (ppm)	596	599	588	585	589	587
RV lichtperiode (%)	87	91	84	87	84	87
RV donkerperiode (%)	91	96	83	87	84	88



Figuur 3.1 *Het verloop van de temperatuur tijdens de lange dag periode (12-20 oktober 2022) en de korte dag periode (vanaf 21 oktober) voor beide temperatuurbehandelingen (normale temperatuur en lage temperatuur).*

3.2 Beginoogst

Op de plantdatum werden 20 stekken van Baltica en 20 van Pina colada destructief geoogst. De planten waren ongeveer 10 cm lang met ca. 7 bladeren (Tabel 3.3).

Tabel 3.3

Plantlengte (cm), aantal bladeren groter dan twee centimeter, bladoppervlakte en drooggewichten van bladeren, stengel en totale plant van Baltica en Pina colada bij de destructieve startoogst. Gemiddelden ± de standaardafwijking van het gemiddelde.

Ras	Plantlengte (cm)	Aantal bladeren (-)	Bladopper-vlakte (cm^2)	Drooggewicht stengel (g)	Drooggewicht bladeren (g)	Drooggewicht plant (g)
Baltica	10.3 ± 0.4	7.1 ± 0.2	53 ± 2	0.14 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.19 ± 0.01
Pina colada	10.8 ± 0.2	7.6 ± 0.2	67 ± 3	0.15 ± 0.01	0.06 ± 0.00	0.21 ± 0.01

3.3 Teeltverloop

De start van de teelt was in alle behandelingen goed, de planten wortelden goed in. Aan het begin van de teelt waren er nog geen verschillen in strekking, maar leken de planten in de behandelingen met laag licht wel wat ieler dan bij hogere lichtniveaus (Foto 3.1). De ontwikkelingssnelheid gedurende de teelt lag in de behandelingen met hogere temperaturen hoger dan in het kascompartiment met lager temperatuur: de bloemknoppen waren eerder zichtbaar. Met name Baltica had in de behandelingen met laag licht veel dunnere stengels en oogde minder vol. De verschillen tussen lichtbehandelingen waren bij Pina colada op het oog minder groot. In het algemeen was de variatie tussen planten groter bij Baltica bij lagere temperaturen en bleef de groei achter bij de behandelingen met een iets hogere teelttemperatuur. Pina colada leek minder last te hebben van een lagere temperatuur, en bleef ook daar een goede groei houden en een stevige tak ontwikkelen. Gedurende de teelt was de inschatting dat er 6-7 dagen tussen de snelste en de traagste behandeling zal zitten.

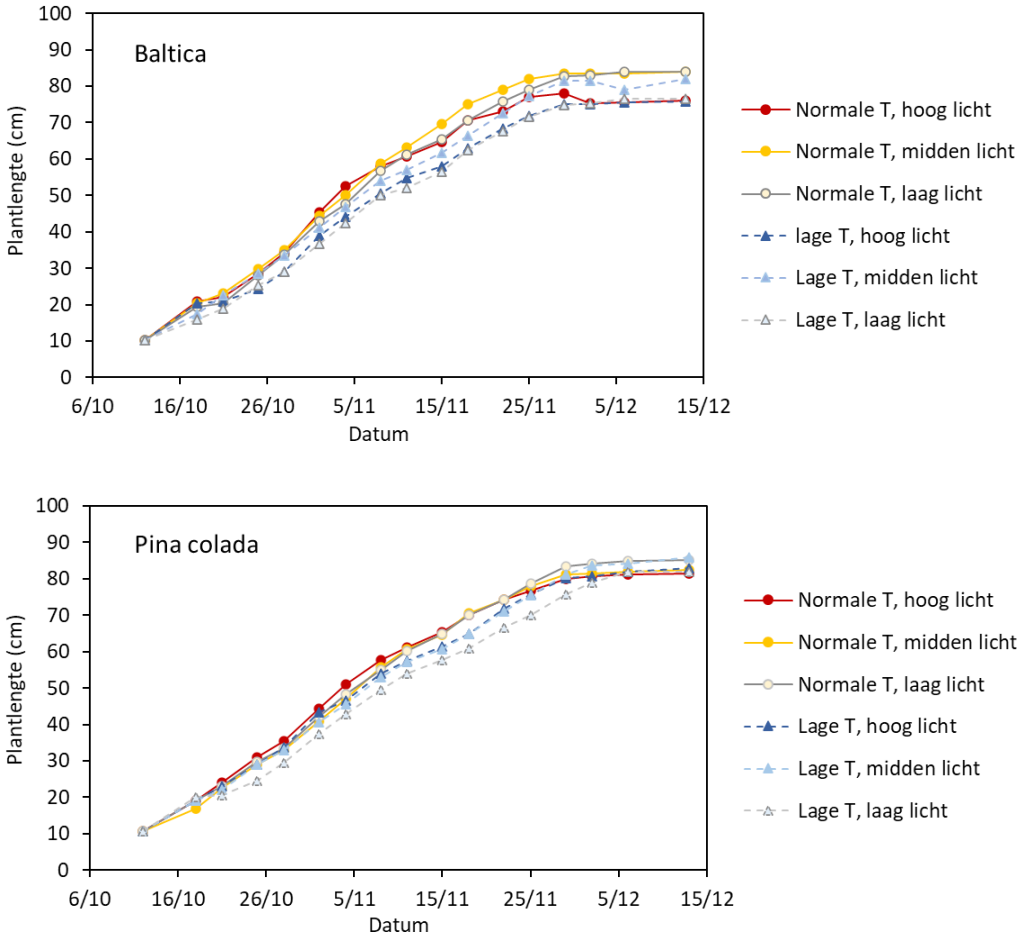
Normale temperatuur en hoog licht

Normale temperatuur en laag licht

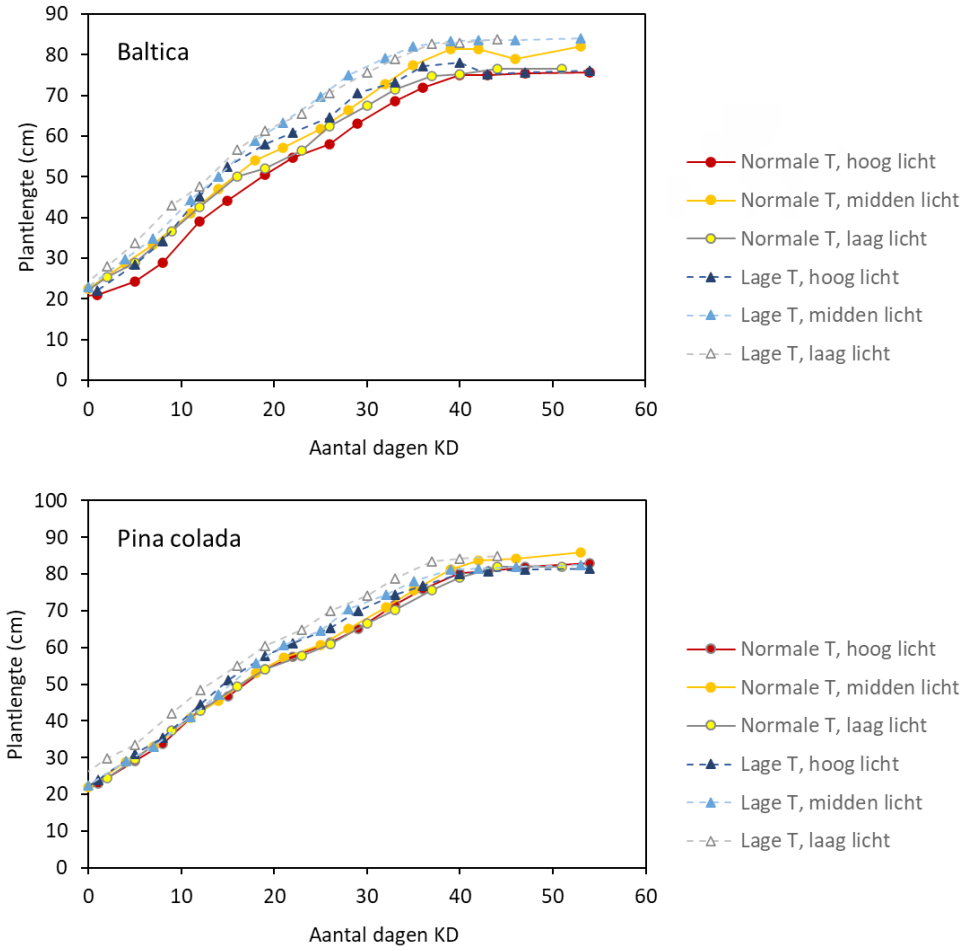
Foto 3.1 *Pina colada geteeld bij 18/18.5°C en hoog licht (links) en laag licht (rechts) op 16 november 2022.*

3.4 Taklengte

Gedurende de teelt werd twee maal per week de plantlengte per ras per behandeling gemeten. In het begin van de teelt strekten de planten in de behandeling met lage temperatuur minder snel dan de planten die bij een hogere temperatuur werden geteeld, maar dat verschil verdween in de loop van de teelt (Figuur 3.2). Er is gemeten tot een week voordat de eerste behandelingen werden geoogst. De taklengte van Pina colada verschilde toen nauwelijks meer tussen de behandelingen. Bij Baltica was de taklengte korter voor de behandelingen bij laag licht, en de behandeling hoog licht, normale temperatuur. Echter, deze was per ongeluk twee maal geremd (op 4 en 7 november). Wanneer de taklengte wordt uitgezet tegen het aantal dagen korte dag (Figuur 3.3) is te zien dat de planten bij een lage temperatuur (en lage lichtintensiteit) minder snel strekken dan de planten bij de normale teelttemperatuur.



Figuur 3.2 *Verloop van de plantlengte in de tijd van Baltica en Pina colada tijdens de teelt tot 2 weken voor de eindoogst voor de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag).*



Figuur 3.3 *Verloop van de plantlengte uitgezet tegen het aantal dagen van de korte dag van Baltica en Pina colada tijdens de teelt tot 2 weken voor de eindoogst voor de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag).*

3.5 Destructieve eindoogst

3.5.1 Uitgroeiduur en ontwikkeling

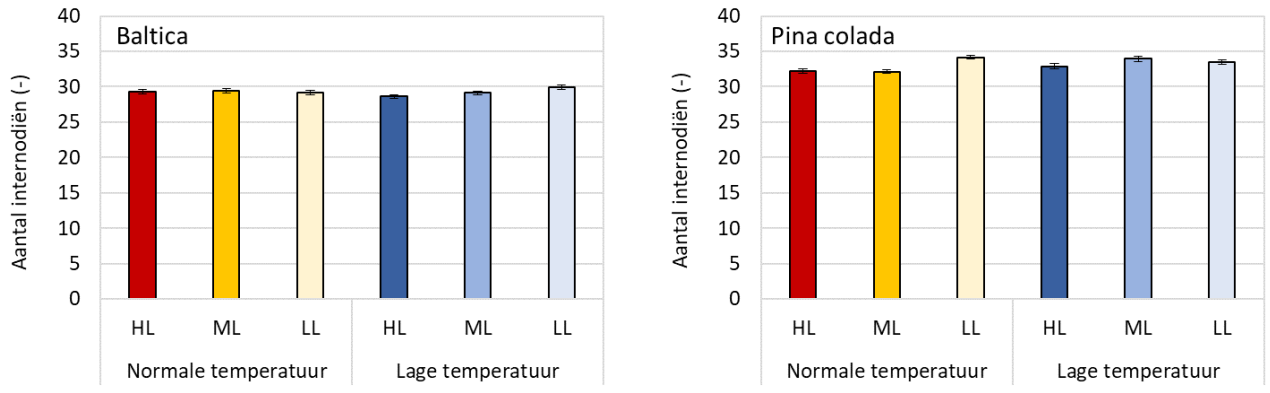
De eindoogst vond plaats tussen 21 en 29 december 2022. Er werd per ras, per behandeling geoogst als de vijf bovenste bloemen open waren. De behandelingen met hoog licht waren het eerst oogstbaar, de behandeling met lage temperatuur, laag licht als laatste (Tabel 3.4).

Tabel 3.4

Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog (HL), midden (ML), laag (LL), lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de uitgroeiduur (aantal dagen tussen planten en oogst, en tussen start van de korte dag en oogst) voor de rassen Baltica en Pina colada.

Cultivar	Temperatuur	Licht	Aantal dagen lange dag	Aantal dagen korte dag tot oogstbare tak	Totale teeltduur (dagen)
Baltica	Normaal	HL	8	64	72
		ML	9	65	74
		LL	11	65	76
	Laag	HL	8	67	75
		ML	9	67	76
		LL	11	67	78
Pina colada	Normaal	HL	8	62	70
		ML	9	61	70
		LL	11	61	72
	Laag	HL	8	65	73
		ML	9	65	74
		LL	11	65	76

In het begin van de teelt is de periode lange dag voor de verschillende behandelingen bepaald op basis van de stand van het gewas. Idealiter zou de periode lange dag zo gekozen moeten zijn dat het aantal internodiën (en dus bladeren) dat gevormd zou zijn, vergelijkbaar zou zijn tussen de behandelingen. Bij de destructieve eindoogst is het aantal internodiën per bloemtak geteld. Bij Baltica is het aantal internodiën in de behandelingen met lage temperatuur heel vergelijkbaar (Figuur 3.4). In de behandelingen met een normale temperatuur heeft de behandeling met laag licht gemiddeld 29.9 bladeren, en de behandeling met hoog licht 28.6, een verschil van ruim een blad per tak. Dat betekent dat het aantal dagen lange dag (8, 9 en 11 respectievelijk voor hoog, midden en laag licht) goed gekozen waren voor Baltica. Bij Pina colada hebben de behandelingen met laag licht bij normale temperatuur twee bladeren meer gevormd. Bij de behandelingen met lage temperaturen zijn de verschillen in aantallen bladeren aan de bloemtak tussen de lichtniveaus beperkt tot 1 blad, hetgeen betekent dat ook hier het aantal dagen lange dag goed gekozen is.



Figuur 3.4 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het aantal internodiën aan de bloemtakken van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

Bloemtakken werden geoogst in de periode 21 tot 29 december 2022. Op 23 december werden overzichtsfoto's gemaakt van bloemtakken uit alle behandelingen van Baltica (Figuur 3.5) en Pina colada (Figuur 3.6). Op deze foto's is duidelijk te zien dat met name in Baltica de takken die bij lagere teelttemperaturen ontwikkeld zijn ieler zijn dan bij normale teelttemperatuur. Verder is op de foto's goed te zien dat de kwaliteit van het blad onder aan de takken goed is.

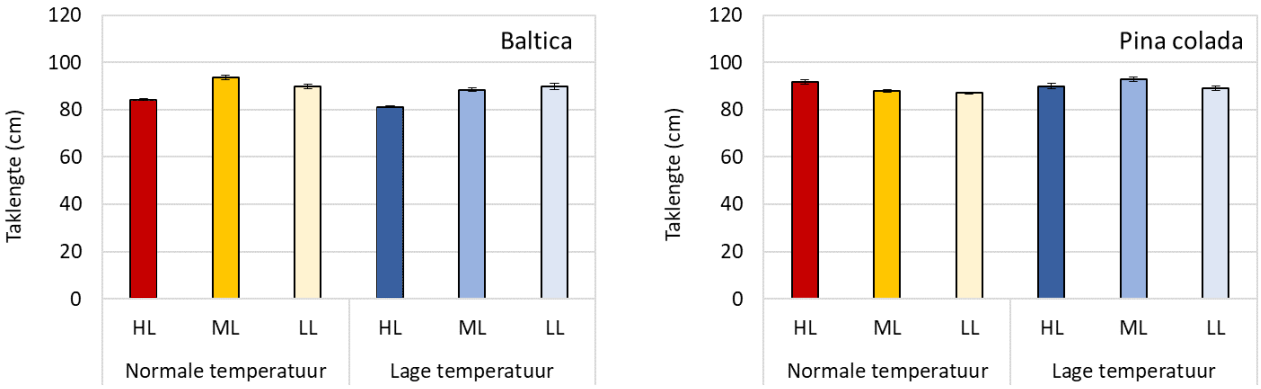
HL ML LL HL ML HL
Normale temperatuur Lage temperatuur

Figuur 3.5 *Overzicht van de bloemtakken van Baltica op 23 december 2022. Van links naar rechts: normale temperatuur, hoog, midden en laag licht en lagere temperatuur, hoog, midden, laag licht.*

HL ML LL HL ML HL
Normale temperatuur Lage temperatuur

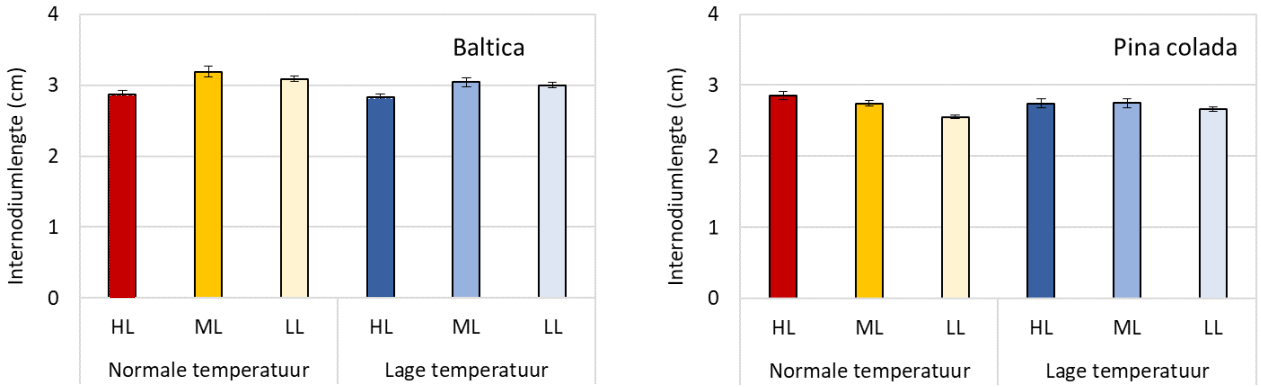
Figuur 3.6 *Overzicht van de bloemtakken van Pina colada op 23 december 2022. Van links naar rechts: normale temperatuur, hoog, midden en laag licht en lagere temperatuur, hoog, midden, laag licht.*

Tijdens de teelt werd twee maal per week de gemiddelde taklengte gemeten van de planten in alle behandelingen (zie figuur 3.2). Bij de destructieve eindoogst werd van alle 15 planten per behandeling afzonderlijk de taklengte gemeten (Figuur 3.7). Voor Pina colada varieerden de taklengtes tussen 87 en 93 cm. Het verschil in taklengte was maximaal 5 cm en was er geen systematisch effect van licht of temperatuur op de taklengte. Bij Baltica waren de takken die geteeld waren bij hoog licht per ongeluk twee keer geremd, en zijn deze logischerwijs korter dan van de andere behandelingen. De taklengtes varieerden tussen 84 en 94 cm en voor de behandelingen met midden en laag licht verschilden deze maximaal 4 cm.



Figuur 3.7 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de taklengte bij de destructieve eindoogst (cm) van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15). NB: de twee behandelingen met hoog licht bij Baltica (gearceerd) zijn per ongeluk twee maal geremd met daminozide.*

Wanneer de totale taklengte wordt gedeeld door het aantal internodiën kan de gemiddelde internodiumlengte bepaald worden (Figuur 3.8). Hieruit blijkt dat bij beide temperaturen de gemiddelde internodiumlengte iets korter is bij lagere lichtniveaus.



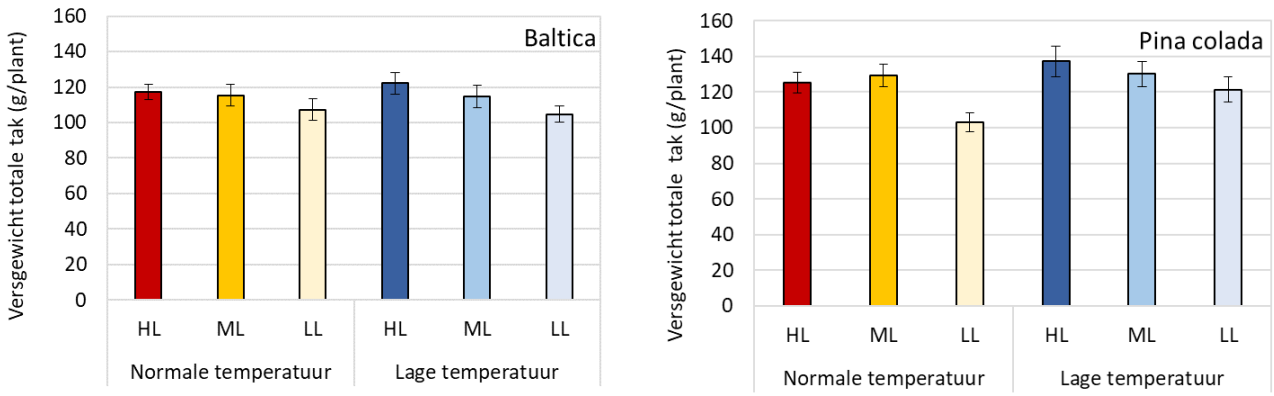
Figuur 3.8 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de internodiumlengte bij de destructieve eindoogst (cm) van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15). NB: de twee behandelingen met hoog licht bij Baltica (gearceerd) zijn per ongeluk twee maal geremd met daminozide.*

3.5.2 Takgewichten en productie per m²

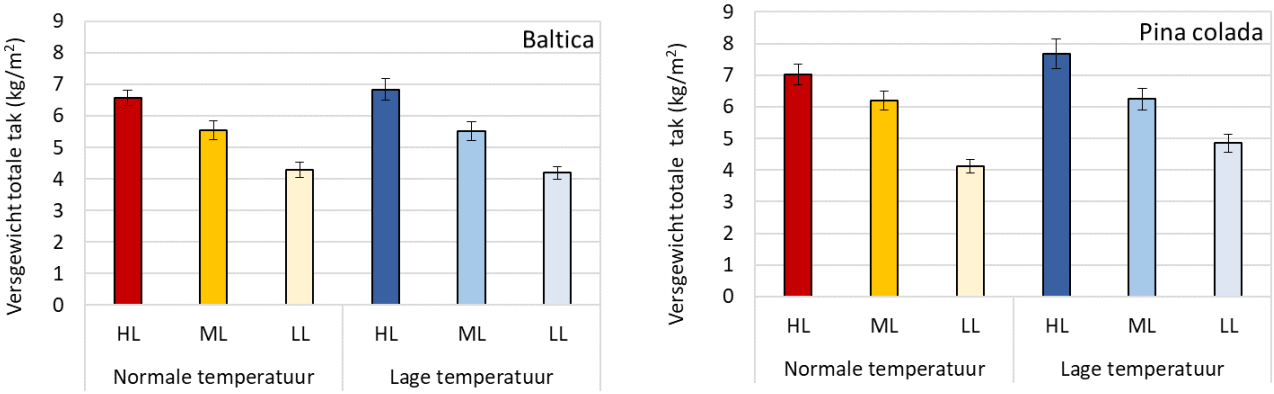
Bij de eindoogst hadden alle takken tenminste een gewicht van 100 g per tak, hetgeen aangeeft dat de plantdichtheid in alle behandelingen hoger had mogen zijn. Het effect van een lagere lichtsom op het takgewicht van Baltica geteeld bij een normale temperatuur is beperkt, maar bij een lage temperatuur zijn de takken bij een lager lichtniveau aanzienlijk minder zwaar (Figuur 3.9). Bij Pina colada is het takgewicht van de planten geteeld bij hoog en midden licht (lichtsom van 9.1 en 7.5 mol/m²/dag) redelijk vergelijkbaar, maar blijft het takgewicht geteeld bij laag licht achter.

Wanneer deze gemiddelde takgewichten omgerekend worden naar productie in kg per m² blijkt dat de productie sterk afneemt bij lagere lichtniveaus, met name door de lagere plantdichtheid (Figuur 3.10).

Vergelijkbare gegevens voor de bloemtakken afgeknipt op een lengte van 70 cm zijn te vinden in bijlage 1.



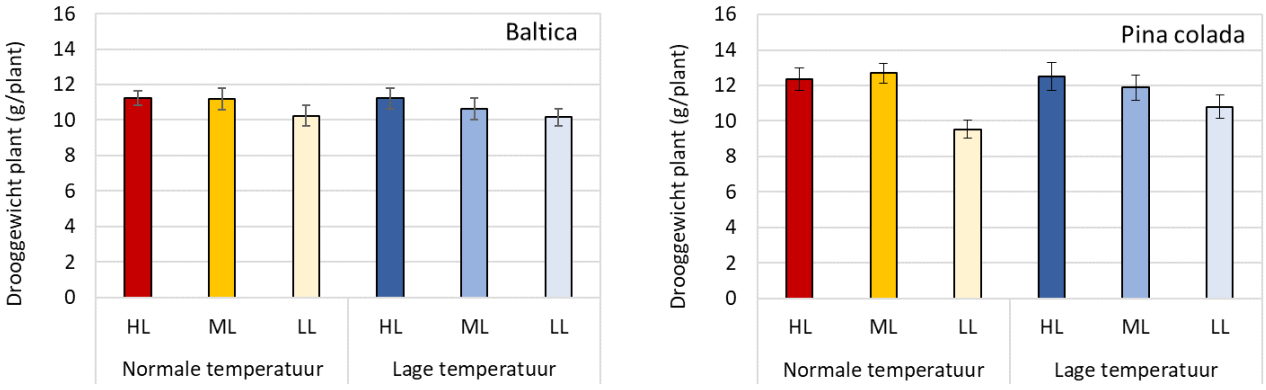
Figuur 3.9 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het versgewicht van de totale bloemtak (g per plant) bij de destructieve eindoogst van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*



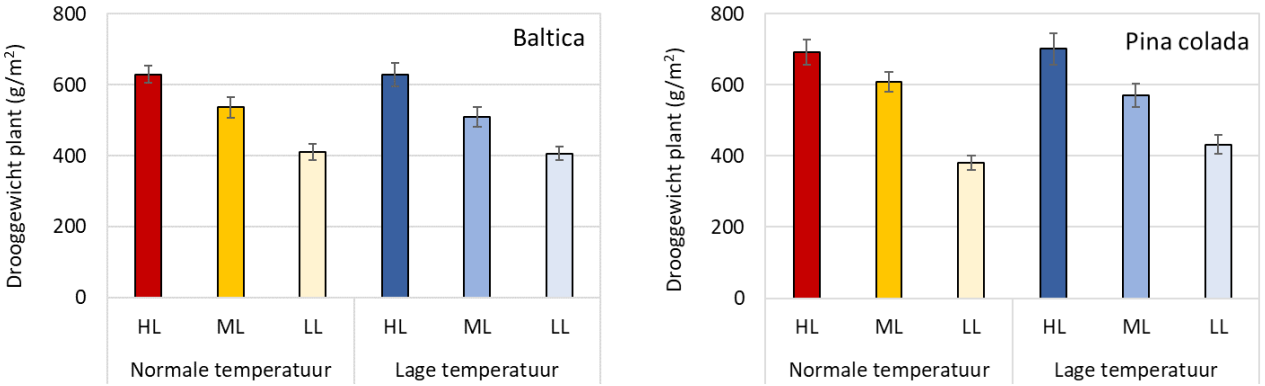
Figuur 3.10 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het versgewicht van de totale bloemtak (in kg/m²) bij de destructieve eindoogst van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

Bij de destructieve eindoogst werden versgewichten van bladeren, bloemen en stengels gewogen, en werden deze vervolgens gedroogd door deze enkele dagen bij 80°C in een droogstoof te plaatsen. Het totale plantdrooggewicht (in g/plant) bij beide rassen bleek het hoogst te zijn bij hoog en midden licht, en lager bij laag licht condities, waarbij opvalt dat het drooggewicht van de bloemtakken bij Pina colada bij laag licht en normale teelttemperatuur naar verhouding erg laag is (Figuur 3.11).

Wanneer de drooggewichten van de bloemtakken omgerekend worden naar productie in kg per m^2 blijkt ook dat de productie sterk afneemt met afnemend licht, met name veroorzaakt door de lagere plantdichtheid. Er zijn nauwelijks verschillen in productie in kg per m^2 tussen de twee teelttemperaturen (Figuur 3.12). Dit heeft ook te maken met de iets langere teeltduur (reactietijd) bij de lagere teelttemperatuur.



Figuur 3.11 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het drooggewicht van de totale bloemtak (g per plant) bij de destructieve eindoogst van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*



Figuur 3.12 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het drooggewicht van de totale bloemtak (in g/m²) bij de destructieve eindoogst van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

Het totale drooggewicht van de tak is opgebouwd uit de gewichten van de bladeren, stengel, bloemtakken en sprot. De verdeling van het gewicht over de verschillende organen is voor Baltica erg constant over de licht- en temperatuurbehandelingen (Tabel 3.5). Bij Pina colada is te zien dat er bij lagere lichtniveaus naar verhouding iets meer assimilaten naar de bladeren gaan, en iets minder naar de bloemen.

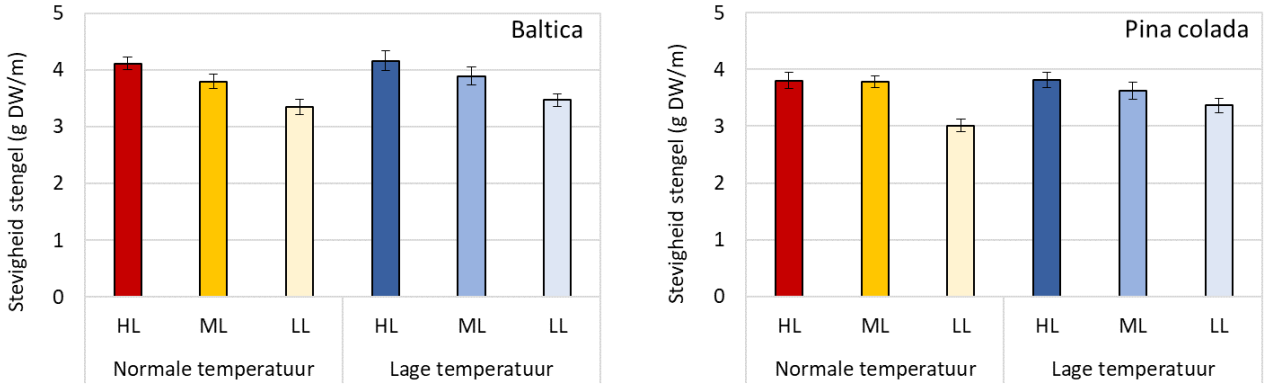
Tabel 3.5

Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het totale drooggewicht van de plant bij de destructieve eindoogst en de drogestofverdeling naar bladeren, stengel, bloemtakken en sport (in % van het drooggewicht van de plant) voor de rassen Baltica en Pina colada.

Cultivar	Tempera-tuur	Licht	Drooggewicht (g/plant)	Blad (%)	Stengel (%)	Bloem-takken (%)	Sprot (%)
Baltica	Normaal	HL	629	21	31	47	1.8
		ML	537	21	32	45	2.2
		LL	410	21	30	47	2.9
	Laag	HL	629	21	30	46	2.3
		ML	510	22	33	44	1.9
		LL	406	22	31	45	2.2
Pina	Normaal	HL	692	24	29	45	1.8
		ML	609	23	27	48	2.2
		LL	381	28	28	40	3.9
	Laag	HL	702	24	28	46	2.1
		ML	570	28	29	41	2.4
		LL	432	28	28	41	3.3

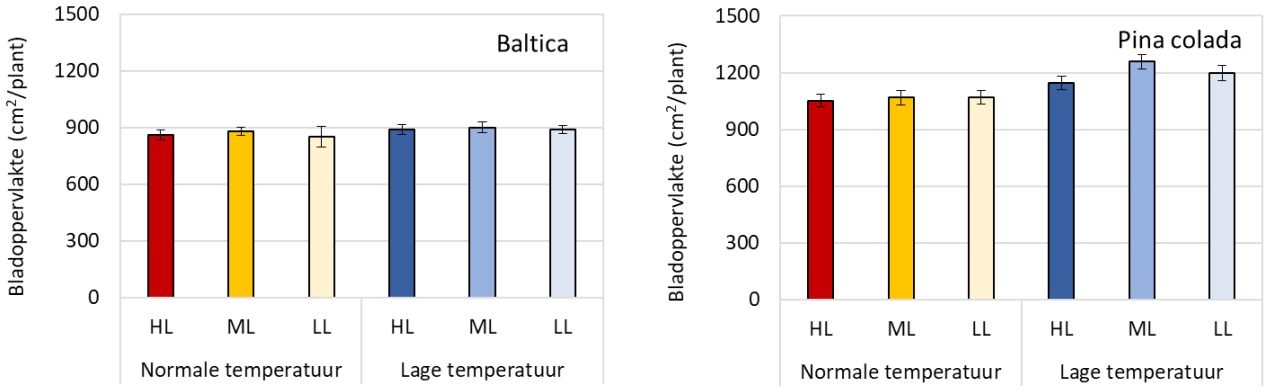
3.5.3 Stevigheid van de tak en bladoppervlakte

De stevigheid van bloemtakken is kwaliteitscriterium, en kan bepaald worden door het totaal drooggewicht van de bloemtak te delen door de lengte. Uit de metingen blijkt dat de stevigheid van de bloemtakken afneemt bij lagere lichtniveaus, maar nauwelijks door de temperatuur beïnvloed wordt (Figuur 3.13).



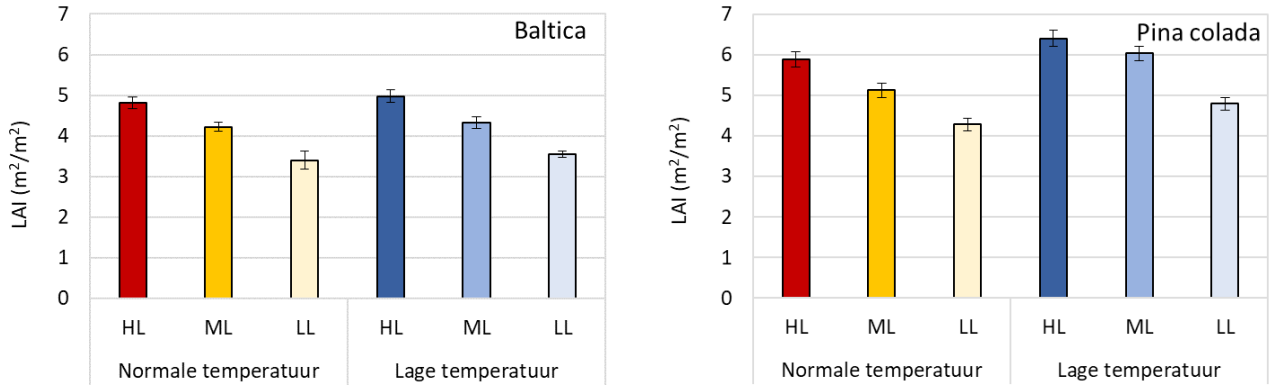
Figuur 3.13 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de stevigheid van de bloemtakken van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

Bij de destructieve eindoogst werd per bloemtak het bladoppervlak gemeten, door alle bladeren afzonderlijk door een bladoppervlaktemeter te laten gaan. Het bladoppervlak per plant wordt bij Baltica nauwelijks door de behandelingen beïnvloed (Figuur 3.14). Bij Pina colada is te zien dat het bladoppervlak groter is bij lagere temperaturen.



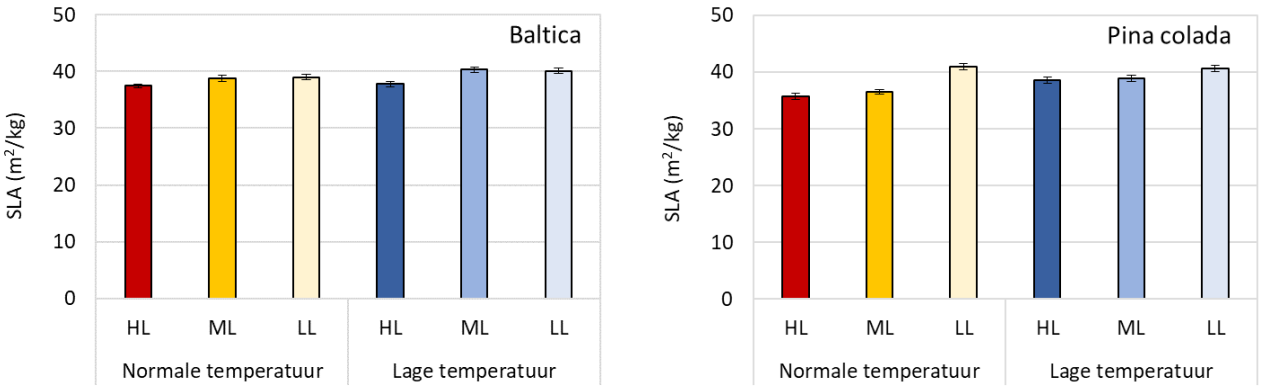
Figuur 3.14 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het bladoppervlak van de bloemtakken van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

Wanneer de bladoppervlaktes in cm² per plant worden omgerekend naar LAI (Leaf Area Index, aantal m² blad per m² bodemoppervlakte) is te zien dat de LAI niet beïnvloed wordt door de temperatuur, maar wel sterk door de lichtbehandelingen, hetgeen veroorzaakt wordt door het feit dat de lagere lichtniveaus ook een lagere plantdichtheid hadden (Figuur 3.15).



Figuur 3.15 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de LAI (bladbedekking, in m² blad per m² bodemoppervlak) van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

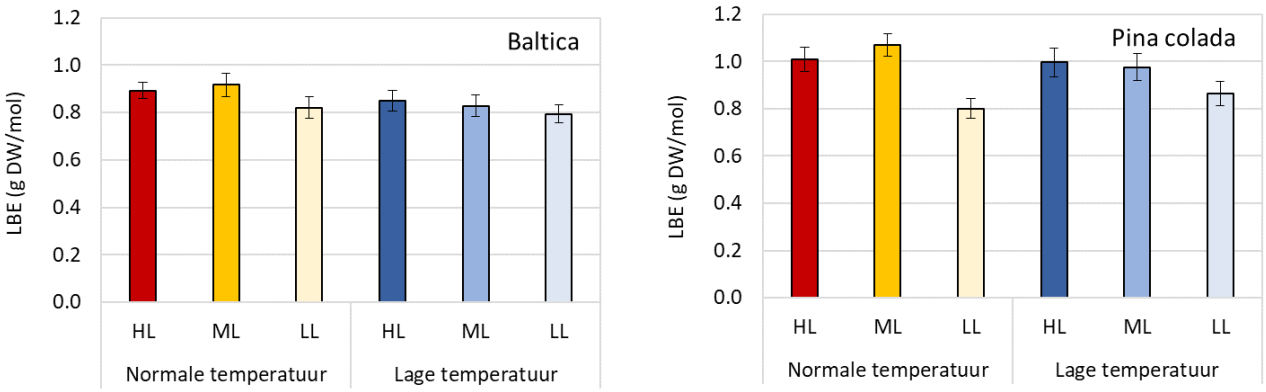
In alle behandelingen was te zien dat de kwaliteit van de bladeren goed was. Ook onderin het gewas was het blad nog groen, en waren geen bruine bladeren te zien. Bladkwaliteit kan uitgedrukt worden in bladdikte in m² bladoppervlak per kg drooggewicht. Dit wordt ook wel het specifiek bladoppervlak genoemd (SLA, specific leaf area). Bij beide rassen waren de verschillen in bladdikte beperkt. Bij een lager lichtniveau worden de bladeren iets dunner, want dan wordt meer m² blad gevormd met hetzelfde drooggewicht (Figuur 3.16).



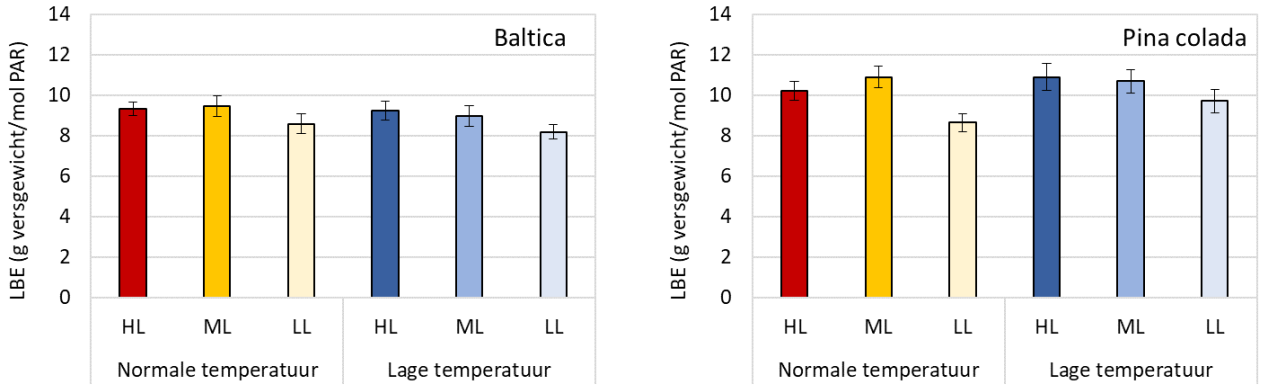
Figuur 3.16 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het specifieke bladoppervlak (SLA, specific leaf area, een maat voor de bladdikte, uitgedrukt in m² blad per kg drooggewicht) van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

3.5.4 Lichtbenuttingsefficiëntie

De lichtbenuttingsefficiëntie werd berekend door het totale aantal mol PAR licht dat gedurende de teelt (vanaf planten tot eindoogst) op het gewas (zonlicht en lamplicht) is gevallen te delen door de gevormde biomassa. Dit werd zowel uitgedrukt op basis van het totale plantdrooggewicht (Figuur 3.17) als op basis van het versgewicht van de totale tak (Figuur 3.18). Bij Baltica is de lichtbenutting op basis van drooggewicht van de planten redelijk vergelijkbaar tussen hoge en midden lichtintensiteit (9.1 en 7.5 mol PAR licht per dag), en (iets) lager voor laag licht (lichtsom van 6 mol per dag) (Figuur 3.17). Bij Pina colada is hetzelfde patroon te zien, maar extremer: daar is de lichtbenuttingsefficiëntie veel lager bij een lager lichtniveau dan bij midden en hoog licht. Dit geldt zowel bij de normale teelttemperatuur als bij de lage teelttemperatuur. De lichtbenuttingsefficiëntie op basis van versgewichten laat een vergelijkbaar patroon zien (Figuur 3.18).



Figuur 3.17 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen in de periode korte dag van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) (g drooggewicht per mol PAR licht) van de rassen Baltica en Pina colada. De lichtbenuttingsefficiëntie is berekend voor de periode lange dag en de periode korte dag samen (van planten tot eindoogst). De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

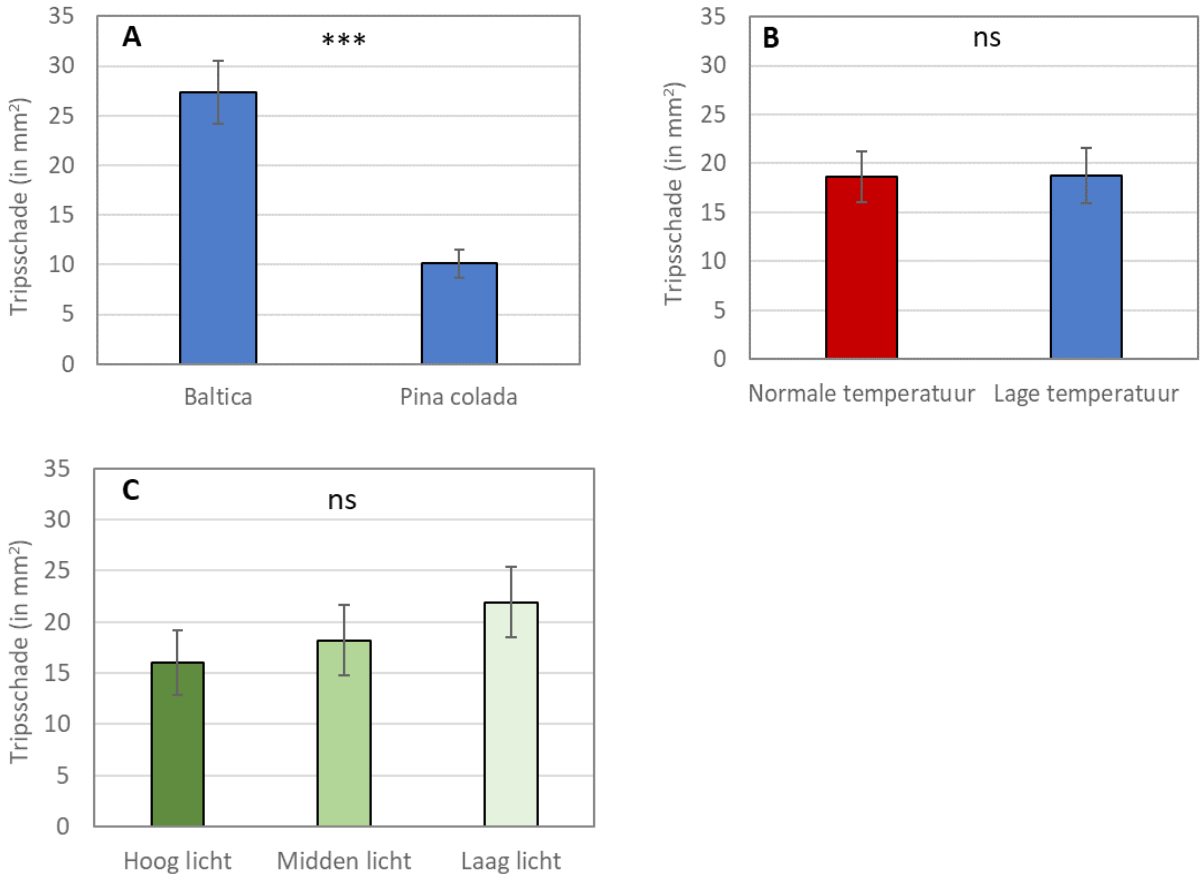


Figuur 3.18 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) (g versgewicht per mol PAR licht) van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

3.6 Plantweerbaarheid

3.6.1 Trips

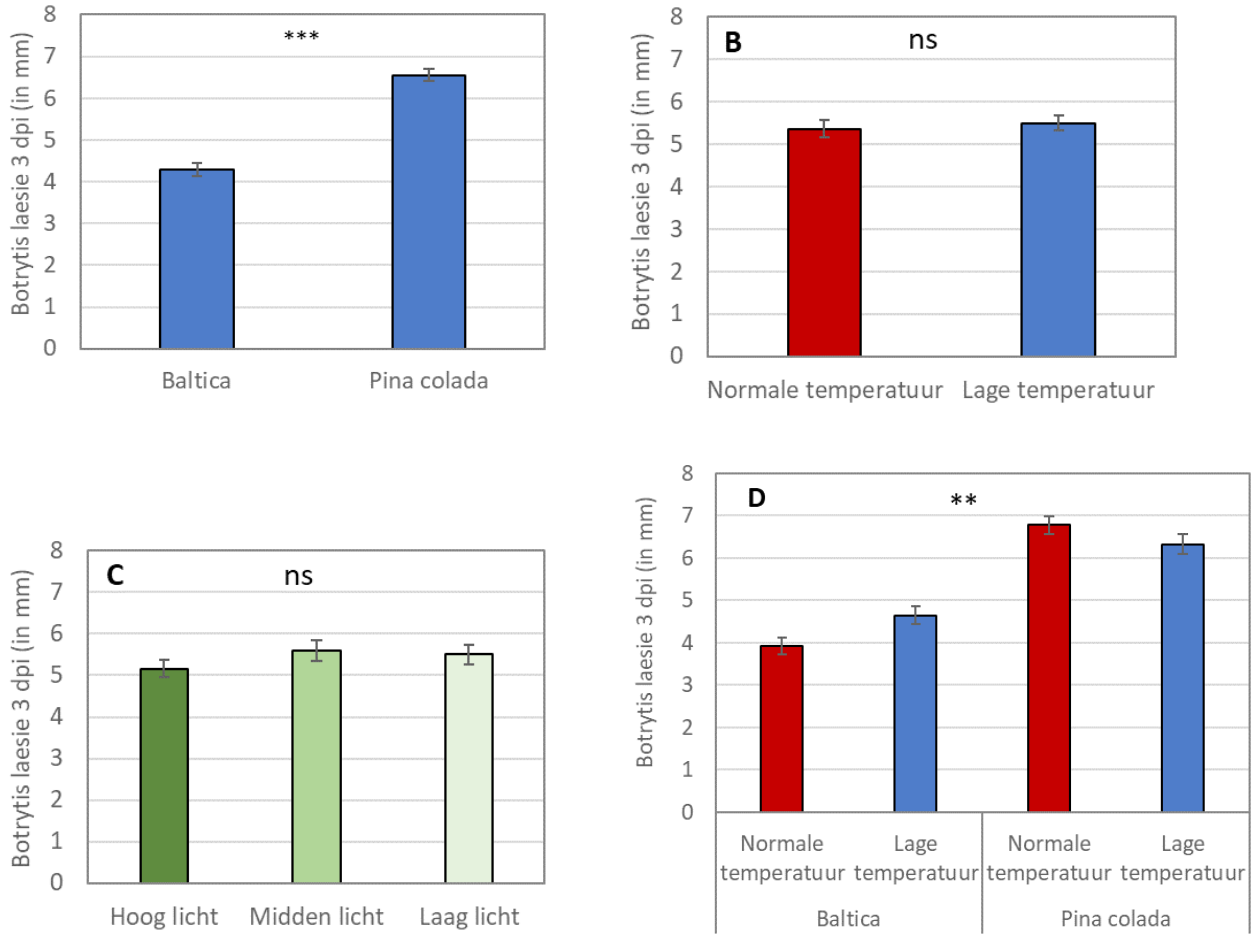
Uit de trips biotoets blijken de rassen significant te verschillen in hoeveelheid tripsschade, Baltica heeft significant meer schade dan Pina colada (ANOVA, $p<0.001$) (Figuur 3.19A). Er zijn geen verschillen in tripsschade tussen beide temperatuurbehandelingen (Figuur 3.19B). Bij de drie verschillende lichtregimes lijkt er een trend te zijn dat de tripsschade lager is naarmate de lichtintensiteit hoger is. Deze verschillen zijn echter niet significant (Figuur 3.19C). Er zijn geen interacties tussen de rassen, temperaturen en lichtregimes.



Figuur 3.19 *Effecten van de rassen Baltica en Pina colada op tripsschade (in mm²) zijn significant ('***', ANOVA: p<.001) (A), maar er zijn geen aantoonbare effecten van de (B) temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en (C) lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/dag. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=8).*

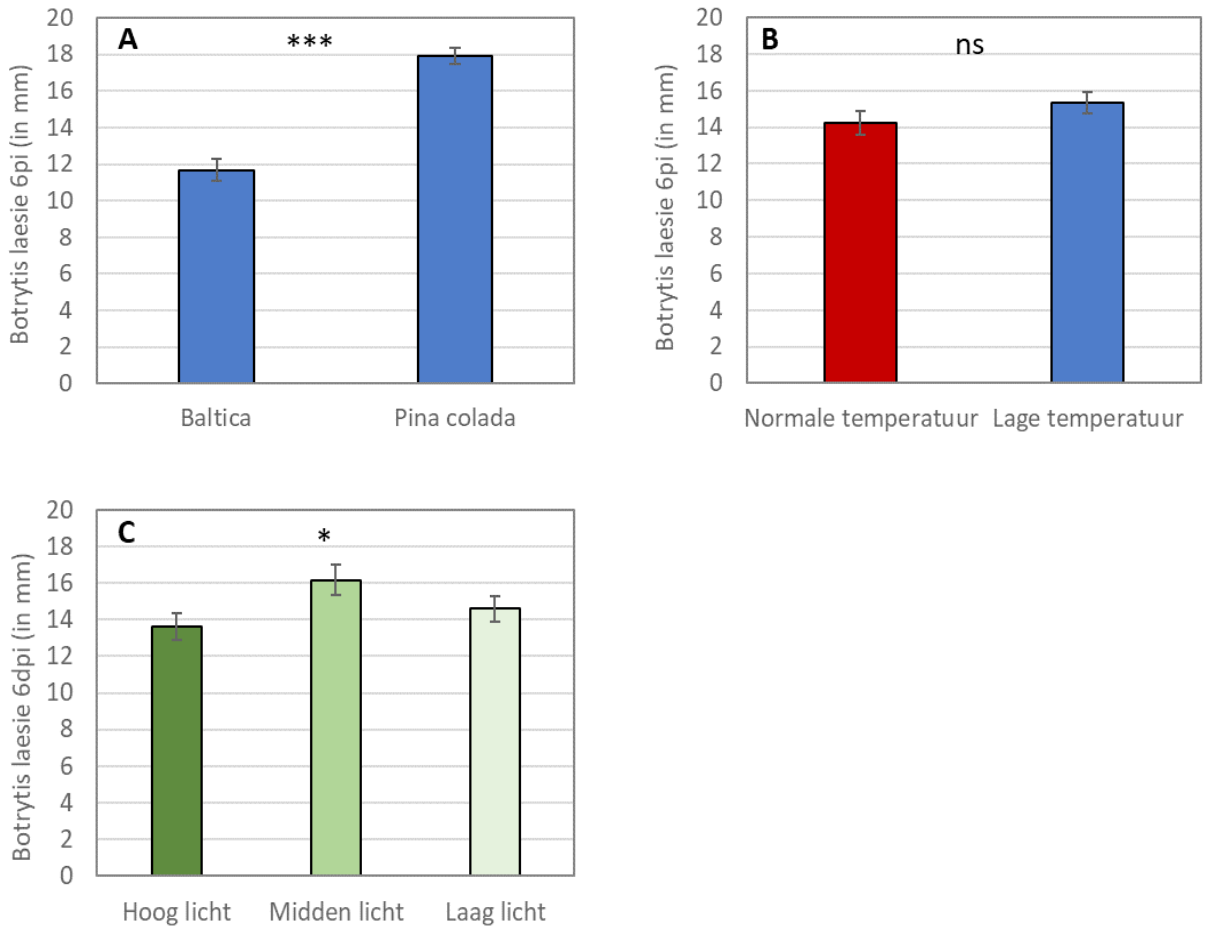
3.6.2 Botrytis

Drie en zes dagen na infectie met *Botrytis* werden de ontstane laesies opgemeten. Na 3 dagen heeft Baltica significant kleinere laesies dan Pina colada (ANOVA, $p<0.001$) (Figuur 3.20A). Er zijn geen aantoonbare verschillen in laesie grootte tussen de twee temperatuurbehandelingen en de drie aangelegde lichtniveaus (Figuur 3.20B en C). Wel is er een significante interactie tussen ras en temperatuur, waarbij Baltica kleinere *Botrytis* laesies heeft bij de normale temperatuur en Pina colada juist kleinere laesies heeft bij een lage temperatuur (ANOVA, $p<0.01$) (Figuur 3.20D).



Figuur 3.20 *Effecten van de rassen Baltica en Pina colada op de grootte van de laesies (in mm) 3 dagen na infectie (dpi: days post-infection) zijn significant ('***', ANOVA: p<.001) (A), maar er zijn geen aantoonbare effecten van de (B) temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en (C) lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag). Er is wel interactie tussen ras en temperatuur (D). De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=8).*

Zes dagen na infectie zien we nog steeds een significant verschil tussen de rassen waarbij Baltica de kleinste laesies heeft (Kruskal-Wallis, $p<0.001$) (Figuur 3.21A). Daarnaast is er een significant verschil tussen de lichtbehandelingen waarbij het middelste lichtniveau (lichtsom van 7.5 mol/dag) de grootste *Botrytis* laesies en het hoogste lichtniveau de kleinste laesies heeft (Kruskal-Wallis, $p<0.05$) (Figuur 3.21B). Er is geen significant verschil tussen de twee temperatuurbehandelingen (Figuur 3.21C).



Figuur 3.21 *Effecten van de rassen Baltica en Pina colada op de grootte van de laesies (in mm) 6 dagen na infectie (dpi: days post-infection) zijn significant ('***', Kruskal-Wallis, p<.001) (A), maar er zijn geen aantoonbare effecten van de (B) temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C. Er is wel een significant verschil in grootte van de laesies 6 dagen na introductie (C) tussen de lichtintensiteiten (met hoog licht de kleinste laesies en midden licht de grootste laesies) ('*', Kruskal-Wallis, p<.05). De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=8).*

De resultaten van de biotoetsen kunnen als volgt worden samengevat: er zijn weinig verschillen tussen de twee aangelegde temperatuurbehandelingen en de lichtsommen op de hoeveelheid tripsschade en de grootte van de *Botrytis* laesies. Alleen het middelste lichtniveau (lichtsom van 7.5 mol/m^2/dag) gaf significant grotere *Botrytis* laesies 6 dagen na introductie. Als hier niet nadrukkelijk naar gekeken zou worden, zouden de resultaten aan kunnen geven dat de weerbaarheid van de chrysanten niet per definitie door een verlaagde temperatuur of lichtintensiteit beïnvloed wordt.

4 Conclusies en aanbevelingen

De glastuinbouw staat voor de uitdaging om het energiegebruik terug te dringen, om daarmee de CO_2 emissie te reduceren. Om dit mogelijk te maken, in combinatie met belichting, is LED belichting een essentieel onderdeel van het systeem vanwege de hoge efficiëntie (tot 3.6-3.7 µmol/J) in vergelijking tot SON-T (ca. 1.8-1.9 µmol/J). Sinds najaar 2021 zijn de prijzen van elektriciteit en gas sterk gestegen, hetgeen de urgentie van reductie in energiegebruik voor de sector nog heeft versterkt. De vraag is, gezien deze uitdagingen, op welke wijze de glastuinbouw, en in dit geval de chrysanteelt ingericht moet worden om een rendabele teelt in de winter mogelijk te maken. Daarvoor zal het energiegebruik voor zowel belichting als voor verwarming flink teruggebracht moeten worden. Dat betekent telen bij lagere temperaturen, met een lagere intensiteit van de belichting. De vraag hierbij is hoe dit ingevuld kan worden en op welke manier er met andere maatregelen (bijvoorbeeld plantdichtheid en duur van de lange dag periode) gezorgd moet worden dat lengte en takgewicht op het gewenste niveau blijven.

In de inleiding van dit rapport de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:
- Wat is het effect van het verlagen van de temperatuur op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
- Wat is het effect van het verlagen van de lichtsom op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
- Wat is het effect van een combinatie van lage temperaturen, lage lichtniveaus met aangepaste plantdichtheid en periode korte dag op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
- Wat is het effect van een combinatie van lage temperaturen, lage lichtniveaus met aangepaste plantdichtheid en periode korte dag op plantweerbaarheid tegen *Botrytis* en trips?
- Is het mogelijk temperatuur, lichtniveau en teeltbeslissingen zoals het aantal dagen korte dag en de plantdichtheid zodanig op elkaar af te stemmen dat een vergelijkbare plantkwaliteit verkregen wordt?

Er is vervolgens een experiment uitgevoerd waarbij de chrysantenrassen Baltica en Pina colada geteeld werden bij twee teelttemperaturen ("normale" en "lage" temperatuur van respectievelijk 18.5/18°C en 17.5/16.5°C) en drie lichtniveaus ("laag", "midden" en "hoog" licht met lichtsommen van 6.0, 7.5 en 9.1 mol/m^2/dag). De plantdichtheden en de periode lange dag werden aangepast aan het lichtniveau. De plantdichtheden varieerden tussen de 40, 48 en 56 planten/m^2 en de periode lange dag werd met 1 of 3 dagen verlengd bij midden en laag licht ten opzichte van hoog licht. Tijdens de teelt werd de strekking van de planten gevolgd, en werd de plantweerbaarheid tegen *Botrytis* en trips bepaald via biotoetsen. Aan het einde van de teelt werden planten destructief geoogst, en werden gewichten per tak en per m^2 bepaald.

Op basis van deze proefopzet, kunnen de onderzoeksvragen worden beantwoord.

Wat is het effect van het verlagen van de temperatuur op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
Er is in deze proef gekozen voor een beperkte verlaging van de teelttemperatuur, van een normale temperatuur van 18.5/18°C (dag/nacht) naar een verlaagde temperatuur van 17.5/16.5°C (dag/nacht). In een overzichtsartikel over de invloed van temperatuur op groei en ontwikkeling van chrysant (Van der Ploeg en Heuvelink, 2006) werd aangegeven dat de optimale temperatuur voor bloei en ontwikkeling tussen de 17 en 22°C ligt, zodat beide temperatuurbehandelingen daar nog binnen liggen. Er zijn drie belangrijke redenen om te kiezen voor een beperkte verlaging van de temperatuur: (1) de etmaaltemperatuur verlagen onder een etmaal van 17°C leidt tot te veel vertraging in de teelt en een lager takgewicht en takkwaliteit, (2) een beperkte verlaging verhoogt de acceptatie van de resultaten in de sector en (3) een verlaging van de etmaaltemperatuur met 1°C leidt toch tot een besparing in het gasverbruik van ca. 10% (vuistregel).

De resultaten van de teelt bij lagere temperaturen laten zien dat er een duidelijk effect is van de lagere teelttemperatuur op de uitgroeiduur. Bij Baltica is de teeltduur (in aantal dagen korte dag tot de takken geoogst konden worden) 2 tot 3 dagen langer bij een lagere temperatuur, terwijl de vertraging bij Pina colada vier dagen is (op een reactietijd van 61 dagen). Er is geen duidelijk effect van de verlaagde temperatuur op de taklengte of het takgewicht. De strekking van de bloemtakken was bij beide temperaturen vergelijkbaar, terwijl een eventueel effect op de biomassatoename per dag werd gecompenseerd door de langere teeltduur bij een lagere temperatuur, zodat het takgewicht bij beide temperatuurbehandelingen vergelijkbaar was.

Wat is het effect van het verlagen van de lichtsom op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
In deze proef werden chrysanten geteeld bij drie lichtniveaus. De proef is uitgevoerd in het najaar van 2022, op een moment dat de energieprijzen nog (zeer) hoog waren en er in de praktijk aanzienlijk minder werd belicht dan ruim een jaar daarvoor, met consequenties voor de dagelijkse lichtsom. Om de resultaten van deze proef breed toepasbaar te maken, is er voor gekozen de drie lichtniveaus zodanig te kiezen dat het hoogste lichtniveau de praktijksituatie voor de energiecrises was, met een dagelijkse lichtsom (DLI, daily light integral) van 9 mol/m^2/dag, een gemiddeld niveau van 7.5 mol/m^2/dag en een laag lichtniveau van 6 mol/m^2/dag. Om te zorgen dat de planten een vergelijkbare hoeveelheid licht op kunnen vangen, werd de plantdichtheid aangepast aan het lichtniveau, van 56 naar 48 en 40 planten/m^2.

De verschillende lichtniveaus hadden geen effect op de uitgroeiduur van de bloemtakken (in aantal dagen korte dag tot de oogst) of op de taklengte. Er was wel een effect van de lichtsom op het takgewicht: een lagere lichtintensiteit leidde tot een lager takgewicht. Hierbij werd het effect van de lagere lichtintensiteit niet volledig gecompenseerd door de verlaging in plandichtheid. Wanneer de productie uitgedrukt wordt in kg versgewicht per m^2 is er een heel sterk effect van de lichtsom: bij een lagere lichtsom neemt de productie per m^2 sterk af, evenredig met de afname in plantdichtheid. Dat betekent dat een teler een economische afweging zal moeten maken in de inrichting van zijn teeltsysteem tussen kosten voor elektriciteit voor de belichting, plantmateriaal en arbeid voor het oogsten enerzijds, en de opbrengsten aan geoogste bloemtakken per m^2 anderzijds.

Wat is het effect van een combinatie van lage temperaturen, lage lichtniveaus met aangepaste plantdichtheid en periode korte dag op taklengte, gewicht en uitgroeiduur?
Het uitgangspunt in deze proef was om chrysanten te telen met minder energie, maar wel met een voldoende takkwaliteit. Om dat te kunnen realiseren zijn aantal dagen lange dag fase en de plantdichtheid aangepast aan een lagere teelttemperatuur en lagere lichtintensiteit. De resultaten laten zien dat dit goed gelukt is: de taklengte en takgewicht waren bij alle teeltomstandigheden en beide rassen goed.

Om voldoende taklengte te kunnen krijgen is de periode lange dag aangepast aan de lichtintensiteit. Bij lichtsommen van 7.5 en 6.0 mol/m^2/dag werden de planten 1 respectievelijk 3 dagen langer in de lange dag fase geteeld dan bij een lichtsom van 9.1 mol/m^2/dag. In de lange dag fase vindt de bladafsplitsing plaats, en in de korte dag worden de bloemen aangelegd. De keuze voor de verlenging van de lange dag lijkt een goede geweest te zijn aangezien het aantal bladeren aan de bloemtakken in alle behandelingen redelijk vergelijkbaar waren.

De resultaten van deze proef laten zien dat het goed mogelijk is bij een verlaging van het energiegebruik chrysanten te telen met een goede takkwaliteit. Onder alle aangelegde omstandigheden waren taklengte, takgewicht, takopbouw en aantal bloemen voldoende. Om dit mogelijk te maken is de plantdichtheid aangepast aan de lichtniveaus, hetgeen betekent dat bij lage lichtniveaus de productie per m^2 evenredig lager is. De behandelingen met laag en midden licht leverden een besparing aan elektriciteit voor belichting op van respectievelijk 33 en 18% ten opzichte van de behandeling met hoog licht. Het effect van de verlaging van energiegebruik voor verwarmen is moeilijker aan te geven en hangt sterk af van de inrichting van een bedrijf. Een vuistregel is dat iedere graad verlaging van de teelttemperatuur een verlaging van het energiegebruik oplevert van 10%. Er is in deze proef geteeld bij gemiddeld 1.3°C verschil in etmaaltemperatuur, hetgeen een energiebesparing van ruim 10% zou inhouden.

Wat is het effect van een combinatie van lage temperaturen, lage lichtniveaus met aangepaste plantdichtheid en periode korte dag op plantweerbaarheid tegen *Botrytis* en trips?
Chrysanten kunnen erg gevoelig zijn voor *Botrytis*, dat bij voorkeur zwak plantenweefsel aantast en ook trips kan in de teelt van chrysant een probleem geven. Dat betekent dat in dit project ook gekeken is naar de effecten van de aangelegde licht- en temperatuurbehandelingen op de gevoeligheid van de planten voor *Botrytis* en trips. Dit is gedaan door bladeren van de planten te halen en deze in het lab te besmetten met *Botrytis* of er trips op uit te zetten. De *Botrytis* laesies of de bladschade als gevolg van trips werd vervolgens bepaald, en gaf aan hoe weerbaar het gewas hiertegen is. De resultaten van deze biotoetsen laten zien dat er nagenoeg geen verschillen zijn van de temperatuurbehandelingen en lichtniveaus op de hoeveelheid tripsschade en de grootte van de *Botrytis* laesies. Dat betekent dat de weerbaarheid van de chrysanten niet door de lagere temperatuur of lagere lichtintensiteiten beïnvloed wordt en dat dit dus geen beperking is voor het toepassen van energiebesparende maatregelen.

Is het mogelijk temperatuur, lichtniveau en teeltbeslissingen zoals het aantal dagen korte dag en de plantdichtheid zodanig op elkaar af te stemmen dat een vergelijkbare plantkwaliteit verkregen wordt?
Als alle resultaten worden samengevat is het antwoord op deze vraag: "Ja, dat kan". Deze proef werd uitgevoerd met twee rassen, Baltica en Pina colada. Ondanks het feit dat aan het begin van de teelt het er op leek dat de rassen aan het begin van de teelt verschilden in hun gevoeligheid voor lagere teelttemperaturen, bleek aan het einde van de teelt dat de resultaten van beide rassen vergelijkbaar waren.

De resultaten van deze proef geven aan dat het goed mogelijk is chrysanten te telen bij een lager energiegebruik zonder nadelige gevolgen voor takgewicht en taklengte. De teeltstrategie moet wel op de lagere temperaturen en lichtniveaus aangepast worden om de takkwaliteit te behouden, hetgeen betekent dat de productie per m^2 lager uitvalt. Afhankelijk van de omstandigheden zal een teler hierin zelf zijn strategie moeten bepalen.

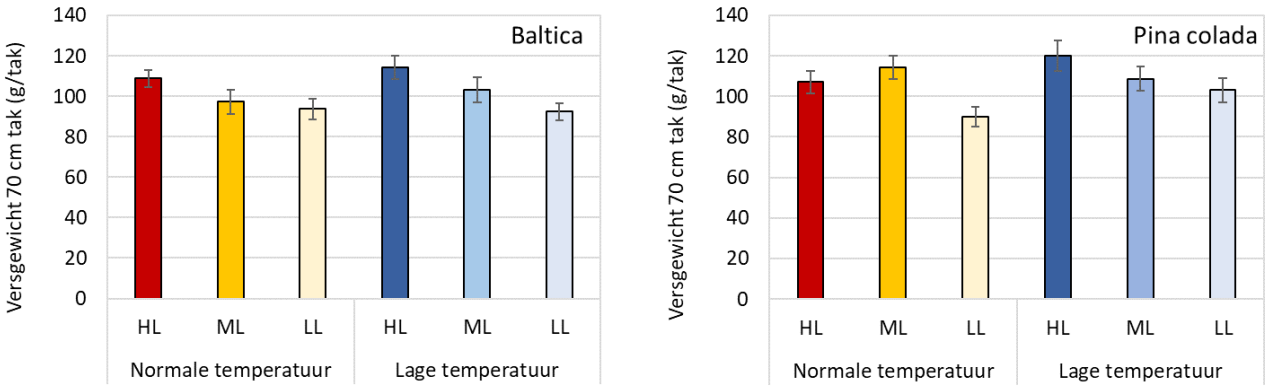
5 Referenties

Cockshull, K., Huges, A.P., 1971.
The effects of light intensity at different stages in flower initiation and development of *Chrysanthemum morifolium*. Annals of Botany 35: 915-926. Doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a084534.

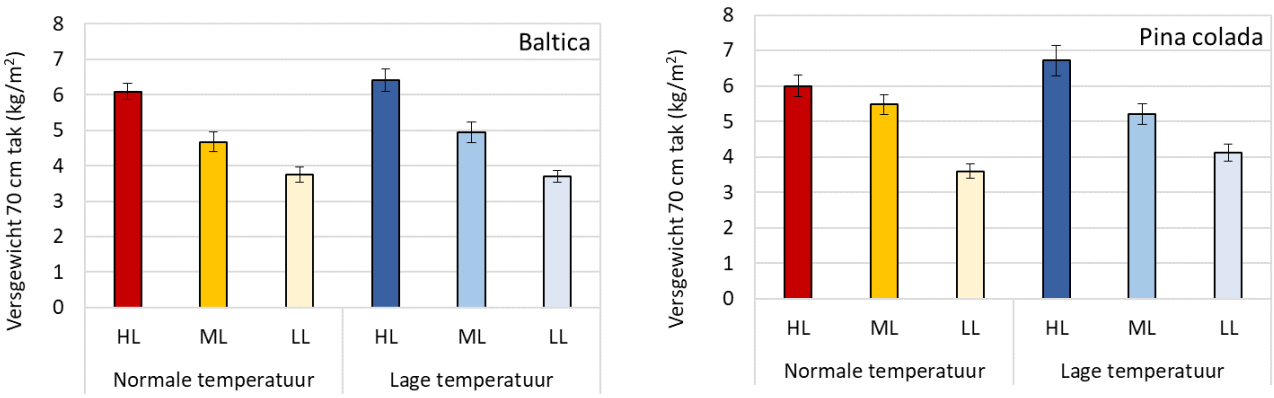
Karlsson, M.G., Heins, R.D., Erwin, J.E., Berghage, R.D, Carlson, W.H., Biernbaum, J.A., 1989.
Irradiance and temperature effects on time of development and flower size in chrysanthemum. Scientia Horticulturae 39: 257-267.

Van der Ploeg, A., Heuvelink, E., 2006.
The influence of temperature on growth and development of chrysanthemum cultivars: a review. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 81: 174-182.

Bijlage 1 Takgewichten



Figuur 1 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het versgewicht van de bloemtak afgeknipt op 70 cm (g per plant) bij de destructieve eindoogst van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*



Figuur 2 *Effect van de twee temperatuurbehandelingen (normaal, 18.5/18.0°C en laag, 17.5/16.5°C en drie lichtintensiteiten (hoog, midden, laag, lichtsommen van 9.1, 7.5 en 6 mol/m²/dag) op het versgewicht van de bloemtak afgeknipt op 70 cm (in kg/m²) bij de destructieve eindoogst van de rassen Baltica en Pina colada. De verticale lijnen geven de standaardafwijking van het gemiddelde aan (n=15).*

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1188

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.