



Energiezuinige winterteelt framboos met focus op CO₂

Jan Janse, Marcel Raaphorst, Pieter de Visser, Kees Weerheim,
Marcel Raaphorst en Trudy van Twist

Rapport WPR-1056

Referaat

In een onderzoek uitgevoerd door Wageningen UR Glastuinbouw & Bloembollen is in een novemberplanting nagegaan wat het effect was de lichtintensiteit van LEDs en het CO₂-gehalte in de kaslucht op onder meer fotosynthese, productie en kwaliteit bij de framboosrassen Kwanza en Lagorai. Voor een gerealiseerd CO₂-gehalte van 775 ppm moest 10 maal zoveel CO₂ worden gedoseerd dan bij voor een CO₂-gehalte van 460 ppm. Het effect op de productie was echter gering of afwezig. Een lichtintensiteit van 137 in vergelijking met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, verhoogde de productie bij de 2 rassen met bijna 12% bij 15% meer PAR-licht van de zon en LEDs over de totale periode. Tussen de rassen waren er grote productieveverschillen. De LAI was met ruim 7 m²/m² bij het ras Lagorai erg hoog.

Abstract

In a study carried out by Wageningen UR Greenhouse Horticulture & Flowerbulbs, the effects of the light intensity of LEDs and the CO₂ content in the greenhouse air have been investigated on photosynthesis, production and quality in the raspberry varieties Kwanza and Lagorai in a November planting. For a realized CO₂ content of 775 ppm, 10 times as much CO₂ had to be dosed than for a CO₂ content of 460 ppm. However, the effect on production was minor or absent. A light intensity of 137 compared to 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, the production in the 2 varieties increased by almost 12% with 15% more PAR light from the sun and LEDs over the total period. There were large production differences between the varieties. The LAI of Lagorai was with more than 7 m⁻²·m⁻² very high.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1056

Projectnummer: 3742279900

DOI: <https://doi.org/10.18174/547863>

Thema: Kwaliteit en productie



Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Kas als Energiebron, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Veiling Zaltbommel, The Greenery, Advanced Berry Breeding, BerryWorld, Signify en Van der Avoird Trayplant.

Disclaimer

© 2021 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
2	Materiaal en methoden	9
	2.1 Proefopzet/behandelingen	9
	2.2 Teeltcondities	10
	2.3 Metingen en waarnemingen	11
	2.3.1 Klimaat	11
	2.3.2 Planten	12
	2.3.3 Productie en kwaliteit	12
	2.3.4 Voeding	12
	2.3.5 Modelmatige berekeningen	13
3	Resultaten en discussie	15
	3.1 Klimaat	15
	3.1.1 Kastemperatuur	15
	3.1.2 Luchtvochtigheid	17
	3.1.3 Buistemperatuur	18
	3.1.4 Licht	19
	3.1.5 Nettostraling	21
	3.1.6 Energiegebruik	21
	3.1.6.1 Stroomverbruik	21
	3.1.6.2 Warmtegebruik	22
	3.1.7 CO ₂	22
	3.2 Water en voeding	23
	3.3 Ziekten/plagen, bestuiving en gewasstand	24
	3.4 Bestuiving	25
	3.5 Gewasgroei en gewasstand	28
	3.6 Bladkleurmetingen	30
	3.7 Huidmondjes	31
	3.8 Verloop drogestof tijdens vruchtgroei	32
	3.9 Productie en kwaliteit	32
	3.10 Inwendige kwaliteit	35
	3.11 Destructieve metingen planten	37
	3.12 Lichtbenuttingsefficiëntie	40
	3.13 Fotosynthesemetingen	42
	3.14 Modelberekeningen	45
4	Conclusies	49
	Literatuur	51
	Bijlage 1 Meetresultaten plantparameters	53

Samenvatting

Door Wageningen UR Glastuinbouw & Bloembollen is een onderzoek uitgevoerd naar het effect van licht en CO₂ bij framboos in een winterteelt van 2019/2020 met LEDs. Dit vooral met het oog op een toekomstige fossielvrije teelt met beperkt of zonder CO₂-doseran en indien mogelijk slechts lage inzet van de verwarming. Het onderzoek werd grotendeels gefinancierd door Kas als Energiebron en daarnaast waren er nog enkele bedrijven die meebetaalden aan het onderzoek.

De proefperiode liep van half november 2019 tot eind maart 2020 met enerzijds lang bewaarde canes van het ras Lagorai opgekweekt in 2018 en anderzijds met 10 weken bewaarde canes van het ras Kwanza uit het jaar 2019. De lichtintensiteit van de LEDs was ca. 100 en 137 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bij een maximale belichtingsduur van 18 uur. Dit werd gecombineerd met een CO₂-streefwaarde van zo'n 450 en 900 ppm en een doseersnelheid van resp. 50 en 100 kg/ha/uur met een forse afbouw op ventilatie. Er ontstonden dus 4 verschillende behandelingen, namelijk de combinaties laag licht/hoog CO₂, laag licht/laag CO₂, hoog licht/laag CO₂ en hoog licht/hoog CO₂. De gemiddeld gerealiseerde etmaaltemperatuur in de proef was 16°C.

Nauwelijks effect van CO₂ in winterteelt

De gemiddeld gerealiseerde CO₂-concentratie was resp. 460 en 775 ppm CO₂ bij een doseerhoeveelheid van resp. 1 en 9.9 kg/m² CO₂. Volgens de modelberekening zou er hierdoor bij laag CO₂ een tekort van 0.17 kg CO₂/m² zijn ontstaan. Bij hoog CO₂ zou er echter zo'n 8.7 kg CO₂ via de luchtramen verloren zijn gegaan. Het grote verschil in CO₂-dosering en gerealiseerde CO₂-concentratie in de kas had in de frambozenproef nauwelijks of geen positief effect op de productie en kwaliteit. In de wintermaanden met relatief weinig licht van de zon en groeilicht, hoeven het CO₂-gehalte en de dosering dus niet zo hoog te zijn.

Meer licht is meer productie

Gedurende de gehele teeltperiode is er bij beide lichtintensiteiten met de LEDs ca. 1850 uur belicht, wat leidde tot een stroomverbruik van 65 en 89 kWh/m². Het berekende warmtegebruik bij hoog en laag licht kwam in de proef met gemiddeld resp. 12.8 en 16.9 m³/m² hoog uit. Dit werd vooral veroorzaakt door de noodzaak tot ontvochtiging om problemen met zetting en schimmelgroei te voorkomen. Bij fossielvrij telen zal het warmteverbruik sterk moeten worden gereduceerd.

De totale PAR-lichtsom (zon + lamp) vanaf planten tot eind mrt kwam bij laag en hoog licht uit op resp. 1354 en 1560 mol/m², dus een verschil van ruim 200 mol/m² ofwel 15%. Door de oogst van meer vruchten nam hierdoor de productie van Klasse 1-vruchten toe met 11.5%. Meer licht verhoogde de fotosynthesesnelheid, maar deze nam af gedurende de teelt. De meerproductie aan assimilaten bij meer licht bleek gelijkelijk verdeeld te worden over de vegetatieve en generatieve plantendelen.

Grote plant- en rasverschillen

Het lang bewaarde plantmateriaal van Lagorai was bij het planten nog goed gezond. De kortdurend bewaarde 'verse' canes van Kwanza bleken echter deels aangetast te zijn door botrytis, wat de heterogeniteit van het plantmateriaal versterkte. Meer aandacht voor de bewaaromstandigheden van het plantmateriaal is zeer gewenst.

De gemiddelde productie aan klasse 1-vruchten bedroeg bij Kwanza en Lagorai resp. 2.0 en 3.5 kg/m². Als gevolg van dubbele en korrelige vruchten was het percentage klasse 2 vruchten met zo'n 19% bij Kwanza erg hoog. Bij Lagorai lag dit percentage op nog geen 3%. Van de geproduceerde drogestof kwam bij Kwanza en Lagorai uiteindelijk resp. 41 en 53% in de vruchten terecht.

Het drogestofgehalte van de vruchten was bij deze rassen resp. 11.6 en 13.1%, maar de refracties lagen dicht bij elkaar. De lichtbenuttingsefficiëntie was bij Lagorai en Kwanza resp. 1.38 en 2.39 g/mol PAR-licht (klasse 1-vruchten). Lagorai ging dus veel efficiënter met het licht om dan Kwanza. Kwanza en Lagorai hadden aan het einde van de teelt een LAI van resp. 4.6 en 7.2 m²/m², wat met name bij Lagorai voor de winterperiode erg hoog was.

1 Inleiding

Evenals bij vruchtgroenten neemt bij houtig zachtfruitgewassen de vraag naar een jaarrond, kwalitatief goed product toe. Mede daardoor vindt er al jaren een verschuiving plaats van de buitenteelt naar de glasteelt. Voor een winterteelt is belichting noodzakelijk, wat het energiegebruik doet stijgen. Om dit te beperken, zouden LEDs en Het Nieuwe Telen kunnen worden toegepast, maar hiermee is in framboos nog nauwelijks of geen ervaring. Sowieso zijn er nog veel vragen over de beste teeltcondities bij framboos onder glas.

In een onderzoek uitgevoerd in het winterseizoen van 2018 -2019 door Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen (WUR Glas), is bij framboos het effect van lichtspectrum met LEDs, diffuus glas en ras op ondermeer fotosynthese, bladkleur, productie en kwaliteit onderzocht. Hierbij bleken de gebruikte primocanes (uit stek) gevoelig te zijn voor vroegtijdige bladvergelting c.q. in winterrust gaan. De productie onder diffuus glas bleef mede door een slechte zetting fors achter op die van helder glas. Ook kwamen dubbele vruchten, die kwalitatief onvoldoende zijn, te vaak voor. Het vermoeden is dat er daarbij onbalans optreedt in de vochthuishouding van het gewas en/of de kas. Er konden in dit onderzoek geen grote effecten van het lichtspectrum van de tussenbelichting met LEDs op productie en kwaliteit worden aangetoond. Het plantmateriaal bleek in de proefkassen helaas verre van homogeen te zijn.

Voordat LED-belichting op grotere schaal door frambozentelers zal worden toegepast, zal eerst een aantal van bovengenoemde problemen moeten worden opgelost. Uit kosten oogpunt vragen telers zich ook af wat in de winterteelt de minimaal gewenste lichtintensiteit van de LED-belichting is en welk CO₂-niveau in die periode bij framboos moet worden gehandhaafd voor een goede productie en kwaliteit. Om een fossielvrije, duurzame belichte frambozenteelt te realiseren is het nodig om een goed teeltconcept te ontwikkelen met efficiënte licht- en CO₂-benutting.

In het winterseizoen van 2019 – 2020 is daarom bij framboos door WUR Glas een onderzoek uitgevoerd met twee verschillende niveaus in CO₂ en 2 niveaus in lichtintensiteit.

De belangrijkste doelstellingen van het onderzoek waren:

- Meer kennis verzamelen over de fotosynthese van floricanes bij enkele framboosrassen bij verschillende temperatuur, licht- en CO₂-niveaus in de winterperiode.
- Voorkomen van vroegtijdige bladvergelting en verbetering van de bloemkwaliteit en bestuiving in de late herfst- en wintermaanden bij framboos.
- Verbetering van de productie en vruchtkwaliteit van framboos in de winter.

Energiedoelstellingen

- Het realiseren van een kwalitatief goede winterteelt met het oog op een toekomstige fossielvrije teelt.
- Beperking van de uitstoot en het verbruik van CO₂ met minimaal 30% in vergelijking met een referentie CO₂-dosering.
- Begrijpen waar de gedoseerde CO₂ naar toe gaat (via modellering van groei en ventilatieverliezen), om uit te monden in een onderbouwd advies voor CO₂-doseerstrategie.
- Vermijden van pieken in gasverbruik door isoleren en toepassen temperatuurintegratie.
- Beperken van het gasverbruik en elektriciteitsverbruik met resp. 10 en 40% t.o.v. een standaard teelt met SON-T belichting.
- Het onderzoek moet hiermee een directe bijdrage leveren aan de energiedoelstellingen van het terugdringen van het stroom-, gas- en CO₂-verbruik en CO₂-uitstoot.

2 Materiaal en methoden

In het winterseizoen van 2019 – 2020 is door Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen (WUR Glas) in Bleiswijk, een onderzoek uitgevoerd met frambozen.

Het betreffende onderzoek werd voor een zeer belangrijk deel gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit in het kader van Kas als Energiebron. Tevens is er aan dit onderzoek een financiële bijdrage geleverd door Veiling Zaltbommel, The Greenery, Advanced Berry Breeding, Signify, BerryWorld en Van der Avoird Trayplant B.V..

2.1 Proefopzet/behandelingen

In dit onderzoek is gekeken naar de effecten van het CO₂-niveau, de lichtintensiteit en het ras. Het onderzoek is uitgevoerd in 2 kassen, namelijk in kas 802 en 803 met resp. een laag en een hoog CO₂-gehalte.

CO₂-niveau:

- **Laag CO₂**: streefniveau 400 – 450 ppm, maximale dosering 50 kg/ha/u, vanaf 18 december bij 5-10% ventilatie dosering afgebouwd met 40% naar 30 kg/ha/u.
- **Hoog CO₂**: streefniveau zo'n 850 – 900 ppm, maximale dosering 100 kg/ha/u, vanaf 18 december bij 5-10% ventilatie dosering afgebouwd met 40% naar 60 kg/ha/u.

Er is gestart met doseren ca. 14 dagen na het planten (vanaf 26 november) toen de blaadjes zich begonnen te onvouwen. Eerder doseren had weinig zin omdat er geen blad aan de planten aanwezig was.

Lichtintensiteit LEDs:

- **Lage lichtintensiteit**: gem. 100 µmol/m²/s – in kas 802 en 803 resp. 98 en 102 µmol/m²/s.
- **Hoge lichtintensiteit**: gem. 137 µmol/m²/s – in kas 802 en 803 resp. 140 en 134 µmol/m²/s.

Het groeilicht werd via LED-armaturen van Signify als toplicht gegeven met een lightspectrum van 85% donkerrood, 6% groen/geel en 8% blauw. Gestreefd was naar een lichtintensiteit van 100 en 150 µmol/m²/s. Bij lichtmetingen voorafgaande aan de proef bleek dat de lichtintensiteiten dicht bij elkaar lagen dan vooraf was berekend, namelijk op zo'n 110 en 137 µmol/m²/s. Door 2 armaturen van de laagste lichtintensiteit te bespannen met vliegengaas, kon de lichtintensiteit bij de laagste lichtintensiteit met 10 µmol/m²/s worden teruggebracht, waardoor deze op gemiddeld 100 µmol/m²/s kwam. Hierdoor ging echter de gemeten waarde bij de hoogste lichtintensiteit ook iets omlaag en werden de verschillen bij de 'gelijke' lichtintensiteiten in de beide afdelingen iets groter. Dit laatste werd ook mede veroorzaakt door verschillen in lichtreflectie van het scherm en het glas van de tussengevel. Het gedeelte met het hoge lichtniveau was namelijk geïnstalleerd aan weerszijden van de gevel tussenin beide kassen, dus gespiegeld.

Per kas waren er 7 rijen met planten; hiervan bestonden 4 rijen uit proefrijen. De middelste rij van elke kas (overgang van lage naar hoge lichtintensiteit en andersom), evenals de rijen langs de gevels, werden beschouwd als randrijen. Hieraan zijn geen waarnemingen verricht.

Ras:

- **Kwanza**: verse floricanes afkomstig van teler René Simons in Haaren, in 2019 buiten opgekweekt in potten en vanaf begin september ca. 10 weken in een koelcel bewaard bij + 1.5°C.
- **Lagorai**: floricanes buiten opgekweekt in 2018, daarna ca. 11 maanden bewaard in een cel bij -1.5°C, plantmateriaal verkregen via The Greenery.

Per lichtintensiteit stonden de rassen in tweevoud. Per kas en per ras waren er 4 proefveldjes.

In totaal dus 4 x 4 = 16 velden.

Per ras waren er dus de volgende behandelingen: laagCO₂/laagLicht, laagCO₂/hoogLicht, hoogCO₂/laagLicht en hoogCO₂/hoogLicht.

De plantdatum van de frambozenproef was afgestemd op die van het praktijkbedrijf met SON-T belichting (René Simons).

2.2 Teeltcondities

Proefplaats	Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen in Bleiswijk
Kasafdelingen	Kas 802 (laag CO ₂) en 803 (hoog CO ₂) gedekt met helder glas
Bruto oppervlakte kas	144 m ² per kasafdeling
Goothoogte en padbreedte	Resp. ca. 0.35 en 1.60 m
Plantdatum	13 november 2019
Plantafstand en dichtheid	Potafstand op de rij 50 cm, 2 canes/pot = 4 canes/m ¹ = dichtheid 2.5 cane/m ²
Inhoud pot en substraat	Vierkante 7 literpot gevuld met kokos
Proefveldgrootte per ras	9.6 m ²
Leidsysteem	Trelly-systeem met aan weerszijden van de rij een naar boven toe iets schuin gespannen net
Start belichting en duur	Start op 23 november 2019, dat is 10 dagen na het planten. Afhankelijk van de instraling en de verwachte stralingssom maximaal 18 uur per dag met start 18.5 uur voor zononder om met het natuurlijke licht de nacht in te gaan
Verwarming	Buisrailnet en/of groeibuis
Klimaatinstellingen	De klimaatinstellingen zijn zoveel mogelijk uitgevoerd in overleg met de BCO
Bestuiving	Met hommels en bijen, resp. geleverd door Koppert en Mario Coremans. Daarnaast zijn zweefvliegen van Polyfly ingezet
Einde proef	10 april 2020
Schermen	2 schermen: een verduisteringsscherm en een energiescherm Luxous (XLS 10)
Ontvochtiging	Bij te hoge RV werd bij een gesloten scherm de VentilationJet gebruikt die koude en droge lucht van boven het scherm in de kas brengt
Luchtcirculatie	Met behulp van een horizontale ventilator (Nivolator) onder de VentilationJet kon de lucht in de kas bij verschillende snelheden worden gecirculeerd
Overige teeltmaatregelen	Bemesting: bij de start, vanaf 1 ^e gezette vruchten en vanaf 2 weken voor de 1 ^e oogst zijn verschillende voedingsschema's gehanteerd. Zij verschilden vooral in EC, kationenverhouding en N-gift



Figuur 1 Trellis-systeem met aan weerszijden van de rij een naar boven toe iets schuin gespannen net.

2.3 Metingen en waarnemingen

2.3.1 Klimaat

De verschillende klimaatgegevens werden via de klimaatcomputer in Let's Grow geregistreerd. Naast de klimaatbox, waarop de temperatuur en RV werden gemeten en op basis waarvan het klimaat werd geregeld, hingen er in beide kassen extra klimaatboxen op verschillende hoogtes, namelijk op ca. 0.85 en 1.30 m boven het maaiveld. De klimaatregelbox hing dichtbij het bovenste gedeelte van de plant op een hoogte van ca. 2 m. Daarnaast was er nog een extra CO₂-meting op een hoogte van ca. 1.30 m. In kas 802 werd met een netto-radiometer de netto-straling gemeten. De PAR-straling in de kas werd gemeten met een punt-sensor, maar werd daarnaast ook berekend op basis van de uren belichting x lichtintensiteit van de LEDs en de instraling van de zon x lichttransmissie van de kas.

Om het warmtegebruik van de frambozenteelten te bepalen zijn de gerealiseerde kastemperatuur, het schermgebruik en het lampgebruik van de vier 'afdelingen' (laag en hoog CO₂ (resp. kas 802 en 803), en laag en hoog LED (lichtintensiteit '100' en '143' $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) omgezet naar klimaatinstellingen (digital twins). Daarnaast is er overdag een minimumbuis op het ondernet van 30°C ingezet tussen 1 januari en 18 maart. Het setpoint RV is na 8 januari verlaagd van 90% naar 80%. Om aan een vergelijkbare verdamping te komen als wat er gemeten is, is de verdampingsfactor van het gewas op 60% gezet. Deze klimaatinstellingen zijn gebruikt als input voor het simulatiemodel Kaspro.

2.3.2 Planten

Aan de planten werden de volgende metingen en waarnemingen verricht:

- Vers- en drooggewicht van de canes voor het planten (13 november). Dit is bepaald bij 10 canes per ras.
- Vers- en drooggewicht van vruchten tijdens de uitgroei bij het ras Lagorai bij laag en hoog CO₂. Hierbij zijn er vruchten in 6 groeistadia genomen variërend van een nog zeer kleine uitgroeiende vrucht (gewicht vruchtje inclusief kroon ca. 0.5 g) t/m een donkerrode rijpe vrucht (gewicht ca. 7 g). De analysedatum was 25 februari.
- Wekelijks werd het vers- en drooggewicht van vruchten gemeten.
- Vers- en drooggewicht van de bladeren, lateralen en canes na de laatste oogst van Lagorai (rond 31 maart) en Kwanza (rond 10 april). Dit is gemeten bij 4 canes per veld ofwel over de hele proef in totaal 64 canes.
- Telling van aantal lateralen per cane bij de destructieve meting aan het einde van de proef.
- Meting totaal bladoppervlak per plant bij de destructieve oogst aan het einde van de proef met een bladoppervlaktemeter.
- Het gehalte aan chlorofyl, flavonolen en anthocyaan is gemeten met een Dualexmeter op 10 januari en 20 februari 2020. De metingen werden verricht bij 10 verschillende bladeren per veld en daarbij per blad op 4 verschillende plaatsen.
- Fotosynthesemetingen en huidmondjesgeleidbaarheid met een Licor-6400 eind januari en half maart. Gemeten is bij enkele lichtintensiteiten en een aantal CO₂-niveaus.
- Aantal huidmondjes. Dit is uitgevoerd in januari, februari en maart bij planten in beide afdelingen en beide rassen. De methode die werd gebruikt is beschreven door Van Telgen, e.a., (2009). Hierbij werd vloeibaar Xanthopren Plus gemengd met elastomeerharder en direct op de onderzijde van een blad aangebracht. Na stolling werd het rubberstempel voorzichtig van het blad genomen en kleurloze nagellak op het stempel aangebracht. Na droging is de uitgeharde lakfilm onder de microscoop bekeken bij een vergroting van 10 (oculair) x 10 (objectief).
Met een Leica digitale camera werd een foto gemaakt om de opname te kunnen relateren aan het aantal en de huidmondjesopening.
- Om de bestuiving door de bijen beter proberen te kwantificeren, gebeurde de telling van de bijen bij de uitvlieg-/invliegopening van de bijenkast automatisch via een teller, die om de 20 minuten gedurende 30 sec het aantal binnenkomende bijen registreerde.

2.3.3 Productie en kwaliteit

De vruchten werden 3 maal per week geoogst. Daarbij werden er de volgende waarnemingen verricht:

- Per oogstdatum: gewicht en aantal klasse 1, gewicht klasse 2, gewicht afval (bijv. uiteengevallen korrelige vruchten of verdroogde vruchten).
- Wekelijks: drogestofgehalte van de vruchten.
- Tweewekelijks: meting van de refractie (°Brix) en het zuurgehalte.
- Een aantal keren is oriënterend gekeken naar de houdbaarheid. De vruchten werden hierbij bewaard bij 4°C en beoordeeld na 3, 7 en 10 dagen op kleur, stevigheid en rot.

2.3.4 Voeding

Om ca. de twee weken is er van zowel de gift als de drain een voedingsanalyse gedaan. Tussentijds werd nog de EC en pH gecontroleerd.

2.3.5 Modelmatige berekeningen

De groei- en ventilatieverliezen van CO₂ werden gemodelleerd om te begrijpen waar de gedoseerde CO₂ naar toe was gegaan. Hierbij werd het gecombineerde simulatiemodel Kaspro/Intkam gebruikt om de kasproeven met framboos na te rekenen. Een deel van de kas- en teeltinstellingen werd direct in het model overgenomen: de in dit onderzoek meest relevante parameters waren CO₂-doseercapaciteit, belichtingsniveau en -periode, kasdekeigenschappen, plantdichtheid en raamoppervlak. Daarnaast waren voor Kaspro de instellingen van temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂ nodig. Hiervoor werden de kasklimaatinstellingen, zoals gebruikt in Kaspro, afgeleid uit de gerealiseerde temperatuur, RV en CO₂ per 5 minuten gedurende de gehele teelt. Een optimalisatieprogramma wijzigt de klimaatinstellingen net zo lang tot simulatie en realisatie van temperatuur, RV en CO₂ overeenkomen.

Ook in het gewasgroeimodel Intkam zijn instellingen op grond van de gevolgde teeltstrategie gewijzigd:

1. Instelwaarden: start en eind van productie aan vruchten, canedichtheid (constant) en bladplukken (er werd tijdens de teelt geen blad verwijderd).
2. Parameterwaarden: dit zijn de grootste wijzigingen aan het model, dat als standaard tomaatparameters bevat.

De parameterwaarden controleren de snelheid/grootte van de gesimuleerde groeiprocessen: fotosynthese, grootte van vruchtensink, uitgroeiduur vruchten, afsplitsingssnelheid van bladeren en vruchten.

Voor de ijking van de parameterwaarden werden de volgende proefresultaten gebruikt: licht- en CO₂-respons van de fotosynthese, start van de bloei, vruchtproductie per week, % drogestof van vruchten, biomassa van stengels, lateralen en blad en bladoppervlak aan het einde van de teelt. Het groeimodel werd vervolgens geijkt door per ras de parameterwaarden aan te passen, zodanig dat de simulatie van vruchtproductie, eindbiomassa en LAI aan het einde van de teelt voor alle behandelingen klopte met de gemiddelde gemeten uitkomsten. Mogelijk paste het gewas zich aan aan de aangeboden lichtniveaus of CO₂-concentraties: dit zou betekenen dat de parameterwaarden zich zouden wijzigen. Er waren echter onvoldoende data om deze -mogelijke- aanpassingen in het model te verwerken.

3 Resultaten en discussie

3.1 Klimaat

3.1.1 Kastemperatuur

In onderstaande tabel is voor de verschillende perioden de ingestelde stooktemperatuur tijdens de dag (lichte periode) en nacht (donkerperiode) weergegeven. Deze instellingen golden voor beide proefkassen.

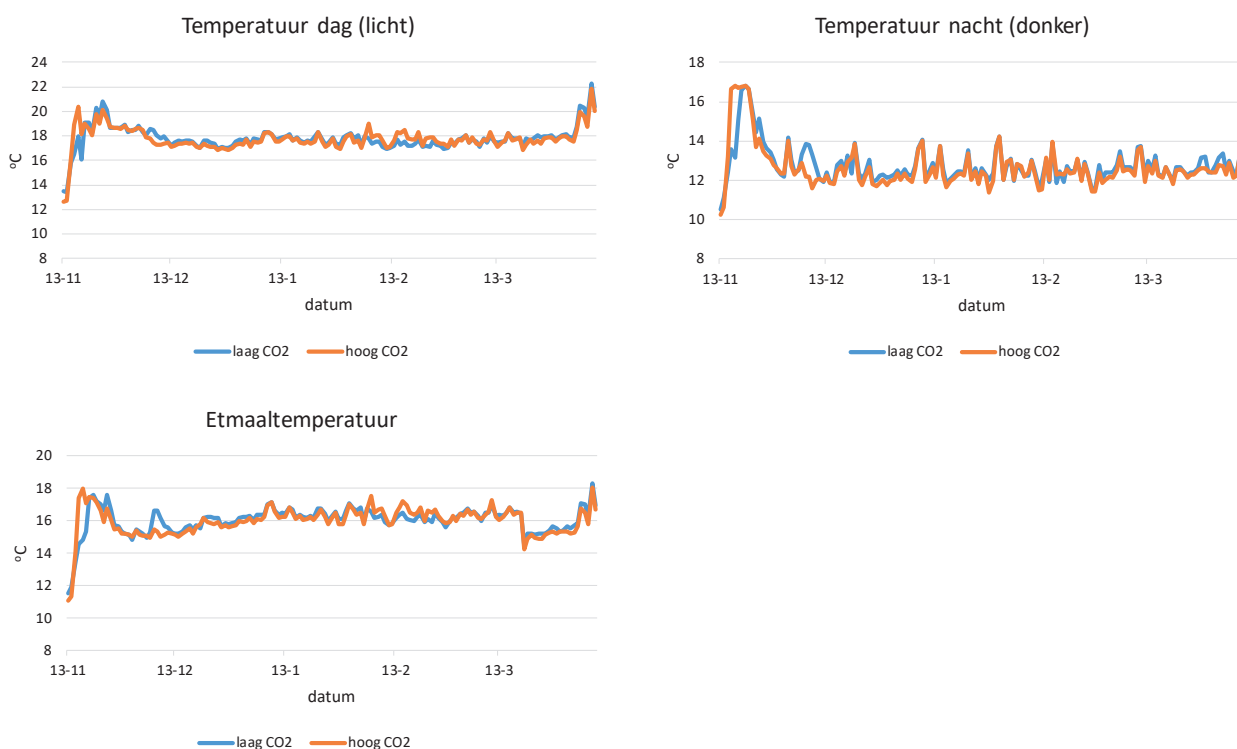
Tabel 1

Ingestelde dag- en nachttemperaturen voor de verschillende perioden tijdens de teelt.

Periode	Stooktemperatuur nacht (°C)	Stooktemperatuur dag(°C)
13 nov – 21 nov	16.5	18.0
22 nov – 6 dec	10.0	17.5
7 dec – 20 mrt	9.5	17.5
21 mrt – 10 apr	12.0	17.5

In de eerste week is een wat hogere temperatuur aangehouden om de uitloop van de knoppen te bespoedigen. Daarna is met name de nachttemperatuur omlaag gegaan om de dissimilatie te reduceren, zodat er meer assimilaten overbleven voor de uitgroei van zoveel mogelijk knoppen/lateralen. De laatste 3 weken is de nachttemperatuur verhoogd omdat dit anders zou resulteren in een te lage etmaaltemperatuur en tragere afrijping.

In Figuur 2 is resp. de gerealiseerde temperatuur tijdens de dag, nacht en etmaal weergegeven.



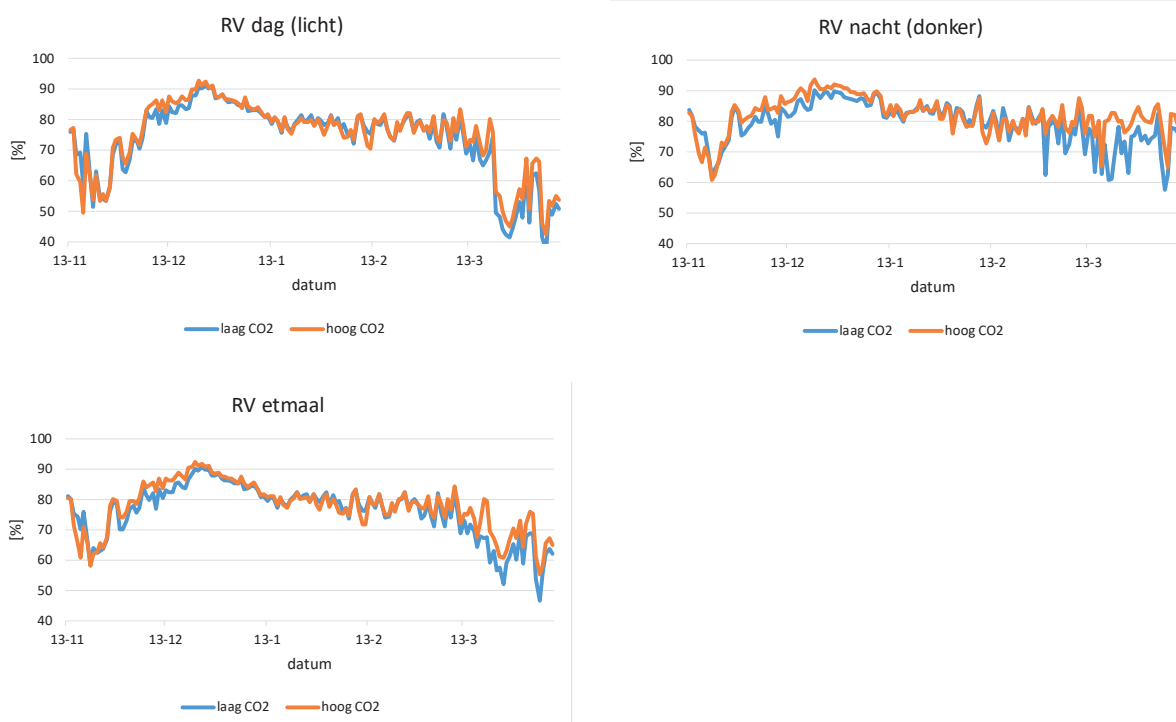
Figuur 2 Gerealiseerde dag- (=periode met licht), nacht- (=donkere periode) en etmaaltemperatuur in de afdeling met een lage en hoge CO₂-dosering gedurende de gehele teeltperiode.

Met uitzondering van globaal de 1^e week en de laatste weken was de gerealiseerde etmaaltemperatuur vrij constant. Over de gehele periode kwam de gerealiseerde dagtemperatuur in beide afdelingen uit op 17.8°C. In de nachtperiode was de gerealiseerde temperatuur in de afdeling met laag en hoog CO₂ resp. 12.8 en 12.6°C. Hierdoor werd gemiddeld in de twee afdelingen een etmaaltemperatuur van 16.1 en 16.0°C gerealiseerd. Dus over de gehele periode gezien zijn er nauwelijks of geen verschillen in gerealiseerde temperaturen ontstaan. Ook de extra opgehangen meetboxen op verschillende hoogtes gaven gemiddeld vrijwel dezelfde waarden voor de temperatuur aan als de klimaatboxen waarop het klimaat werd geregeld.

De lagere etmaaltemperatuur die vanaf 20 maart werd gerealiseerd, had te maken met het geheel stoppen met belichten, omdat er van nature al veel licht was (zie ook Par. 3.1.4). Hierdoor werd de donkere periode langer, zodat de nachtperiode een grotere invloed had op de etmaaltemperatuur. Daarnaast viel de warmte van de LED-lampen weg. Er moest toen meer worden gestookt om de ingestelde temperatuur te kunnen halen (zie Par. 3.1.3).

3.1.2 Luchtvochtigheid

In Figuur 3 is de gerealiseerde luchtvochtigheid tijdens de dag, nacht en het etmaal weergegeven.



Figuur 3 Gerealiseerde relatieve luchtvochtigheid tijdens de dag (=periode met licht), nacht (=donkere periode) en het etmaal in de afdeling met een lage en hoge CO₂-dosering per dag weergegeven.

Vooraf in de 2^e helft van december was de RV zowel op de dag als in de nacht erg hoog opgelopen, namelijk boven de 90%. Hierdoor werd de kans op schimmels vergroot, zou de kans op goede bevruchting van de bloemen door de verschillende bestuivers verminderen en zouden er meer problemen met de zetting kunnen ontstaan. De frambozenbloemen produceerden erg veel nectar. Als er onvoldoende nectar door de bestuivers werd weggenomen, zou er later roetdauw a.g.v. zwarte schimmels op kunnen treden. Dit moest zeker voorkomen worden. Volgens de leden van de Begeleidingscommissie Onderzoek (BCO) was de ervaring bij frambozentelers dat de RV voor een goede bevruchting en bestuiving van de bloemen elke dag een korte periode onder de 80% moest komen. Daarom zijn begin januari op advies van de BCO een aantal acties ondernomen, namelijk de VentilationJet met de horizontale ventilator daaronder gebruiken als beide schermen waren gesloten, een minimumventilatie van 2 à 3% en overdag een minimumbuis in te stellen van 27 à 30°C (zie Par. 3.1.4). Om meer luchtbeweging te creëren werd half januari tevens de horizontale ventilator continu aangezet op een relatief lage snelheid. Door al deze maatregelen kon de RV inderdaad worden verlaagd, wat in de figuur ook is te zien. Ongetwijfeld hebben ook de lagere buitentemperaturen hierbij een rol gespeeld.

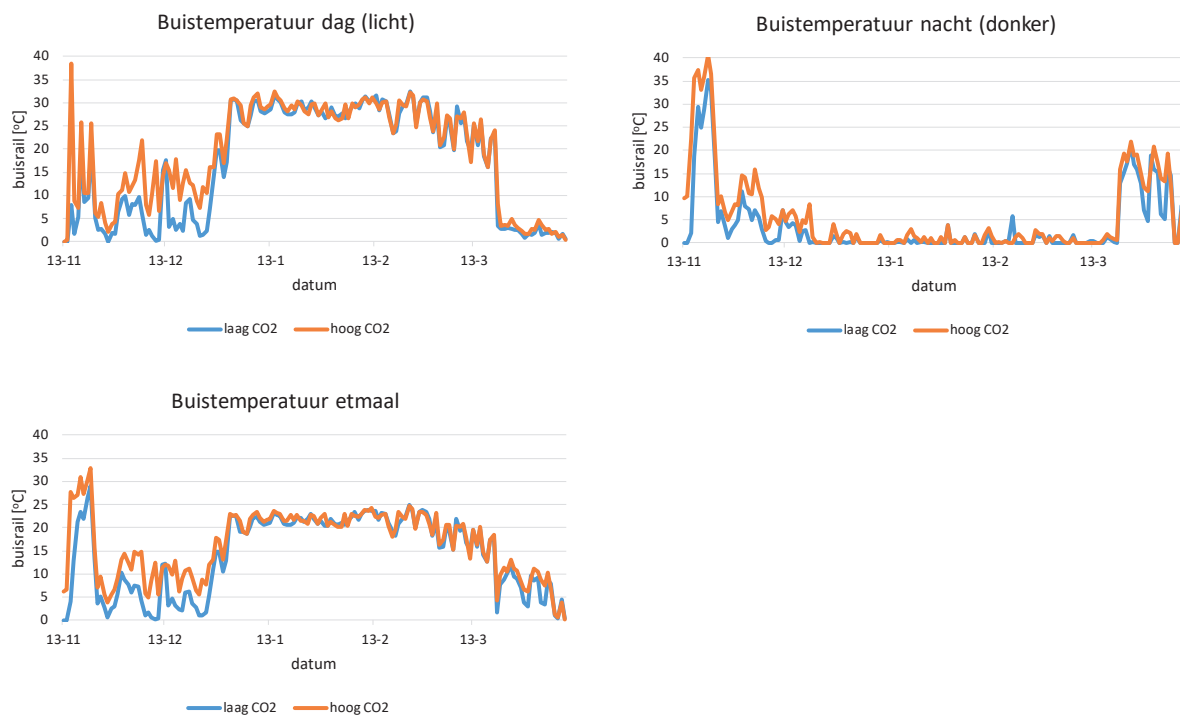


Figuur 4 Om de RV te verlagen en meer luchtcirculatie te verkrijgen, werd de VentilationJet met horizontale ventilator ingezet.

De verschillen tussen de afdelingen in RV gedurende de dag ofwel lichte periode waren gering. In de maanden december en maart zijn er wel wat RV-verschillen tussen beide afdelingen tijdens de nacht te zien, waardoor er in die periodes ook enige verschillen in etmaal-RV ontstonden. Hiervoor is niet direct een goede verklaring te geven. Alleen in de 1^e helft van december was er in de afdeling met laag CO₂ wat meer geventileerd om een gelijke temperatuur tussen beide afdelingen te realiseren, maar in maart was dit zeker niet het geval. Gemiddeld over de gehele periode was de gemeten RV in de kas met laag en hoog CO₂ tijdens de dag resp. 74 en 75%, tijdens de nacht resp. 80 en 82% en gedurende het etmaal resp. 76 en 78%. Dit zijn verschillen.

3.1.3 Buistemtemperatuur

In Figuur 5 zijn de berekende temperaturen van de buisrailverwarming weergegeven. Tijdens de proefperiode is er alleen verwarmd via de buisrail.

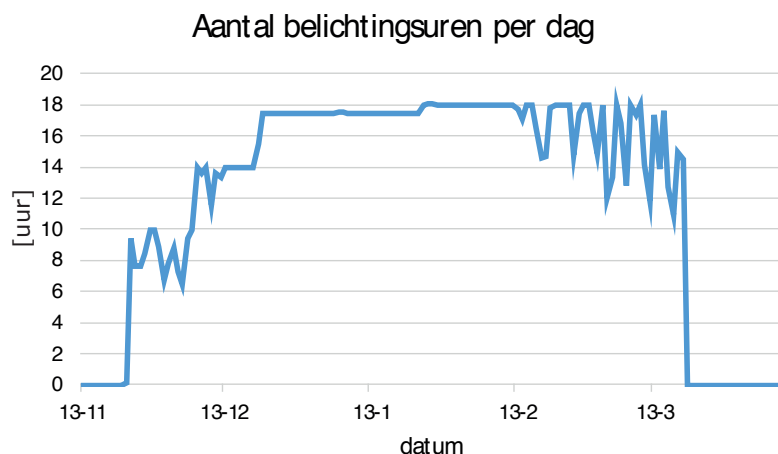


Figuur 5 Berekende buisrailtemperatuur tijdens de dag (=periode met licht), nacht (=donkere periode) en het etmaal in de kasafdeling met een lage en hoge CO₂-dosering gedurende de gehele teeltperiode.

Met name in het begin zijn er wat verschillen ontstaan in berekende buistemperatuur. Dit heeft waarschijnlijk grotendeels te maken met verschillen in gehandhaafde temperaturen in de ernaast gelegen kasafdelingen. Behalve in het begin en aan het einde van de proefperiode hoefde er tijdens de nacht nauwelijks of niet gestookt te worden. In het winterseizoen waarin het onderzoek werd uitgevoerd, is het echter nooit echt koud geweest. Omdat de luchtvochtigheid in december te hoog opliep is op advies van de BCO vanaf eind dec t/m half feb alleen in de lichte periode van de dag een minimumbuis van 27 à 30°C aangehouden (zie ook Par. 3.1.2).

3.1.4 Licht

In Figuur 6 wordt het aantal belichtingsuren per dag voor beide afdelingen weergegeven.



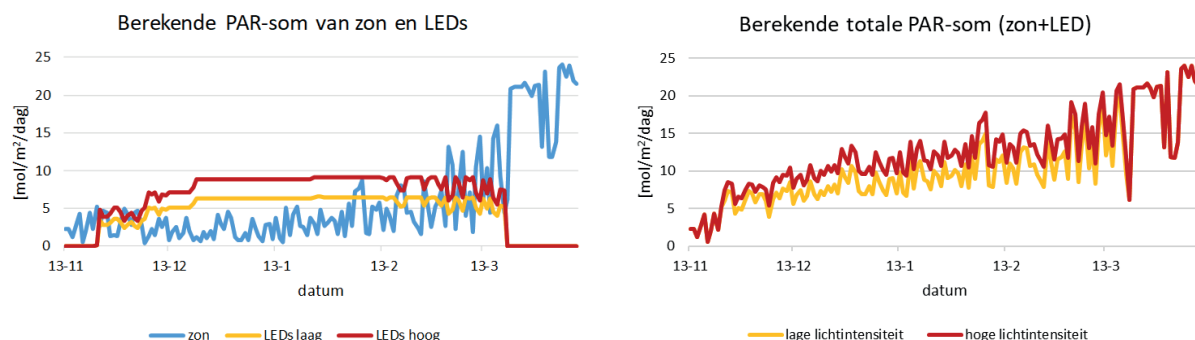
Figuur 6 Aantal belichtingsuren per dag in beide afdelingen.

Er is met belichting gestart op 23 november toen de blaadjes aan de lateralen zich begonnen te ontvouwen. Het aantal uren is daarna stapsgewijs opgebouwd naar maximaal 17.5 tot 18 uur belichting midden in de winter en later weer afgebouwd afhankelijk van de momentane straling.

Meer specifiek was de belichtingsstrategie als volgt:

- Start belichting op 23 november met maximaal 10 uur belichten, waarbij de lampen uit gingen bij stralingsniveau van de zon van 200 W/m² en weer aan bij 150 W/m². De blaadjes aan de lateralen begonnen zich toen te ontvouwen.
- Op 8 december is de belichting naar 14 uur gegaan, waarbij de lampen niet meer uitgingen als de straling van de zon boven een bepaald niveau was. De straling van de zon was beperkt, maar er was toen nog geen plantbelasting.
- Vanaf 21 december t/m 7 februari werd 17.5 à 18 uur belicht. In deze periode vond vanaf begin januari de 1^e bloei plaats en nam de plantbelasting dus toe, waardoor de planten meer assimilaten nodig hadden.
- Vanaf 8 februari werd er nog maximaal 18 uur belicht, maar gingen de lampen uit bij 300 W/m² en weer aan bij 250 W/m². In deze periode nam de straling immers toe.
- Vanaf 21 maart is er niet meer belicht omdat de plantbelasting sterk was afgenomen en de instraling door de zon hoog was.

In Figuur 7 is de berekende lichtsom per dag weergegeven van het zonlicht in de kas en de behandelingen met resp. de lage en hoge lichtintensiteit.



Figuur 7 Links: Berekende PAR-som per dag afkomstig van de zon en de LED-belichtingsbehandelingen met een lage en hoge lichtintensiteit. Rechts: Berekende totale lichtsom van de zon en LEDs bij elkaar opgeteld bij de 2 belichtingsbehandelingen.

Bij 18 uur belichten was er per dag een maximaal verschil in lichtsom tussen beide lichtbehandelingen van 2.6 mol/m². In de figuur is te zien dat het in de laatste weken van de teelt een zeer lichtrijke periode is geweest. Er is vanaf 21 maart dan ook niet meer belicht.

In Tabel 2 zijn de berekende lichtsommen per behandeling in beide proefkassen weergegeven.

Tabel 1

De berekende, totale lichtsommen aan PAR-licht (berekend van zon + LEDs) per behandeling en per afdeling weergegeven voor de totale periode vanaf de start t/m 29 maart en 9 april.

kasafdeling	Lichtbehandeling	CO ₂ -behandeling	PAR-lichtsom t/m 29 mrt (mol/m ²)	PAR-lichtsom t/m 9 apr (mol/m ²)
802	Laag	Laag	1341	1552
803	Laag	Hoog	1367	1578
802	Hoog	Laag	1620	1832
803	Hoog	Hoog	1579	1791

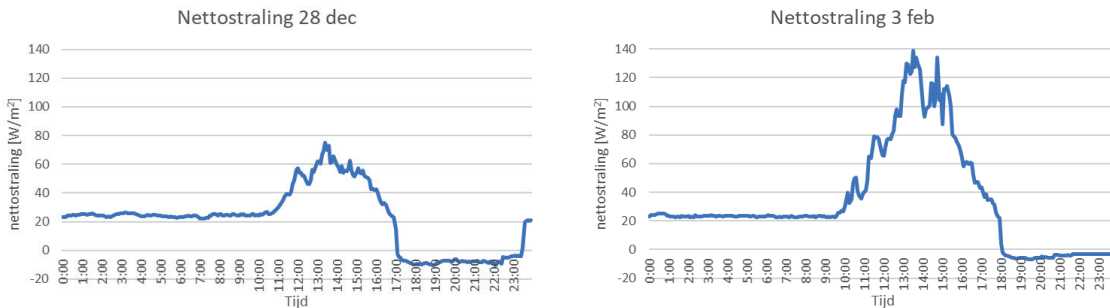
De berekende hoeveelheid PAR-licht in de kas die afkomstig was van de zon t/m 29 maart en 9 april was resp. 690 en 900 mol/m². Dit betekent dat er in de laatste 11 dagen nog 210 mol/m² aan PAR-licht van de zon is geweest. De grote hoeveelheid licht aan het einde van de proefperiode is ook te zien in Figuur 7. De periode t/m 29 maart is genomen omdat het ras Lagorai toen afgeoogst was. Bij het ras Kwanza is er t/m 9 april geoogst, maar de productie was in de laatste weken nog maar zeer beperkt. Daarom is het reëler om voor de lichtsom de periode t/m 29 maart aan te houden, mede omdat de 1^e destructieve bepalingen bij Lagorai vanaf 31 maart zijn verricht.

Zoals in de tabel is te zien liggen de behandelingen qua berekende lichtsom in kas 803 (hoog CO₂) wat dichterbij elkaar dan in kas 802 (laag CO₂). Dit werd veroorzaakt door beperkte verschillen in lichtoutput bij laag en hoog licht in beide afdelingen (zie Par. 2.1).

Vanaf de start t/m 29 maart kwam het aandeel LED-licht van de totale hoeveelheid licht in de kas bij de behandeling met een lage en hoge lichtintensiteit gemiddeld uit op resp. zo'n 49 en 56%. Over de hele proefperiode was dit, door het niet meer belichten en het vele zonlicht in de laatste weken, met resp. zo'n 43 en 50% duidelijk lager. Midden in de winter was ongeveer resp. 75 en 82% van het licht in de kas afkomstig van de LEDs.

3.1.5 Nettostraling

De nettostraling is continu gemeten met een netto-radiometer. In Figuur 8 zijn 2 voorbeelden gegeven van het verloop van de nettostraling, namelijk op 28 december en 3 februari. Op 28 december was het een relatief koude dag met een etmaaltemperatuur van 1.7°C. Op 3 februari was de etmaaltemperatuur 9.3°C. De stralingssom van de zon was op 28 december en 3 februari resp. 261 en 483 J/cm².



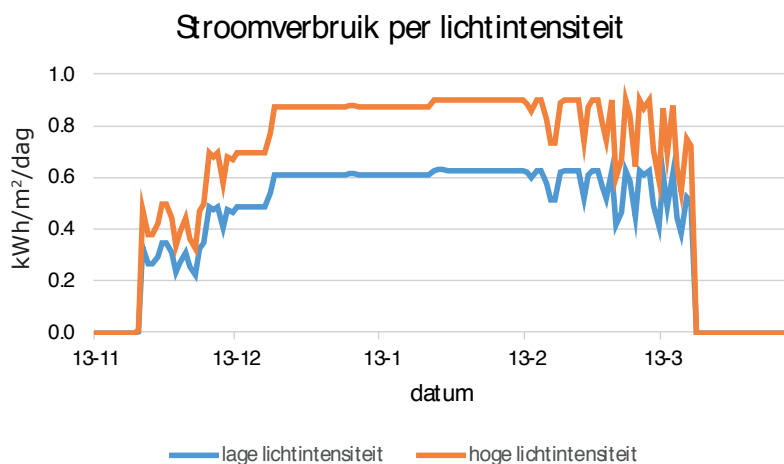
Figuur 8 Het verloop van de gemeten nettostraling in de kas op 28 dec en 3 feb.

Tijdens de donkerperiode was de straling negatief, ofwel er was toen uitstraling. Op beide dagen was deze minimaal resp. -10 en -7 W/m². Op 28 december gingen om ca. 23.30 uur de LEDs aan en sloot ook het verduisteringsscherm, waardoor de nettostraling weer positief werd. Ook op 3 februari werd er 's nachts belicht met het verduisteringsscherm dicht, maar dan vanaf ongeveer 0.00 uur. De nettostraling was in de belichte nachtperiode op beide data met ruim 20 W/m² ongeveer vergelijkbaar. Op 3 februari is er overdag meer straling van de zon, waardoor de nettostraling uiteraard hoger uitkomt.

3.1.6 Energiegebruik

3.1.6.1 Stroomverbruik

Het elektriciteitsverbruik is gerelateerd aan het aantal LED armaturen per oppervlakte eenheid, het stroomverbruik per armatuur (W) en het aantal uren belichting. In Figuur 9 is het stroomverbruik bij beide lichtintensiteiten van de LEDs per dag weergegeven.



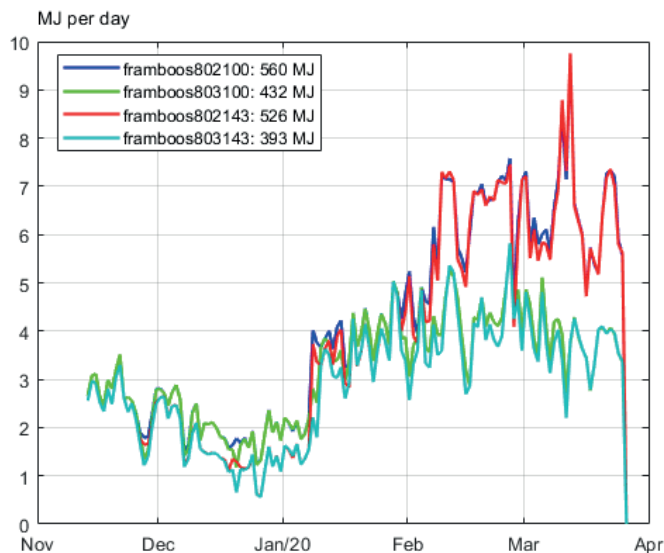
Figuur 9 Het berekende stroomverbruik per dag van de LEDs met een lage en hoge lichtintensiteit.

Bij de lage en hoge lichtintensiteit was het totale elektriciteitsverbruik gedurende de proefperiode resp. 65 en 89 kWh/m².

3.1.6.2 Warmtegebruik

Zoals reeds bij de proefopzet is vermeld, is het warmtegebruik van de frambozenteelten met het simulatiemodel Kaspro berekend bij de vier behandelingen (laag en hoog CO₂ (kas 802 en 803), en laag en hoog LED (lichtintensiteit '100' en '143' μmol/m²/s).

In Figuur 10 is het berekende warmtegebruik in de 4 behandelingen weergegeven.

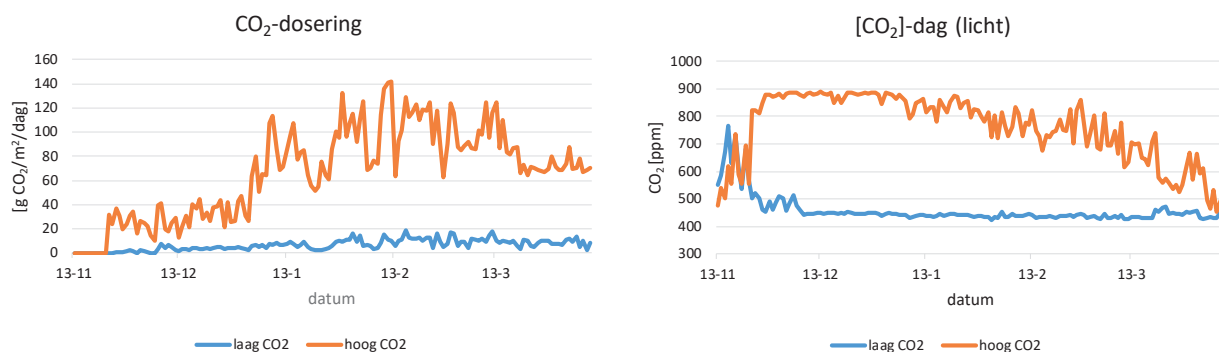


Figuur 10 Berekend warmtegebruik in de 4 behandelingen.

Doordat er op advies van de BCO veel moest worden ontvochtigd in verband met de zetting en schimmelontwikkeling in geoogst product, steeg ook de warmtebehoefte. Gedurende de hele teelt liep het berekend warmtegebruik uiteen van 393 MJ/m² in de afdeling met hoog CO₂ en hoog licht tot 560 MJ/m² voor de afdeling met de combinatie laag CO₂ en laag licht. Dit kwam overeen met respectievelijk 12,2 en 17,4 m³/m². Gemiddeld over beide afdelingen was dit bij de behandelingen met hoog en laag licht resp. 12,7 en 16,9 m³/m². Dit berekende warmteverbruik was behoorlijk hoog. Het inzetten van de minimumbuis in de 2^e helft van de teelt en het vaak gebruiken van de VentilationJet en de verticale ventilator om meer te ontvochtigen en de lucht te circuleren, zal het warmteverbruik verhoogd hebben. Ontvochtiging met een luchtbehandelingskast (LBK) met terugwinning van de voelbare en latente warmte zal zeker het verbruik aan warmte kunnen verminderen. Het blijft de vraag of het werkelijk noodzakelijk is om bij zo'n teeltwijze een minimumbuis in te zetten. Dit zou in vergelijkend onderzoek verder onderzocht moeten worden.

3.1.7 CO₂

CO₂ was in deze proef één van de onderzoeksfactoren. In Figuur 11 is de gedoseerde hoeveelheid CO₂ en het gerealiseerde CO₂-gehalte in beide kassen weergegeven.



Figuur 11 De gedoseerde hoeveelheid CO_2 in $\text{g}/\text{m}^2/\text{dag}$ en het gerealiseerde CO_2 -gehalte per dag in ppm tijdens de uren met zon- en/of LED-licht bij de behandelingen met hoog en laag CO_2 .

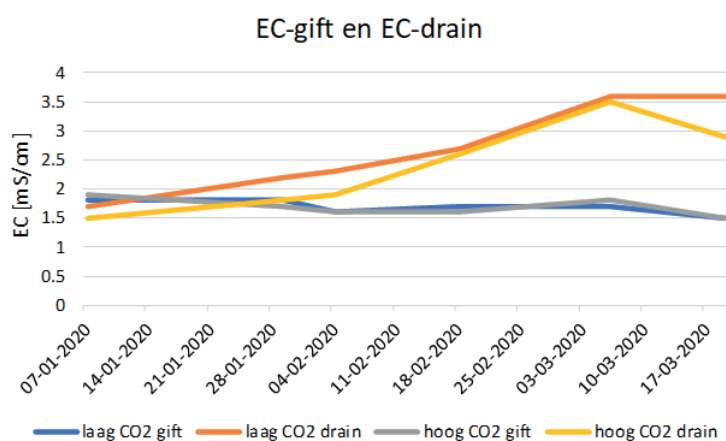
De CO_2 -dosering hangt af van het nagestreefde CO_2 -gehalte in de kaslucht, de maximale doseersnelheid en de mate van ventilatie met de luchtramen. In november en december werd er matig geventileerd en gebruikte het gewas nog niet veel CO_2 . Vanaf begin januari werd op advies van de BCO een minimumventilatie aangehouden van 2 à 3% om de kans op een goede zetting te vergroten en de kans op schimmelontwikkeling op de vruchten te verlagen. In deze periode was er ook relatief veel gewas- en vruchtgroei. Hierdoor verdween er enerzijds meer CO_2 door de luchtramen en anderzijds verbruikte het gewas meer CO_2 . Met name bij hoog CO_2 nam de doseerhoeveelheid per dag duidelijk toe. In totaal is bij laag en hoog CO_2 resp. 1 en $9.9 \text{ kg } \text{CO}_2/\text{m}^2$ gedoseerd, ofwel een factor 10 verschil!

Gemiddeld over de gehele periode bedroeg het gerealiseerde CO_2 -gehalte in de kaslucht tijdens de dagperiode met zon- en/of LED-licht bij laag en hoog CO_2 resp. 460 en 775 ppm, dus een verschil van ruim 300 ppm. Omdat CO_2 -sensoren na enige tijd af kunnen wijken, was er per kas voor de zekerheid een extra CO_2 -meetbox geplaatst. Gemiddeld over de gehele periode bleek het gemeten CO_2 -gehalte met deze meetboxen in beide kassen 20 ppm hoger te liggen. Het CO_2 -verschil van ruim 300 ppm tussen beide afdelingen bleef dus gelijk.

3.2 Water en voeding

De watergift was gedurende de teelt veelal een compromis tussen beide rassen. Lagorai had meer gewas, waardoor het verdampend bladoppervlak groter was en dit ras meer water nodig had dan Kwanza. Er werd echter voor gezorgd dat Lagorai geen watertekort had. Naast controle van de drain per ras, is hiervoor frequent de vochtigheid van het substraat in de potten visueel en door knijpen met de hand gecontroleerd. Omdat er 2 druppelaars per pot stonden, is enkele weken in december bij Kwanza tijdelijk de gift verminderd door maar met één druppelaar water te geven.

Kwanza had vooral in de eerste oogstweken veel last van dubbele of gespleten vruchten (zie Par 3.9) De indruk in de praktijk is dat dit te maken heeft met de waterhuishouding: een gemakkelijke beschikbaarheid van water en/of hoge RV. Tijdens de uitgroei van de vruchten is de RV echter niet erg hoog geweest (zie Par. 3.1.2). Het is wel zo dat de Kwanza-planten door minder gewasgroei minder verdampten c.q. water verbruikten dan de Lagorai-planten en het kokossubstraat bij Kwanza meestal vochtiger bleef. Vanaf de 2^e helft van februari is bewust later gestart met het druppelen (start i.p.v. 1.5 uur, 4 uur na lampen aan) en is ook minder water gegeven, waardoor het drainpercentage daalde, maar de EC steeg. In Figuur 12 is het verloop van de EC-gift en -drain weergegeven.



Figuur 12 De gemeten EC van de gift en de drain in de afdeling bij laag en hoog CO₂ gedurende de teeltperiode.

De gemeten EC in de gift varieerde van 1.8 à 1.9 bij de start tot 1.5 mS/cm tegen het einde van de teelt. De EC in de drain liep gedurende de teelt duidelijk op. Dit was vooral het gevolg van minder watergeven en daarmee een lager drainpercentage om zoveel mogelijk de hoeveelheid dubbele vruchten te minimaliseren. Gemiddeld lag de gerealiseerde EC-drain in de kas met laag CO₂ iets hoger dan bij hoog CO₂, namelijk 2.7 versus 2.4 mS/cm.

Voor wat betreft de voedingssamenstelling is er minder borium gegeven dan wat normaal wordt geadviseerd bij framboos, omdat bekend is dat het ras Kwanza gevoelig is voor boriumovermaat. Verder is het normale voedingsschema gebruikt, met dien verstande dat er verschil is gemaakt in voedingsschema vanaf de start, vanaf het moment met de eerste gezette vruchten en vanaf ca. 2 weken voor de oogst.

3.3 Ziekten/plagen, bestuiving en gewasstand

Bij het planten op 13 november zagen de canes van Lagorai die 11 maanden in de bewaarcel bij ca. min 1.5°C waren bewaard, er nog goed uit en vertoonden geen botrytis. Het plantmateriaal van de 'verse' canes van Kwanza, die ongeveer 10 weken waren bewaard bij + 1.5°C, zagen er beduidend minder uit, met vaak op diverse plaatsen botrytis. Soms stierven stengelgedeeltes af of liepen lateralen aan de canes niet uit door de aantasting in de oksels. De botrytisaantasting, die soms sterk plantafhankelijk was, heeft ongetwijfeld een negatieve invloed gehad op de productie en heeft de heterogeniteit van het plantmateriaal van Kwanza vergroot. Zo waren de aantallen lateralen lager dan gewenst (zie Par. 3.11). Door het inpakken in plastic is de RV tijdens de bewaring waarschijnlijk te hoog opgelopen en werd de luchtcirculatie teveel belemmerd. In de bewaarmethode van verse canes kan dus nog een duidelijke optimalisatieslag worden gemaakt.



Figuur 13 Op de foto's, genomen op 3 dec, zijn op de canes van het ras Kwanza duidelijk de bruine plekken a.g.v. *botrytis* te zien. Hierdoor liepen sommige lateralen niet uit.

Begin december is gestart met het uitzetten van biologische bestrijding met o.a. het ophangen van zakjes met *Amblyseius swirskii* tegen o.a. trips. Tijdens de teeltperiode zijn verder preventief *Neoseiulus californicus* (tegen spint), *Encarsia formosa* en *Eretmocerus erimicus* (tegen wittevlies), *Aphidius colemani* en *Aphidoletes aphidimyza* (tegen luis) en *Macrolophus pygmaeus* (tegen diverse plagen) in het gewas uitgezet. De ingezette hoeveelheden biologische bestrijders waren wel veelal hoger dan wat in de praktijk gebruikelijk is. Plagen zijn echter nauwelijks of niet opgetreden. In januari was er bij Kwanza wat vreterij aan het blad door de aardvlo. De uitgezette *Macrolophus* zou hier wat tegen moeten doen, maar deze is nauwelijks in het gewas teruggevonden, mogelijk omdat het te koud was voor deze roofwants. In maart was er een lichte aantasting door luis, maar deze kon mede door het uitzetten van zweefvliegen (*Sphaerophoria rueppellii*) goed worden bestreden. Tijdens de gehele teelt zijn er geen chemische bestrijdingen uitgevoerd.

3.4 Bestuiving

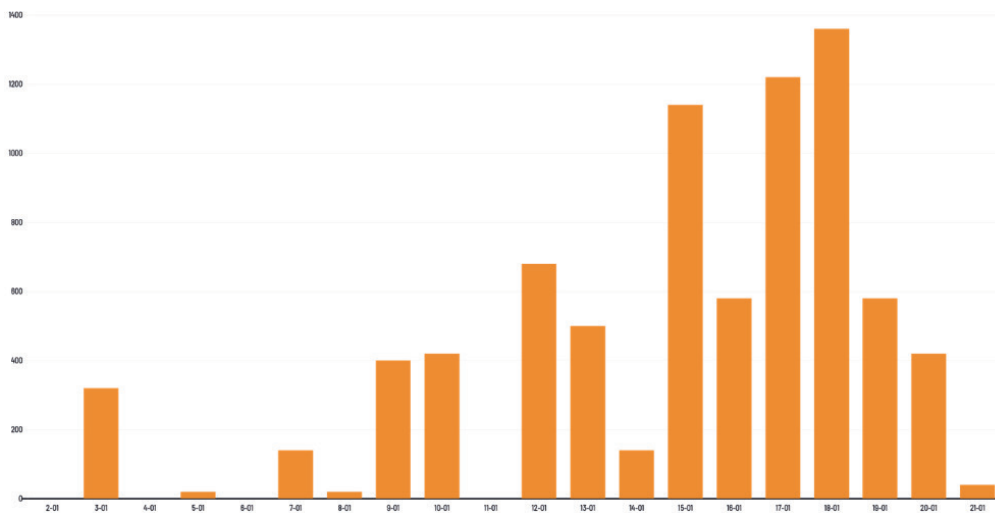
De bestuiving van de bloemen vond het grootste gedeelte van de tijd plaats via de combinatie van zweefvliegen, hommels en bijen. Alle drie bestuivers verzamelen nectar, waardoor de kans op het ontstaan van zwarte schimmels in het geoogste product sterk werd verminderd. Mede dankzij de inzet van de 3 soorten bestuivers is de vruchtzetting goed verlopen. Alleen bij de allereerste vruchtjes waren soms niet alle bolletjes van de vrucht volledig gezet, wat duidt op onvolledige bestuiving.

Telling van de bijen gebeurde bij de uitvlieg-/invliegopening van de bijenkast automatisch via een teller, die om de 20 minuten gedurende 30 sec het aantal binnenkomende bijen registreerde. Het probleem bij de automatische telling van het aantal invliegende bijen was dat dit niet altijd een goede indicatie gaf over de activiteiten van de bijen in het gewas. Soms vlogen ze alleen rondjes rondom de bijenkast en niet op de bloemen in het gewas, wat natuurlijk wel de bedoeling was.

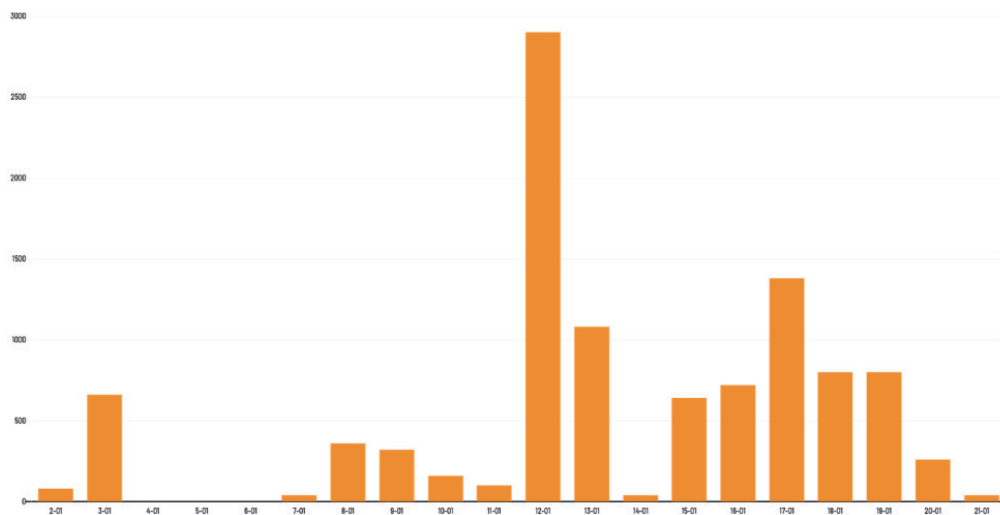


Figuur 14 De invliegende bijen werden automatisch geteld, maar de verzamelde gegevens vormden een beperkte indicator voor de mate van bestuivingsactiviteiten van de bijen in het frambozengewas.

Als voorbeeld van de verzamelde gegevens wordt in Figuur 15 t/m 18 de vlieggegevens per dag gedurende 3 weken in januari gegeven van de bijen in kas 802 en 803, dat is respectievelijk de kasafdeling met de lage en hoge CO₂-dosering.



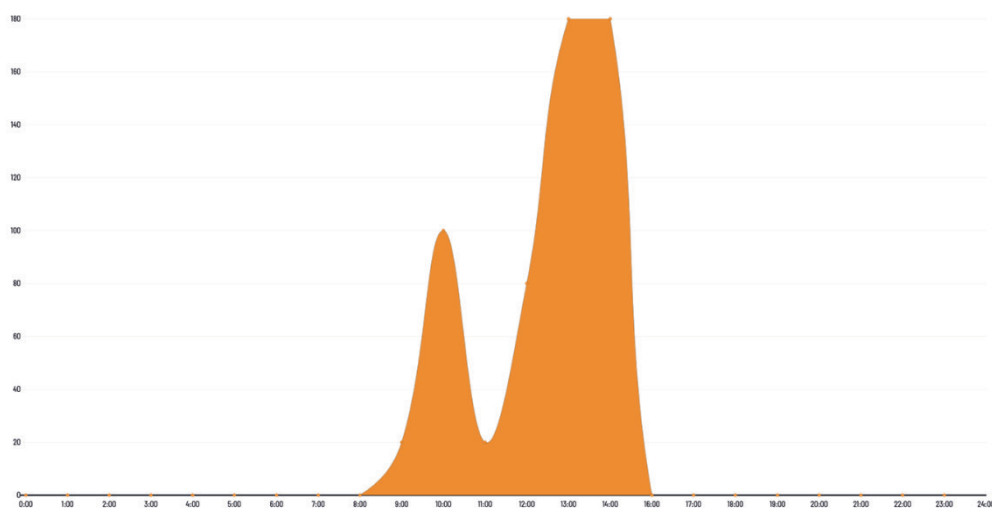
Figuur 15 Vlieggegevens van bijen uit de bijenkast in kasafdeling 802 gedurende 3 weken in januari.



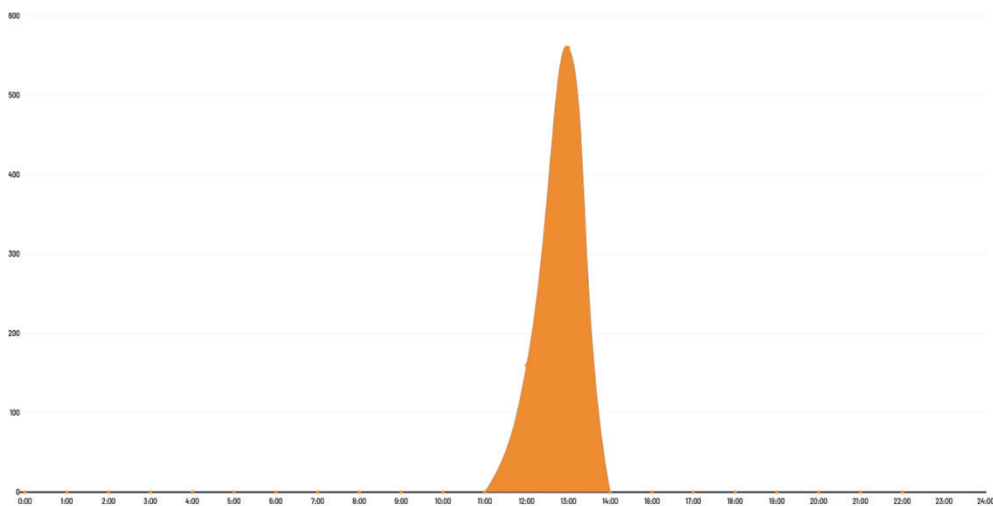
Figuur 16 Vlieggegevens van bijen uit bijenkast in kasafdeling 803 gedurende 3 weken in januari.

N.B. Schaal van de y-as met het aantal bijen is verschillend met die in de voorgaande figuur!

Wat opvalt is dat er per kast en dag soms grote verschillen waren in aantallen bijen die de bijenkast invlogen.



Figuur 17 Vlieggegevens bijen van bijenkast in kasafdeling 802 gedurende een etmaal (17 januari).



Figuur 18 Vlieggegevens van de bijen uit de bijenkast in kasafdeling 803 gedurende een etmaal (17 januari).

Er waren grote verschillen in vlieggedrag per kast gedurende een etmaal. De bijen in afdeling 802 vlogen op deze datum meer verspreid over de dag, namelijk van ca. 8.00 tot 16.00 uur. In afdeling 803 vlogen ze gedurende een kortere periode (van ca. 11.00 tot 14.00 uur), maar wel massaler (schaal in figuren is verschillend).



Figuur 19 Voor de bestuiving zijn naast bijen en hommels, ook frequent zweefvliegen gebruikt. Op de foto staat een zweefvlieg op een frambozenbloem.

3.5 Gewasgroei en gewasstand

Zoals hiervoor is vermeld, groeiden er bij Kwanza als gevolg van botrytisaantasting tijdens de bewaring minder lateralen uit dan gewenst. Na een aanvankelijke uitgroei, konden er later nog lateralen wegvallen als gevolg van verdergaande botrytisaantasting van de canes. Dit varieerde sterk per plant, waardoor de heterogeniteit tussen planten toenam en dit had ook consequenties voor het productieniveau tussen planten onderling en waarschijnlijk ook tussen de veldjes. De lateralen bij Lagorai ontwikkelden zich echter wel goed en het gewas van dit ras werd zelfs aan de volle kant.



Figuur 20 Voorin het ras Kwanza en achterin de kas het ras Lagorai. Het ras Lagorai had duidelijk meer uitloop van lateralen en een voller gewas dan Kwanza. Foto genomen op 24 december.

Half december vertoonde Kwanza enige verbranding van de bladranden, wat zich enkele weken later nog licht doorzette. Dit zou volgens de BCO nog het gevolg kunnen zijn van een te hoog Na-gehalte (zoutschade) in de opkweek. In een bemestingsanalyse van begin januari lag het Na-gehalte op 1 à 1.2 mmol/l bij een EC van 1.5 à 1.7 mS/cm, wat volgens telers inderdaad aan de hoge kant was.

De eerste bloei vond begin januari plaats. Toen zijn ook hommels en bijen de kas ingegaan. Enkele weken later zijn zweefvliegen in de kas uitgezet. Bij het tikken tegen de bloemetjes kwam half januari teveel nectar vrij, waardoor bestuiving suboptimaal zou kunnen zijn en er in de naoogstfase ook roetdauw op de vruchten kon ontstaan. Volgens de BCO zou de grote hoeveelheid nectar het gevolg zijn van een te hoge RV. Daarom is getracht om de RV wat te verlagen (zie par. 3.1.6.2). De genomen acties hadden een duidelijk effect op de hoeveelheid nectar in de bloemen. Met uitzondering van de allereerste vruchten, is de zetting verder prima verlopen.



Figuur 21 De 1e bloei vond begin januari plaats. Om zoveel mogelijk licht op te vangen is het net relatief laat opgetrokken.

De bladkleur was in het algemeen goed. Begin maart trad bij Kwanza een lichte bladvergelting op, maar dit is in deze teeltfase normaal bij dit ras. De lateralen en de bladeren van Lagorai waren duidelijk minder stevig dan van Kwanza. Door het grotere aantal uitgroeiende lateralen toonde het Lagorai-gewas voller en was soms zelfs te vol. Voor dit ras was een padbreedte van 1.60 m eigenlijk te smal. Vanuit de wortels groeiden bij Lagorai duidelijk meer scheuten dan bij Kwanza, wat extra arbeid met zich meebracht.

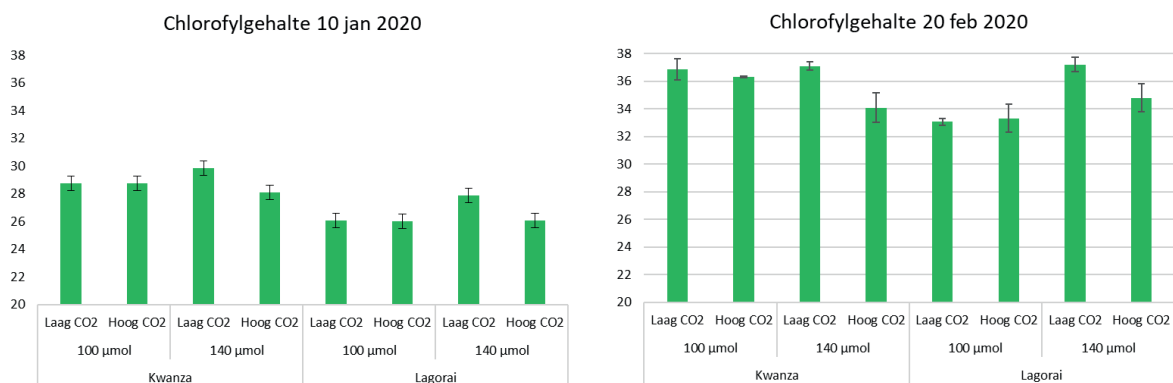


Figuur 22 Begin maart trad er bladvergeling op bij Kwanza. Foto is genomen op 17 maart.

Bij iets meer dan 23000 graaduren begonnen de eerste vruchtjes in week 6 te kleuren. Dit kwam globaal overeen met praktijkervaringen. Het gewas van Lagorai was ca. 14 dagen eerder afgeogst dan dat van Kwanza.

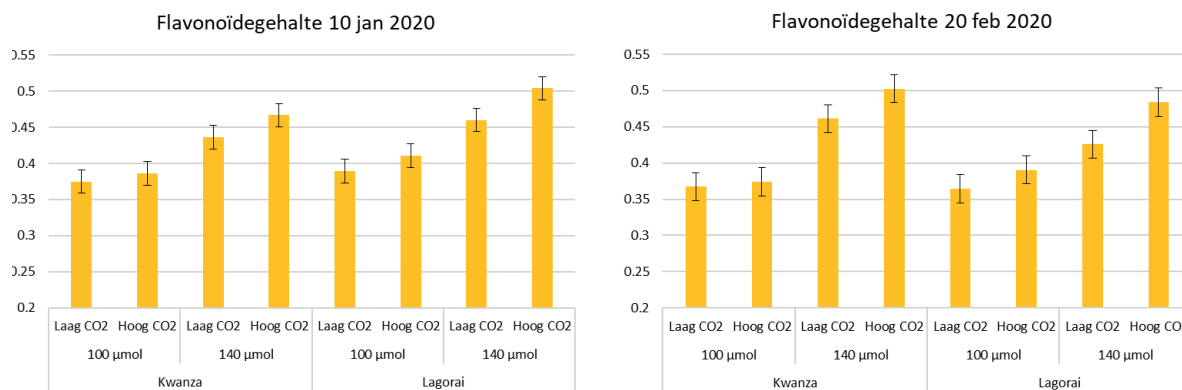
3.6 Bladkleurmetingen

De resultaten van de metingen met de Dualexmeter in januari en februari van de gehalten aan chlorofyl, flavonoïde en anthocyaan in het blad zijn weergegeven in resp. Figuur 23, 24 en 25.



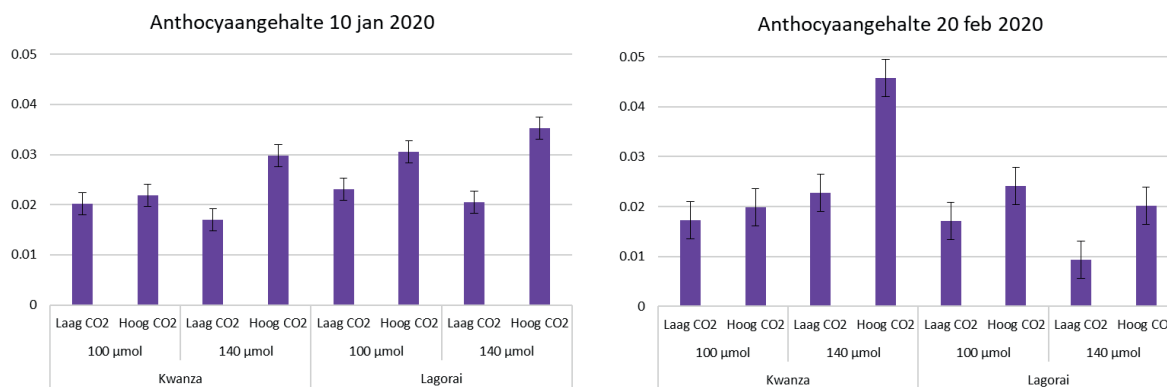
Figuur 23 Het chlorofylgehalte van het blad gemeten in januari en februari bij de verschillende lichtintensiteiten en CO₂-concentraties, per ras weergegeven.

Tussen de verschillende behandelingen waren er in chlorofylgehalte van het blad in januari nauwelijks verschillen te zien. In februari leek het blad van beide rassen bij de combinatie hoge lichtintensiteit en hoog CO₂ een wat lager chlorofylgehalte te bevatten. De verklaring is onduidelijk, maar mogelijk begon het blad bij deze combinatie al wat eerder gelig te verkleuren. Het chlorofylgehalte was in de 2^e helft van februari duidelijk toegenomen t.o.v. 1^e helft van januari. In januari en februari was het chlorofylgehalte gemiddeld over alle behandelingen resp. 27.7 en 35.3.



Figuur 24 Het flavonoïdegehalte van het blad gemeten in januari en februari bij de verschillende lichtintensiteiten en CO₂-concentraties, per ras weergegeven.

In zowel januari als februari waren bij beide rassen dezelfde tendensen in flavonoïdegehaltes te zien: bij de hoogste lichtintensiteit nam het flavonoïdegehalte bij hoog CO₂ toe. Bij het laagste lichtniveau waren de verschillen geringer en niet betrouwbaar. De rassen verschilden nauwelijks in flavonoïdegehalte.



Figuur 25 Het anthocyaangehalte van het blad gemeten in januari en februari bij de verschillende lichtintensiteiten en CO₂-concentraties, per ras weergegeven

In veel gevallen was het anthocyaangehalte hoger bij hoog CO₂. Het lichtniveau had hierop weinig effect. Meer anthocyaan bij hoog CO₂ zou kunnen betekenen dat het blad iets paarser van kleur was, maar dit is visueel niet duidelijk zichtbaar geweest. Opvallend is wel het hoge anthocyaangehalte bij de combinatie hoog CO₂/hoog Licht bij het ras Kwanza. Mogelijk was hier sprake van een overschot aan assimilaten.

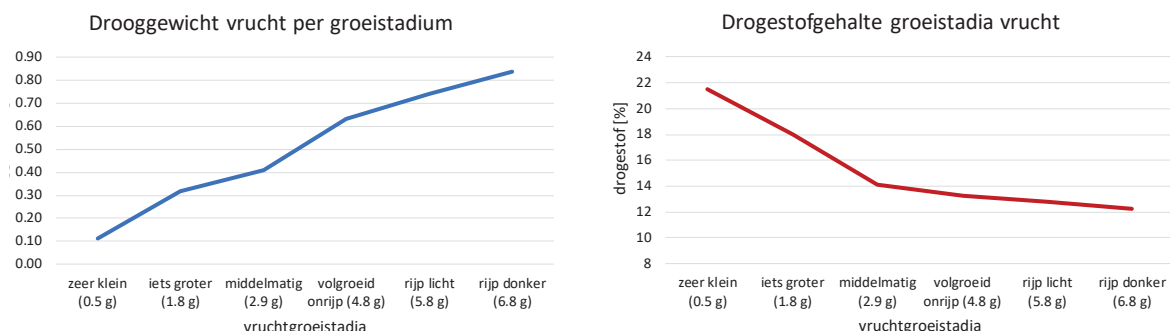
3.7 Huidmondjes

Ondanks herhaalde pogingen en goede ervaringen met de gebruikte methode bij andere gewassen zoals tomaat en paprika, is het bij de beide rassen helaas niet gelukt om de aantallen huidmondjes in de bladeren bij de verschillende behandelingen te bepalen. Het bleek niet mogelijk om het rubberstempel bestaande uit Xanthopren + harder van het blad te scheiden. Mogelijk heeft dit te maken met het ontbreken van een cuticulum bij het blad van een framboos.

Het is erg jammer dat het niet gelukt is om het aantal huidjes per oppervlakte-eenheid te tellen, want het had juist interessant geweest om na te gaan of de planten zich via het aantal huidmondjes zouden aanpassen aan een laag CO₂-gehalte door als compensatie meer huidmondjes aan te maken. Dit is wel bij andere gewassen gevonden, zoals bij tomaat (De Visser *et al.* 2021)

3.8 Verloop drogestof tijdens vruchtgroei

In Figuur 26 is het drooggewicht en het drogestofgehalte van Lagorai-vruchten per groeistadium weergegeven.



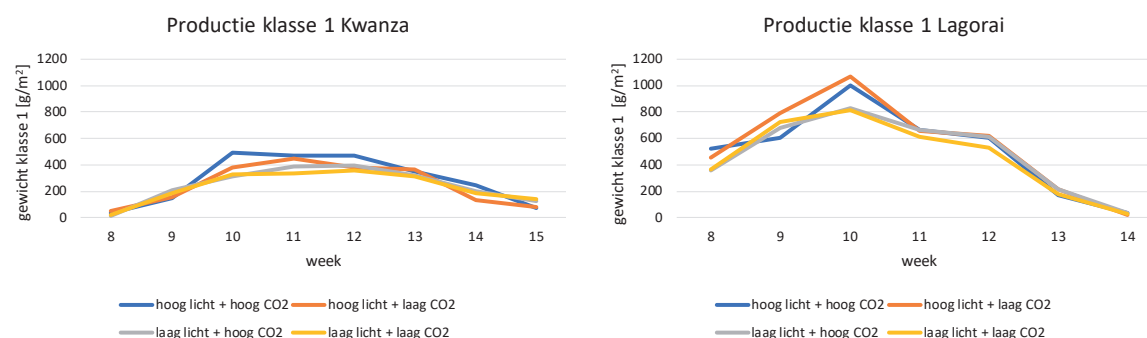
Figuur 26 Het drooggewicht en het drogestofgehalte van Lagorai-vruchten tijdens de vruchttuitgroei in 6 verschillende stadia. Tussen haakjes staan daaronder de gemiddelde gewichten van de uitgroeide vruchtjes per stadium.

Het drooggewicht per vrucht volgde tijdens de vruchttuitgroei een vrijwel rechte lijn. Het drogestofgehalte was in een zeer jong stadium met bijna 22% hoog en daalde daarna sterk tot het stadium 'middelmatig', om daarna vanaf het volgroeide stadium minder sterk af te nemen. Het drogestofgehalte was, ondanks een waarschijnlijk hogere refractie c.q. suikergehalte, in het volrijpe stadium het laagst. Tussen de twee CO₂-concentraties in de kaslucht waren de verschillen in drogestofgehalte van de uitgroeide vruchtjes gering en worden dan ook niet apart in Figuur 26 weergegeven.

3.9 Productie en kwaliteit

De eerste oogst vond plaats op 18 feb. De laatste oogst voor Kwanza en Lagorai vond plaats op resp. 14 en 1 apr. Lagorai had dus een kortere oogstperiode dan Kwanza.

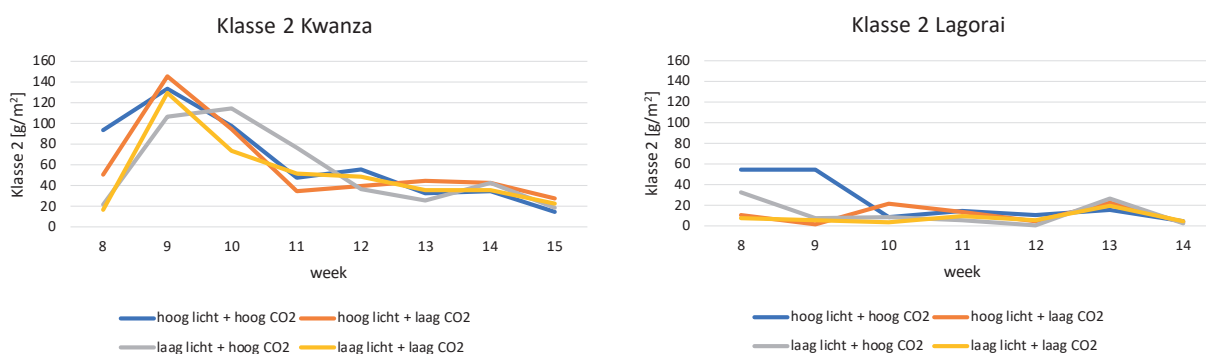
In Figuur 27 is het productieverloop per week weergegeven bij de verschillende combinaties van licht- en CO₂-behandelingen bij de rassen Kwanza en Lagorai.



Figuur 27 Productie per week van klasse 1-vruchten bij de 4 behandelingen per ras weergegeven.

In de Figuur 27 is duidelijk te zien dat de productie al vanaf het begin bij Lagorai duidelijk hoger was dan bij Kwanza. Bij Kwanza was er nog wat nabloeï, waardoor de productie nog wel iets doorliep. Bij beide rassen is te zien dat de productie bij een hoge lichtintensiteit van ca. 140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ vooral in de middenperiode van de oogst, wat hoger uitkwam dan bij een lichtintensiteit van ca. 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

In Figuur 28 is het gewicht van de klasse 2 vruchten per week weergegeven.

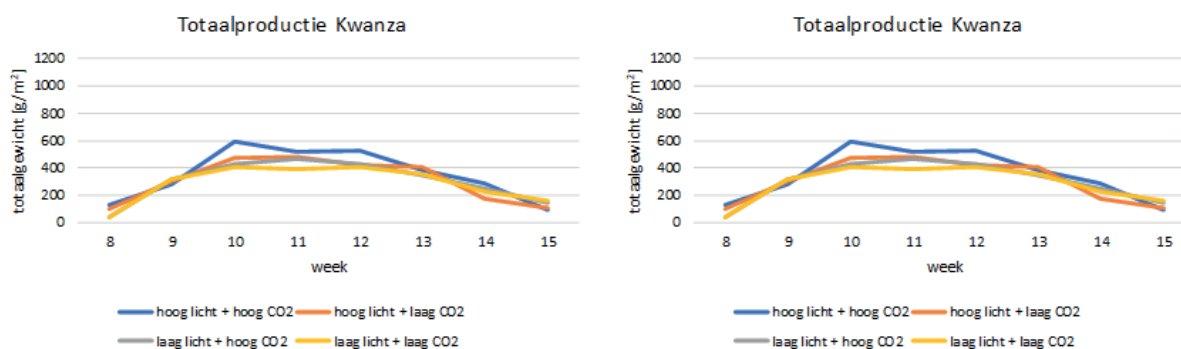


Figuur 28 Productie per week van klasse 2-vruchten bij de 4 behandelingen per ras weergegeven.

Kwanza heeft duidelijk meer klasse 2 vruchten gegeven dan Lagorai. Dit werd vooral veroorzaakt door dubbele vruchten. Met name in de eerste oogstweken was de hoeveelheid klasse 2-vruchten bij Kwanza erg hoog. Opvallend is dat bij Lagorai de behandeling hoog licht + hoog CO₂ in de 1^e twee oogstweken relatief veel klasse 2 vruchten gaf t.o.v. de andere behandelingen bij dit ras. Dit werd ook grotendeels veroorzaakt door dubbele vruchten.

Dubbele vruchten zouden bijv. kunnen ontstaan bij een hoge osmotische druk van bijv. suikers, maar de refractie en het drogestofgehalte van de vruchten waren in deze week bij deze behandeling niet hoger dan bij de andere behandelingen (zie ook Par. 3.10). Mogelijk dat de watergift voor Kwanza soms aan de hoge kant was, zodat de worteldruk hoger was en de vruchten meer op spanning stonden. De watergift was echter een compromis tussen beide rassen en aangezien het ras Lagorai veel meer gewasgroei vertoonde dan Kwanza, was de gift vooral gericht op de waterbehoefte van Lagorai. Aan de andere kant is er wel sterk gewerkt aan de ontvochtiging van de lucht en circulatie van de lucht m.b.v. een ventilator, waardoor de planten met vruchten minder op spanning gestaan zouden moeten hebben.

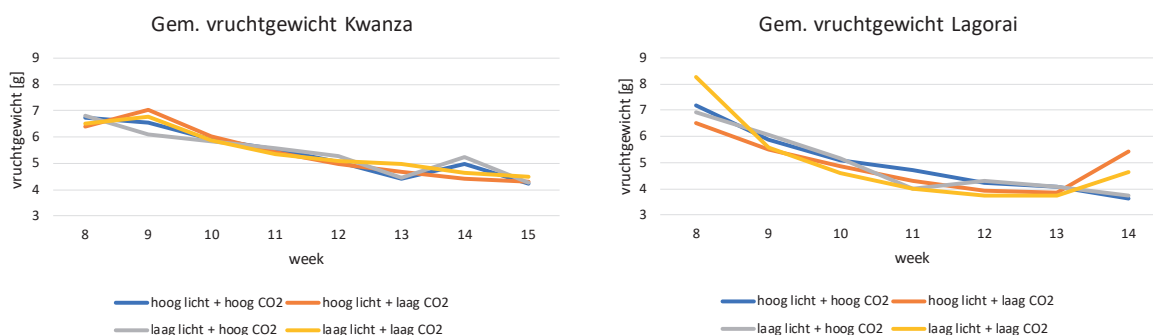
In Figuur 29 staat het verloop van de totale productie aan klasse 1 en 2 vruchten gegeven.



Figuur 29 Totaalproductie per week bij de 4 behandelingen per ras weergegeven.

Tussen beide rassen was er een groot verschil in totaalproductie te zien. De behandelingen met hoog licht springen er bij beide rassen bovenuit. Vooral in week 10 was het verschil tussen hoog en laag licht bij Lagorai groot. In die week bedroeg de meerproductie ongeveer 25%. De totaalproductie was bij hoog licht + hoog CO₂ was bij Kwanza in week 10 t/m 12 duidelijk hoger dan de andere behandelingen.

In Figuur 30 is het verloop van het gemiddeld vruchtgewicht per behandeling in de tijd gegeven.



Figuur 30 Het gemiddeld vruchtgewicht per week bij de 4 behandelingen per ras weergegeven.

Bij beide rassen is er in de tijd een dalende tendens in vruchtgewicht te zien. Bij Lagorai nam het gemiddeld vruchtgewicht in de tijd wat sterker af dan bij Kwanza. Bij Lagorai steeg het gemiddeld vruchtgewicht in de laatste oogstweek weer iets, maar dit was waarschijnlijk vooral het gevolg van een zeer beperkt aantal geoogste vruchten c.q. lage plantbelasting bij dit ras in week 14.

In Tabel 3 is per behandeling de productie, % klasse 2 en gemiddeld vruchtgewicht gegeven.

Tabel 3

Gewicht cumulatieve productie klasse 1, cumulatieve productie klasse 2, totaalgewicht klasse 1 en 2, gewichtspercentage klasse 2, gewicht afval en gemiddeld vruchtgewicht gemiddeld per behandeling.

Behandeling	Klasse 1 (g/m ²)	Klasse 2 (g/m ²)	Totaalproductie (g/m ²)	% klasse 2 (%)	Afval (g/m ²)	Gemiddeld vruchtgewicht (g/m ²)
Laag CO ₂	2735	257	2992	10.3	58	5.0
Hoog CO ₂	2815	301	3116	10.8	44	5.1
Laag licht	2623	250	2835	10.2	46	5.1
Hoog licht	2927	308	3208	11.0	56	5.1
Kwanza	2033	462	2494	18.5	63	5.3
Lagorai	3517	97	3613	2.6	39	4.9

CO₂: Het productieverschil tussen laag en hoog CO₂, ofwel tussen een gemiddelde CO₂-concentratie van resp. 460 en 775 ppm, was bij klasse 1 en bij het totaalgewicht gemiddeld slechts resp. 3 en 4%. Een gedeelte van de meeropbrengst werd veroorzaakt door de oogst van wat meer klasse 2, wat natuurlijk niet positief is. Bij Kwanza leek het effect echter groter dan bij Lagorai. Bij Kwanza was er gemiddeld een positief effect van CO₂ van bijna 10%, terwijl dit bij Lagorai rond de 0% lag. In tegenstelling tot de verwachting, was bij Lagorai hoog CO₂ in combinatie met hoog licht zelfs wat negatief voor de productie. In hoeverre de variatie tussen planten hierbij een rol gespeeld heeft, is moeilijk te zeggen. Bij het ras Kwanza waren de planten als gevolg van botrytisaantasting tijdens en na de bewaring van de canes in ieder geval veel heterogener dan bij Lagorai. Het vruchtgewicht was bij hoog CO₂ slechts een fractie hoger. Dat er maar een gering effect is gevonden op de productie van ruim 300 ppm hoger CO₂-gehalte in de lucht bij 10 maal zoveel doseren, komt waarschijnlijk door de relatief lage lichtintensiteit in de winterperiode. Zie ook resultaten fotosynthesemetingen in Par. 3.13.

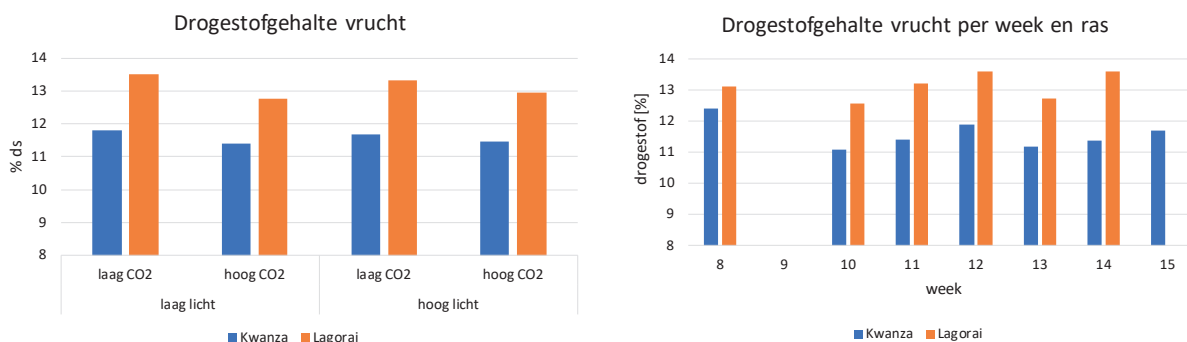
Lichtintensiteit: Een verhoging van de lichtintensiteit van de LEDs van 100 naar bijna 140 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, gaf bij klasse 1 en totaal resp. 11.5 en 12.5% meer productie. De procentuele meerproductie was bij beide rassen ongeveer gelijk. Het percentage klasse 2-vruchten nam bij meer licht iets toe, waarschijnlijk deels door de oogst van meer dubbele vruchten bij een hogere lichtintensiteit. Er was geen duidelijk effect van de lichtintensiteit op het gemiddeld vruchtgewicht. Dit betekent dat de meeropbrengst bij meer licht bijna uitsluitend door de oogst van meer vruchten werd veroorzaakt. Dit kwam bij Lagorai door meer lateralen en bij Kwanza door meer vruchten per lateraal (zie ook Par. 3.11).

Ras: De productie lag bij Lagorai met gemiddeld 3.5 à 3.6 kg/m^2 veel hoger dan bij Kwanza. Het laatst genoemde ras produceerde aan vruchten van klasse 1 en klasse 1 + klasse 2 resp. 2.0 en 2.5 kg/m^2 . Ook werden er bij Kwanza teveel klasse 2-vruchten geoogst, namelijk bijna een halve kg/m^2 , ofwel bijna éénviufde van het totaalgewicht. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door dubbele vruchten. Relatief veel (dubbele) vruchten vielen bij dit ras ook als korrels uit elkaar, wat bij het afval terecht kwam. Klasse 2 en afval bestond bij Lagorai vooral uit erg kleine of misvormde vruchten. De meeropbrengst bij Lagorai kwam door de oogst van veel meer, maar wel kleinere vruchten. Het lagere vruchtgewicht bij dit ras kan uit arbeidsoogpunt niet positief genoemd worden. Het grote verschil in productie tussen Kwanza en Lagorai zal deels veroorzaakt zijn de mindere uitloop van lateralen bij Kwanza als gevolg van botrytisplekken op de canes.

3.10 Inwendige kwaliteit

Tijdens de oogstperiode is bij alle behandelingen in totaal 7 maal het drogestofgehalte van de vruchten bepaald. Alleen in week 15 waren er geen vruchten van Lagorai meer. De refractie en het zuurgehalte zijn 3 maal gemeten, namelijk op 21 februari, 4 en 16 maart.

In Figuur 31 is het drogestofgehalte van de vruchten gemiddeld per behandeling gegeven.



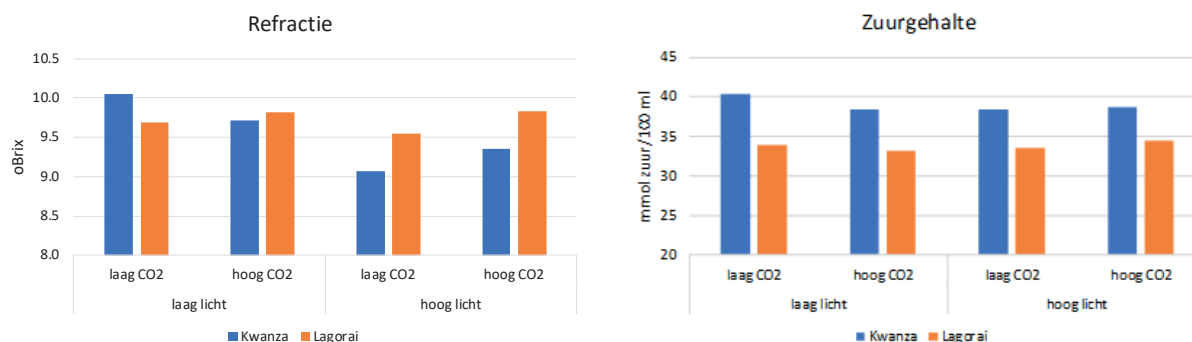
Figuur 31 Links: het drogestofgehalte van de vruchten bij de rassen Kwanza en Lagorai bij een lage en hoge lichtintensiteit gecombineerd met een lage of hoge CO₂-concentratie. Rechts: het drogestofgehalte bij de rassen Kwanza en Lagorai per week weergegeven.

Het drogestofgehalte kan een indicatie geven over de inwendige kwaliteit, bijv. het suikergehalte en daarmee de smaak. Bij beide rassen en beide lichtintensiteiten is in Figuur 32 te zien dat het drogestofgehalte van de vruchten wat afnam bij een hoger CO₂-gehalte in de kas. Gemiddeld kwam het drogestofgehalte van de vruchten bij laag en hoog CO₂ uit op resp. 12.6 en 12.1, wat een fors verschil is. De verwachting was dat het gelijk of eerder andersom zou zijn. Het kan zijn dat de gemiddeld iets hogere EC bij laag CO₂ t.o.v. hoog CO₂ hierop enig effect gehad heeft, maar het EC-verschil tussen beide behandelingen was slechts 0.3 mS/cm.

In tegenstelling tot wat men zou verwachten, bleek het drogestofgehalte bij de hoogste lichtintensiteit niet hoger te zijn. Waarschijnlijk had dit deels te maken met een groter aantal geoogste vruchten en daardoor een hogere plantbelasting en dus meer assimilatenvraag bij een hoge lichtintensiteit.

Het grootste effect op het drogestofgehalte had het ras. Op alle analysedata was het drogestofgehalte van Lagorai hoger dan van Kwanza. Bij Lagorai schommelde deze gemiddeld rond de 13% en bij Kwanza rond de 11.5% (zie ook tabel 4).

In Figuur 32 is de refractie en het zuurgehalte per behandeling weergegeven. In de daaropvolgende Tabel 3 zijn de gemiddelden per behandeling gegeven.



Figuur 32 De refractie en het zuurgehalte van de vruchten van de rassen Kwanza en Lagorai bij een lage en hoge lichtintensiteit in combinatie met een lage of hoge CO₂-concentratie.

Tabel 4

Gemiddeld percentage drogestof, de refractie en het zuurgehalte in de vruchten per lichtintensiteit, CO₂-concentratie en ras.

Behandeling	Percentage drogestof (%)	Refractie (° Brix)	Titreerbaar zuurgehalte (mmol H ₃ O ⁺ /100 g vers gewicht)
Laag CO ₂	12.6	9.6	36.6
Hoog CO ₂	12.1	9.7	36.2
Laag licht	12.4	9.8	36.5
Hoog licht	12.3	9.5	36.3
Kwanza	11.6	9.5	39.0
Lagorai	13.1	9.7	33.7

Refractie: Het CO₂-gehalte had gemiddeld geen duidelijk effect op de refractie. Bij Lagorai leek deze, zowel bij laag als hoog licht, bij het hoge CO₂-gehalte licht toe te nemen. Bij Kwanza was dit alleen bij hoog licht het geval en bij laag licht juist andersom.

Bij de refractie was ongeveer hetzelfde te zien als bij het drogestofgehalte: in de meeste gevallen daalde de refractie bij meer licht. Dit kan, zoals al eerder is aangegeven, te maken hebben met het grotere aantal uitgroeiende vruchten bij meer licht.

Lagorai had met name bij hoog licht een hogere refractie dan Kwanza. Bij de combinatie laag licht/laag CO₂ was dit niet geval.

Voor wat betreft het verloop van de refractie tijdens de oogstperiode, bleek Kwanza met een gemiddelde refractie van 9.1 °Brix begin maart wat lager te scoren dan half februari en half maart: de refractie was toen resp. 9.6 en 10 °Brix. Waarschijnlijk werd dit weer vooral veroorzaakt door de hoogte van de plantbelasting. Bij Lagorai nam de refractie van half februari tot half maart echter gestaag toe van resp. 8.9 tot 10.6 °Brix.

Zuurgehalte: De CO₂-concentratie en de lichtintensiteit hadden praktisch geen invloed op het zuurgehalte. Wel kwamen er weer duidelijke verschillen tussen de rassen naar voren: de vruchten van Lagorai bevatten een lager zuurgehalte en zullen dus minder zuur smaken. Omdat de refractie bij Lagorai juist wat hoger is dan bij Kwanza, was het gehalte aan reduceerbare suikers in Lagorai mogelijk ook wat hoger. Daarom werd de smaak van Lagorai-vruchten meestal wat zoeter ervaren. Op de drie bepalingen bleef het zuurgehalte per ras op vrijwel hetzelfde niveau.



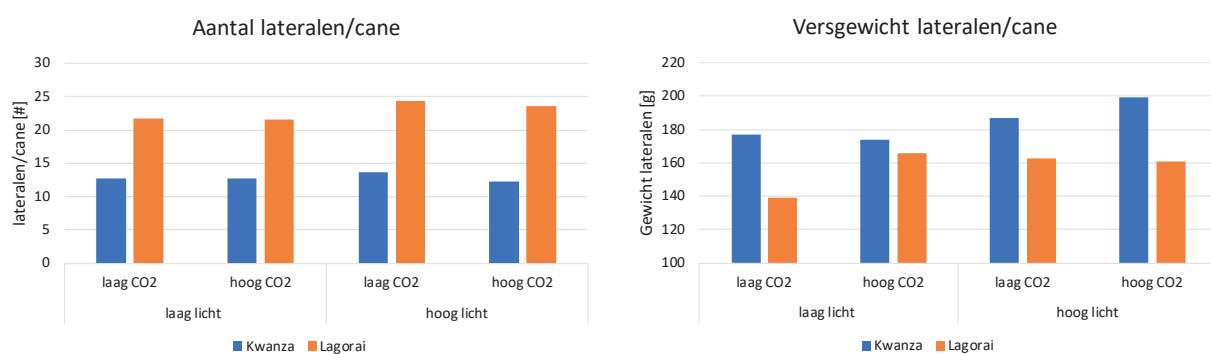
Figuur 33 De vruchten van Lagorai waren wat donkerder van kleur dan van Kwanza.

Oriënterend is een aantal keren bij de verschillende behandelingen gekeken naar de houdbaarheid. Alleen tussen de rassen leken er wat verschillen te zijn: Kwanza bleef tijdens de bewaring wat lichter van kleur en ook wat steviger dan Lagorai.

3.11 Destructieve metingen planten

Aan het einde van de proef zijn destructieve metingen aan de planten verricht. In Bijlage I zijn per behandeling de meetresultaten weergegeven.

In Figuur 34 is het aantal lateralen per cane en het versgewicht van de lateralen weergegeven.



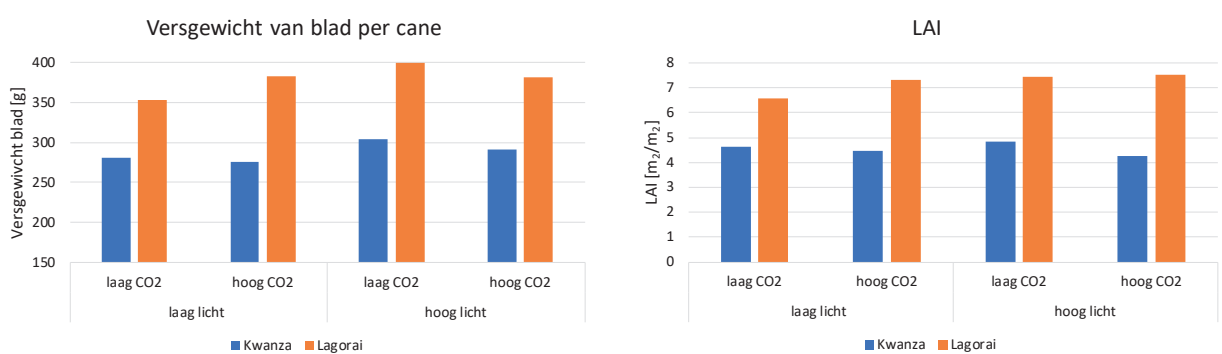
Figuur 34 Het aantal lateralen en het versgewicht van de lateralen per cane bij de verschillende klimaatbehandelingen en per ras weergegeven.

Het meest opvallend in Figuur 34 zijn de verschillen tussen beide rassen. Het aantal lateralen per cane bij Lagorai was bijna dubbel zo groot dan van Kwanza (22.8 versus 12.8), maar het totaal versgewicht van de lateralen was per cane duidelijk lager, namelijk 157 versus 184 g. Dit betekent dat het gemiddelde gewicht van een lateraal bij Kwanza en Lagorai resp. 14.4 en 6.9 g was, dus meer dan een factor 2 verschil.

Het streefaantal lateralen bij Kwanza is volgens telers 50 tot 55 lateralen/m². Omdat bij Lagorai de lateralen kleiner zijn, wordt er normaal bij dit ras naar meer lateralen gestreefd. Uiteindelijk waren er bij Kwanza in totaal 32 lateralen/m² uitgelopen, wat dus lager is dan het streefaantal. Bij Lagorai was het werkelijke aantal lateralen 57 per m².

Het CO₂-niveau leek geen positieve invloed te hebben op het aantal, noch op het versgewicht van de lateralen. Bij het hoge lichtniveau nam het aantal lateralen bij Lagorai met zo'n 11% toe. Bij Kwanza was dit effect afwezig. Het versgewicht van de lateralen nam bij meer licht gemiddeld met zo'n 8% toe.

In Figuur 35 is de totaalgewicht aan vers blad en de LAI per behandeling en ras weergegeven.

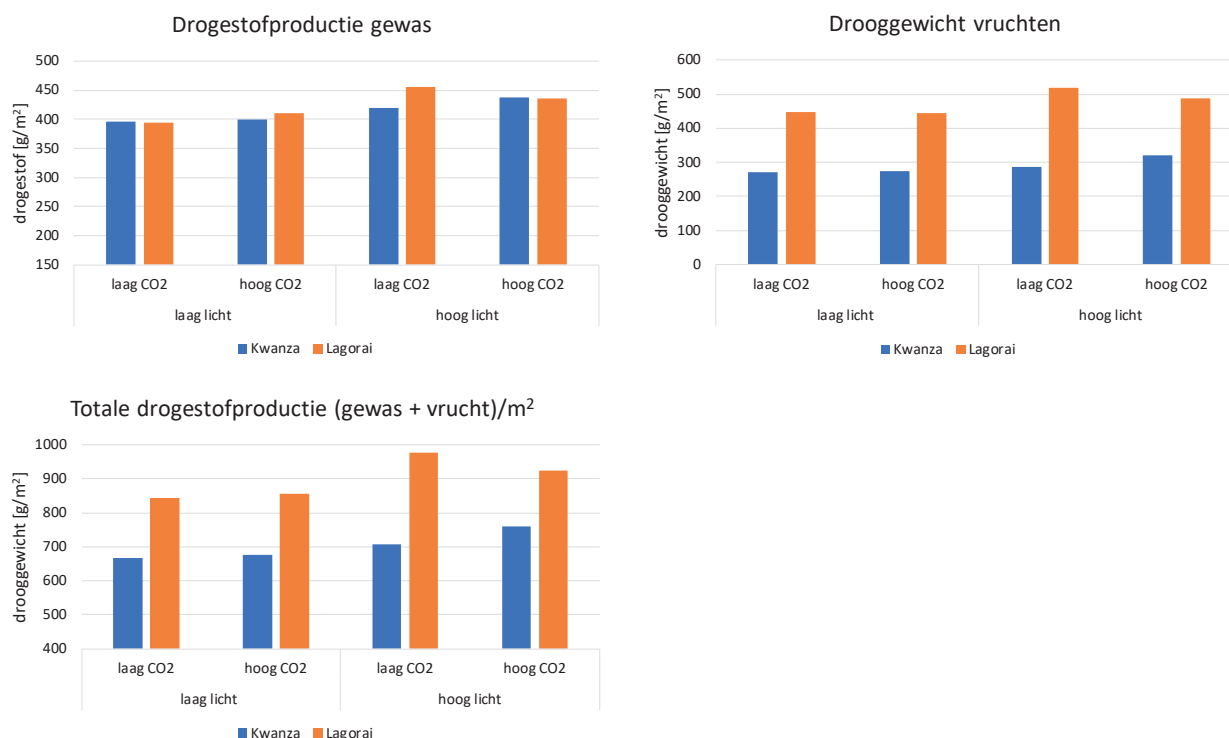


Figuur 35 Het versgewicht van het blad per cane en de LAI per licht- en CO₂-combinatie bij de twee beproefde rassen.

Het CO₂-niveau bleek nauwelijks of niet van invloed te zijn op het versgewicht van het blad en de LAI. Meer licht gaf een hogere LAI: gemiddeld ruim 6% meer.

Het grootste effect had het ras: het totaal bladgewicht per cane was bij Kwanza en Lagorai gemiddeld resp. 288 en 379 g. Dat is ruim 30% verschil. Dit verschil kwam ook tot uiting in de LAI: bij Kwanza en Lagorai was dit resp. 4.6 en 7.2 m²/m², ofwel Lagorai had een bijna 60% hogere LAI dan Kwanza. Het grotere relatieve verschil bij de LAI kwam vooral door de dunnere, en als gevolg daarvan, slappere bladeren bij Lagorai. Overigens was de LAI van Lagorai erg hoog. Deze hoge LAI lijkt voor de winterperiode, weliswaar met belichting, niet nodig of zou zelfs nadelig kunnen zijn.

In Figuur 36 is de productie aan droge stof van de vegetatieve delen, de vruchten en het gewas + vruchten bij de verschillende behandelingen weergegeven.



Figuur 36 De geproduceerde hoeveelheid drogestof tijdens de teeltperiode van resp. het gewas (canes, lateralen + blad), vruchten, en gewas + vruchten bij elkaar, per klimaatbehandeling en ras.

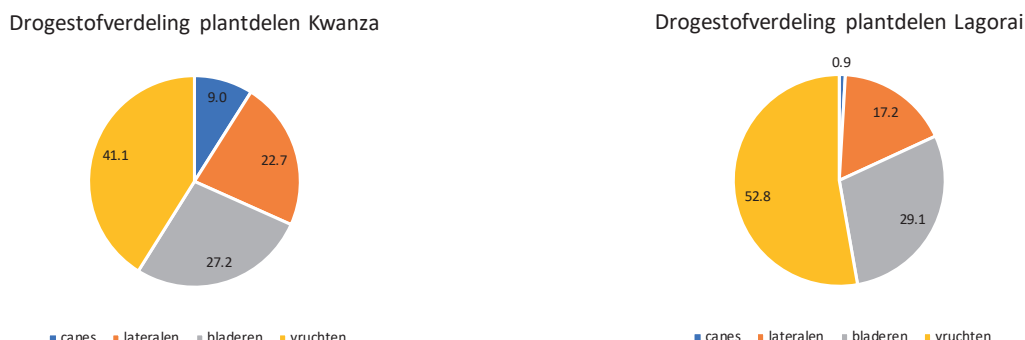
Als naar de hoeveelheid geproduceerde drogestof in de vegetatieve delen en vruchten wordt gekeken, dan was er nauwelijks een CO₂-effect te zien. Dit gold dan uiteraard ook voor de totale drogestofproductie (zie ook Bijlage I).

Bij beide rassen gaf meer licht een hogere productie aan drogestof in zowel het gewas als vruchten. Dit was het gevolg van een toename aan drogestof met zo'n 10% in zowel lateralen als bladeren bij een hoog lichtniveau t.o.v. een laag lichtniveau. Bij de vruchten was dit 12.4%. Het totale drooggewicht (gewas + vruchten) nam daardoor bij het hoge lichtniveau met bijna 11% toe (zie ook Bijlage I).

De totale drogestofproductie van Lagorai was fors hoger dan van Kwanza, namelijk +28%. Dit kwam vooral door een hogere versproductie aan vruchten, maar ook door een hoger drogestofgehalte van de vruchten bij Lagorai ten opzichte van Kwanza. Daarnaast was het drooggewicht van het blad bij Lagorai ook hoger (zie ook Bijlage I).

De procentuele verdeling van de drogestof over de verschillende plantorganen, ofwel over de canes, lateralen, bladeren en vruchten, was gemiddeld resp. ca. 5, 20, 28 en 47%. De CO₂- noch de lichtbehandelingen hadden hierop effect. Als er sprake was van een positieve invloed van deze behandelingen op de productie aan assimilaten, dan werden de assimilaten dus ongeveer gelijk verdeeld over de verschillende plantendelen (inclusief vruchten). Bij een hoger lichtniveau was de totale productie aan drogestof hoger, maar werden relatief gezien, ongeveer evenveel assimilaten naar de vegetatieve als naar de generatieve delen getransporteerd.

Tussen de rassen waren er wel aanzienlijke verschillen in drogestofverdeling over de verschillende delen van de plant. Dit is weergegeven in Figuur 37.



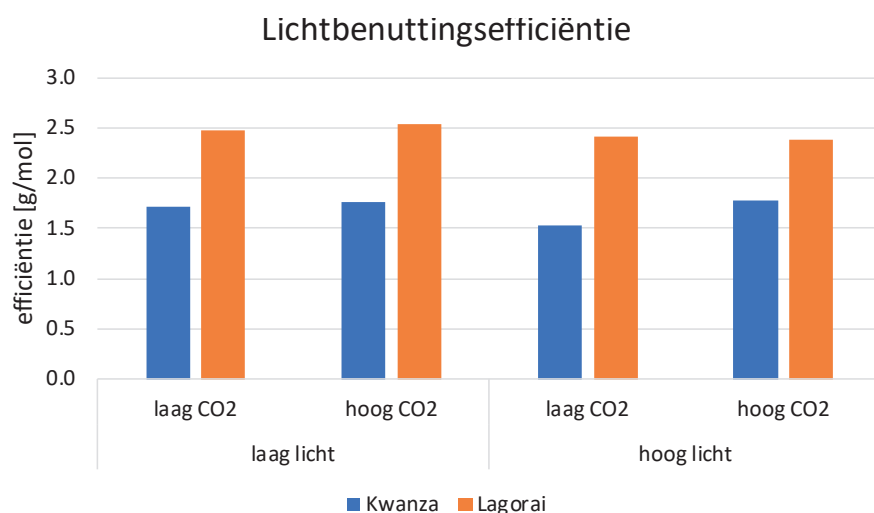
Figuur 37 De verdeling van de tijdens de proef geproduceerde drogestof over de verschillende plantdelen (canes, lateralen, bladeren en vruchten) bij het ras Kwanza en Lagorai. N.B. Bij de canes is de hoeveelheid drogestof van het plantmateriaal bij de start afgetrokken van de hoeveelheid drogestof aan het einde van de teelt.

Bij Lagorai gingen er relatief veel assimilaten, ofwel ging er veel drogestof, naar de vruchten toe, namelijk 53%. Bij Kwanza was dit 41%. Verder gingen er bij Lagorai t.o.v. Kwanza relatief meer assimilaten naar het blad en minder naar de lateralen en fors minder naar de canes. Waarschijnlijk komt dit laatste doordat de canes van Lagorai a.g.v. de langere groeiperiode meer uitgegroeid en verhout waren dan bij Kwanza. De canes van Lagorai waren immers begin september 2019 al in de bewaarcel gegaan en in hetzelfde jaar nog geplant. De canes van Kwanza waren in december 2018 in de bewaarcel geplaatst en pas in het jaar daarop in november geplant.

3.12 Lichtbenuttingsefficiëntie

De productie in de verschillende behandelingen kan gerelateerd worden aan de totale hoeveelheid berekend PAR-licht. Omdat Lagorai eind maart al afgeoogst was, is de hoeveelheid licht (PAR-licht van zon en LEDs) genomen vanaf de start t/m 29 maart. De berekende hoeveelheid zonlicht in de kas kwam in deze periode uit op 690 mol/m². Bij de behandelingen laag licht+laag CO₂, laag licht+hoog CO₂, hoog licht+laag CO₂ en hoog licht+hoog CO₂ was de hoeveelheid licht afkomstig van de LEDs resp. 652, 678, 931 en 892 mol/m². Met het zonlicht erbij, kwam de totale hoeveelheid PAR-licht bij deze behandelingen dan uit op resp. 1341, 1368, 1620 en 1579 mol/m². Als de beide lichtbehandelingen bij laag en hoog CO₂ worden gemiddeld, dan komt de totale lichtsom bij laag en hoog CO₂ uit op resp. 1481 en 1474 mol/m², dus een zeer gering verschil.

In Figuur 38 is de lichtbenuttingsefficiëntie (LBE), ofwel de hoeveelheid geoogst (vers)product van klasse 1 en 2-vruchten, per hoeveelheid PAR-licht, per behandeling en per ras weergegeven.



Figuur 38 De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) bij de verschillende combinaties van behandelingen.

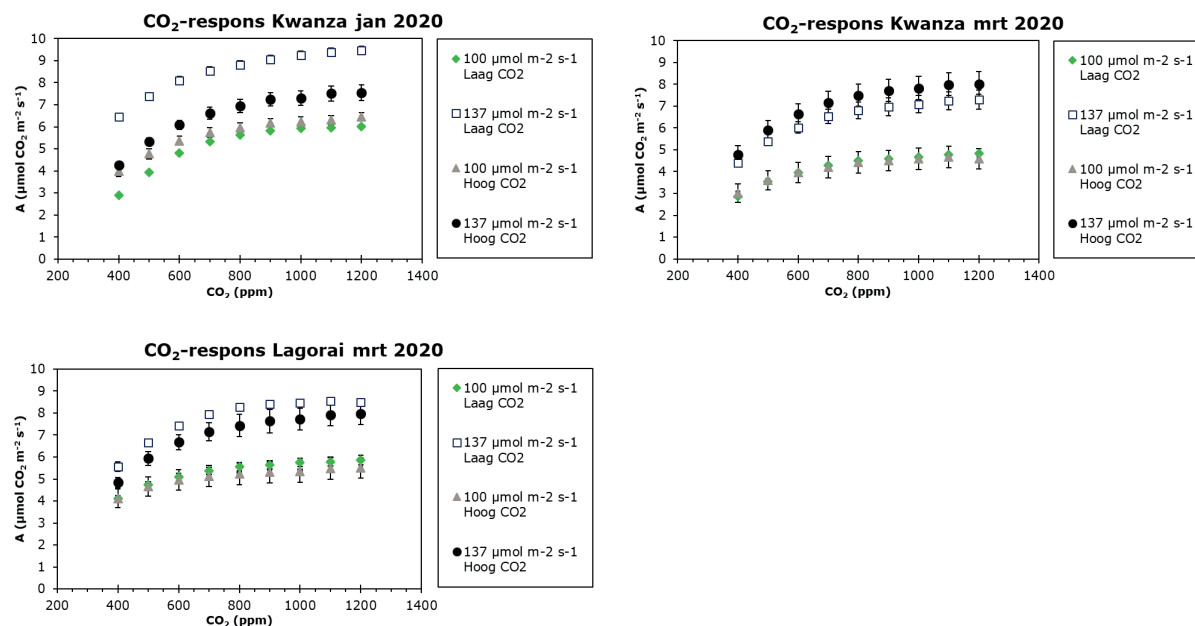
Bij Kwanza leek hoog CO₂ alleen bij hoog licht een duidelijk hogere LBE te hebben. Bij de andere combinatie van behandelingen waren de onderlinge verschillen erg gering.

De LBE nam bij meer licht iets af. Gemiddeld over beide rassen was de LBE bij laag en hoog licht resp. 2.1 en 2.0 g/mol PAR-licht.

Het raseffect was groot. De gemiddelde LBE was bij Kwanza en Lagorai resp. 1.69 en 2.45 g/mol PAR-licht. Lagorai benutte het licht voor de vruchtproductie dus veel beter dan Kwanza. Als alleen klasse 1-vruchten voor de productie worden meegenomen, dan wordt het verschil tussen de rassen nog groter, omdat bij Kwanza 18% van de totaalproductie bestond uit klasse 2-vruchten en bij Lagorai nog geen 3%. Als voor beide rassen dan dezelfde lichtsom (t/m 29 maart) wordt aangehouden, maar de versproductie van alleen klasse 1 vruchten, dan was de lichtefficiëntie van Kwanza en Lagorai resp. 1.38 en 2.39 g/mol PAR-licht. De productieperiode van Kwanza duurde echter 9 dagen langer dan van Lagorai, dus als de lichtsom t/m 9 april wordt genomen dan daalde de LBE bij de netto- en brutoproductie van Kwanza naar resp. 1.21 en 1.48 g/mol PAR-licht. Dat betekent dat de Lagorai-planten bij de nettoproductie in de productieperiode voor het betreffende ras bijna 2 maal zo efficiënt met het licht omgingen dan de Kwanza-planten. De kwalitatief mindere planten van Kwanza a.g.v. botrytis zullen hier ongetwijfeld een negatieve rol bij hebben gespeeld.

3.13 Fotosynthesemetingen

In Figuur 39 is de CO₂-respons bij de verschillende behandelingen weergegeven.



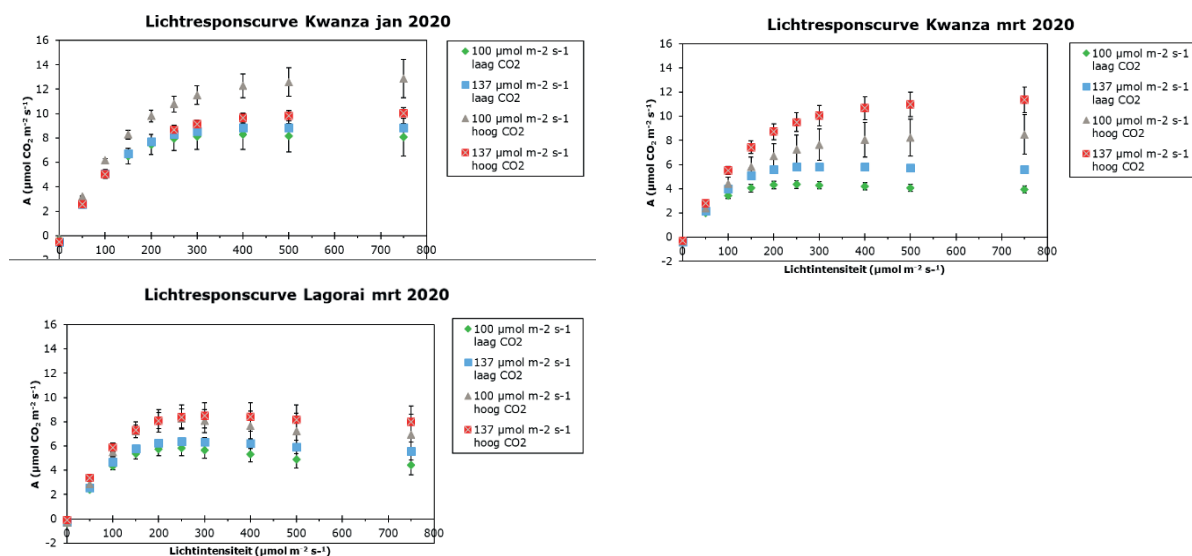
Figuur 39 De fotosynthesesnelheid (A) bij het ras Kwanza in jan en mrt en het ras Lagorai in mrt bij de vier behandelingen, gemeten bij verschillende CO₂-concentraties. De lichtintensiteit bij de metingen bij Laag en Hoog licht was resp. 100 en 150 μmol/m²/s.

Er was bij Kwanza een betrouwbaar verschil tussen de fotosynthesesnelheid in januari en maart: in januari was deze hoger dan in maart. Dit was bij alle behandelingen het geval.

Er was echter wel een interactie tussen de lichtbehandelingen en CO₂-behandelingen. Een hogere lichtintensiteit leidde zoals men zou verwachten tot een hogere fotosynthese. De fotosynthese bij 400 ppm CO₂ en een meetintensiteit van 150 μmol/m²/s was gemiddeld 4.9, terwijl het bij een lichtintensiteit van 100 μmol/m²/s 3.3 μmol CO₂/m²/s was. Dit was onafhankelijk van de CO₂-proefbehandeling. Maar bij een hoog lichtniveau was de fotosynthese hoger in de laag CO₂-behandeling bij de meetconcentratie van 400 ppm. Deze was namelijk 5.4 in de laag CO₂-behandeling en 4.5 μmol/m²/s in de hoog CO₂-behandeling. Dit kan te maken hebben met het veel hogere anthocyaangehalte (met name in de februari-meting) en een iets lager chlorofyl-gehalte bij hoog licht in combinatie met hoog CO₂ (zie Par. 3.6).

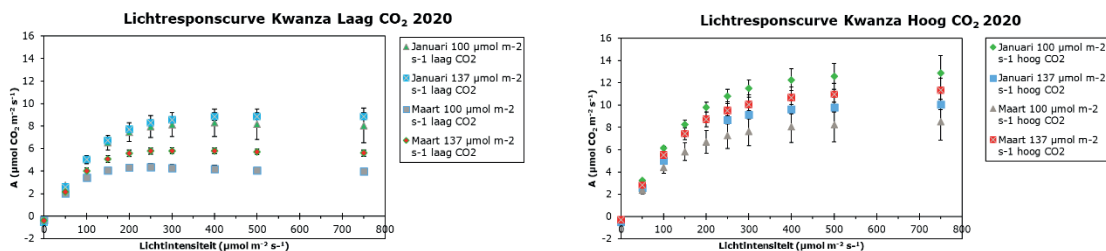
In maart had het ras Lagorai alleen bij de lage lichtintensiteit een hogere fotosynthese dan het ras Kwanza. In deze periode begonnen de bladeren van het ras Kwanza meer geel te verkleuren dan van het ras Lagorai (zie ook Par. 3.5). Het was echter niet direct opgevallen dat dit bij hoog CO₂ meer was dan bij laag CO₂.

In Figuur 40 is de lichtrespons bij de verschillende behandelingen weergegeven.



Figuur 40 De fotosynthesesnelheid (A) bij het ras Kwanza in januari en maart en het ras Lagorai in maart bij de vier behandelingen, gemeten bij verschillende lichtintensiteiten. Het CO_2 -gehalte bij de metingen bij Laag en Hoog CO_2 was resp. 450 en 900 ppm.

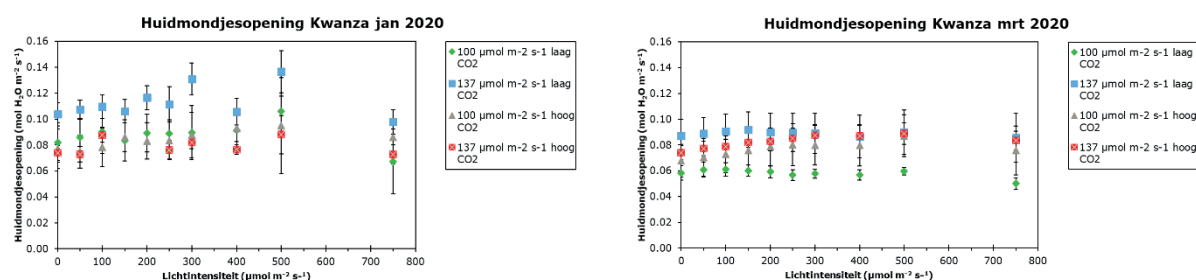
Er is bij Kwanza een significant verschil in lichtrespons tussen de fotosynthese in januari en maart. In maart is de gemiddelde fotosynthese 4.4 ten opzichte van 5.3 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ in jan, wat een afname is van 17%. Dit kan hoogstwaarschijnlijk worden verklaard door vergeling van het blad. Het fotosynthese-apparaat wordt minder efficiënt wat ook bleek uit de fluorescentie die afnam van 0.66 in januari naar 0.56 in maart (zie Figuur 41). De fotosynthese was niet significant hoger in één van de lichtbehandelingen, omdat hier werd vergeleken bij 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.



Figuur 41 De gemeten fotosynthesesnelheid (A) bij het ras Kwanza bij de behandelingen met laag en hoog CO_2 en laag en hoog licht als gevolg van verschillende lichtintensiteiten bij een meetconcentratie van resp. 450 (=Laag CO_2) en 900 ppm (=Hoog CO_2).

De CO_2 -meetconcentraties hadden een groot effect op de fotosynthese: bij een meetconcentratie van CO_2 van resp. 450 en 900 ppm, was de fotosynthese resp. 4.4 en 5.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Een 2 maal zo hoge CO_2 -concentratie leidde dus tot een toename in fotosynthese van 20%. Hoewel het ras Kwanza een iets hogere productie gaf bij de hoge dan bij de lage CO_2 -concentratie (zie Par. 3.9), was het werkelijke effect van CO_2 op de productie echter veel minder groot dan verwacht mocht worden op basis van de fotosynthesemetingen. De productie wordt echter bepaald door de assimilatenproductie in de gehele plant, terwijl de metingen op bladniveau zijn.

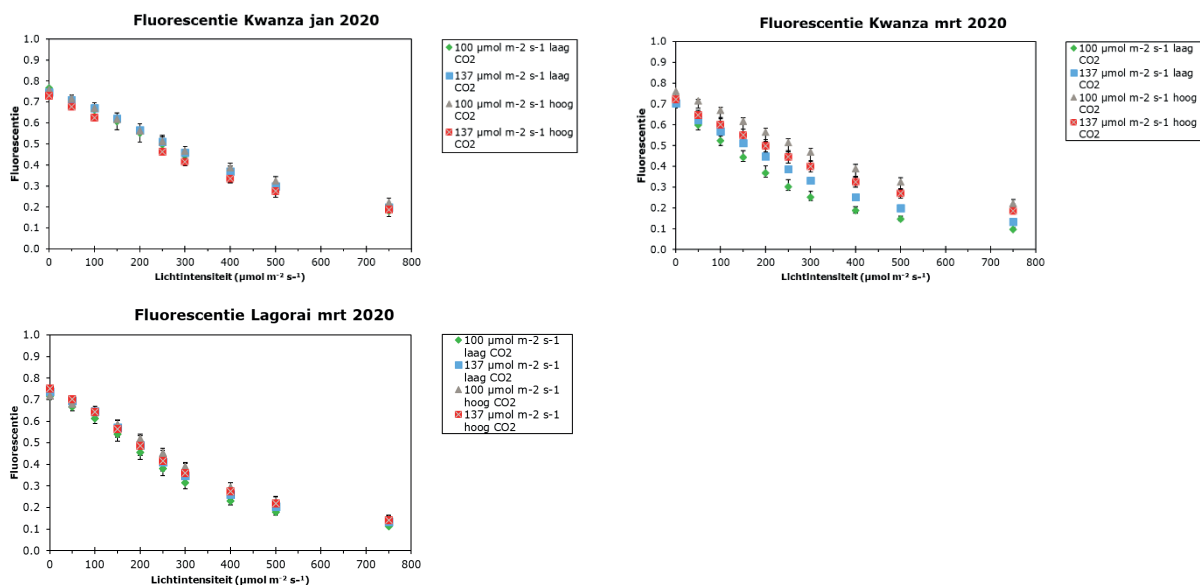
In Figuur 42 is de huidmondjesopening bij de verschillende behandelingen weergegeven.



Figuur 42 De huidmondjesopening bij het ras Kwanza bij de behandelingen gemeten in januari en maart bij verschillende lichtintensiteiten. Het CO₂-gehalte bij de metingen bij Laag en Hoog CO₂ was resp. 450 en 900 ppm.

De huidmondjesopening was in maart bij de behandelingen met laag CO₂ wat minder dan in januari. De huidmondjes leken bij een hoge lichtintensiteit van 750 µmol/m²/s wat dichter te staan dan bij 500 µmol/m²/s. Helaas kan geen uitspraak gedaan worden over de aantallen huidmondjes per behandeling omdat de gebruikte bepalingsmethode niet geschikt bleek te zijn voor framboos (zie Par. 3.7).

De resultaten van de fluorescentiemetingen zijn weergegeven in Figuur 43.

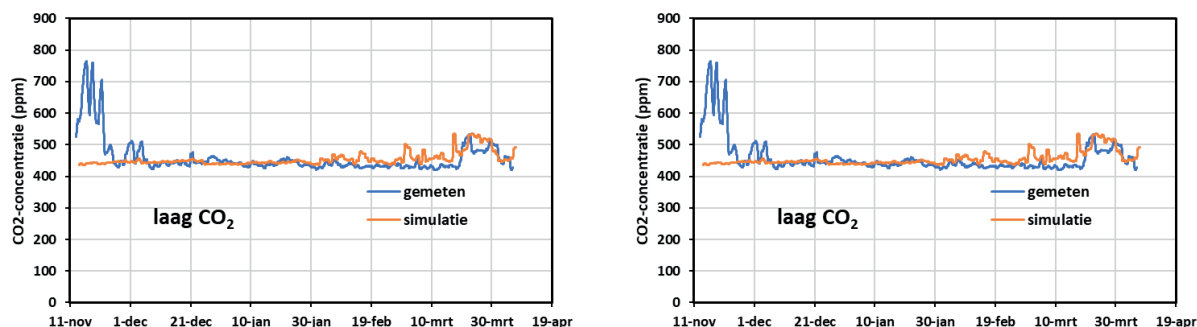


Figuur 43 De fluorescentie bij Kwanza (jan en mrt) en Lagorai (mrt) gemeten bij verschillende lichtintensiteiten. De fluorescentie geeft aan hoeveel licht er gebruikt wordt voor het fluorescentieproces.

De fluorescentie nam bij alle behandelingen en bij beide rassen duidelijk af naarmate de gegeven hoeveelheid licht toenam. Hetzelfde effect is ook bij andere gewassen te zien. In maart leek deze afname bij Kwanza bij laag CO₂ wat sterker dan bij hoog CO₂.

3.14 Modelberekeningen

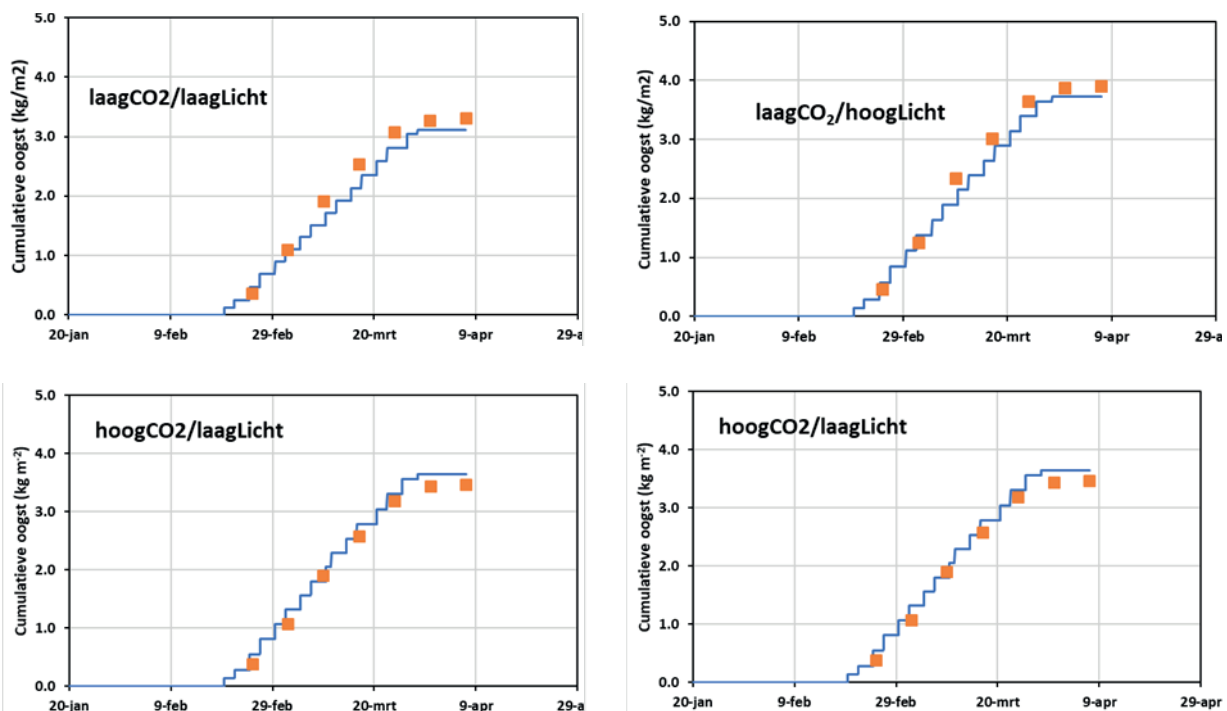
De klimaatcondities werden met het kasklimaatmodel Kaspro exact gesimuleerd zoals gemeten. Voor CO₂ was dit wat lastiger omdat het effect van ventilatie wat variabel is. Daarom is voor de berekeningen van het groeimodel de gemeten CO₂-concentraties als input gebruikt. Evenwel werd de CO₂-simulatie in Kaspro gebruikt om het ventilatieverlies aan CO₂ te berekenen (Tabel 5). Het frambozengroeimodel werd per ras geijkt door de gesimuleerde groei en oogst van het gemiddelde van alle behandelingen te matchen met de gemiddelde metingen van de behandeling.



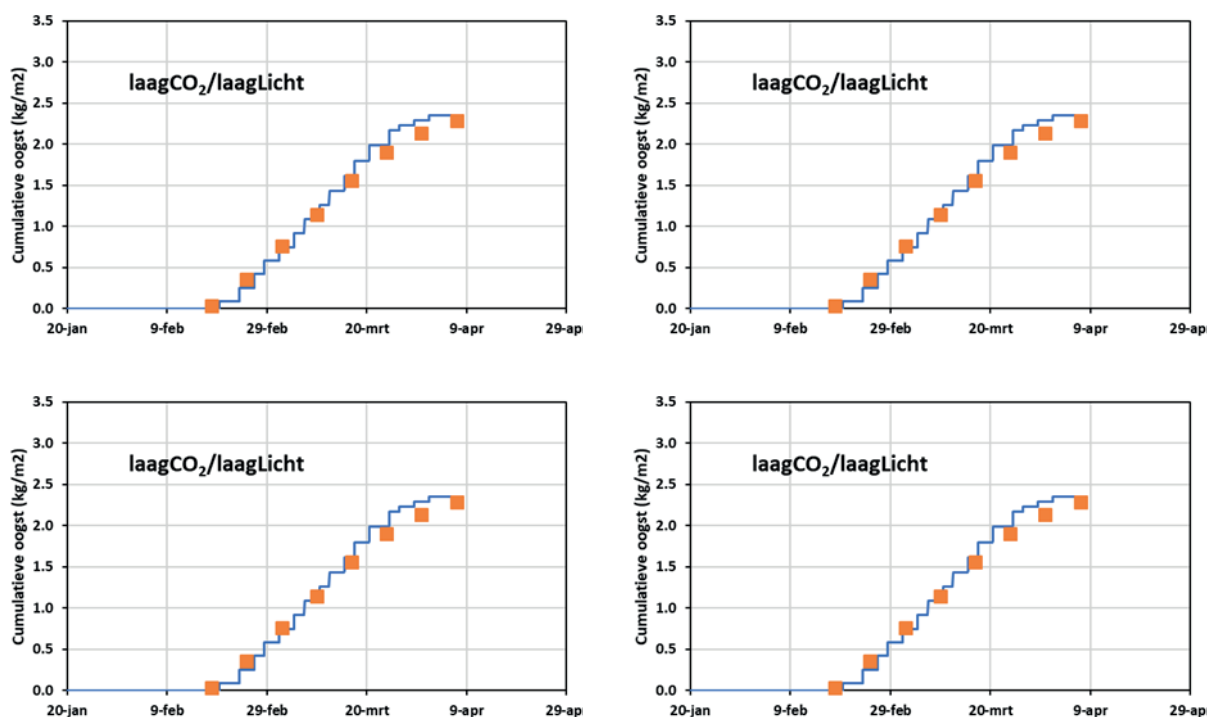
Figuur 44 CO₂-concentratie in laag- en hoog-CO₂ afdeling. Blauwe lijn: meting; bruine lijn: simulatie met Kaspro.

Voor Lagorai was de gemiddelde gesimuleerde productie aan drogestof (DS) geijkt en vrijwel gelijk (+2%) aan de meting (889 g DS m⁻²). Het model kon de gemeten gewasrespons redelijk narekenen, en verschilde in versproductie tussen maximaal -9% (laagCO₂/laagLicht) en 11% (hoog CO₂/hoog Licht) met de metingen. Terwijl het model bij Lagorai de hoogCO₂/hoogLicht behandeling overschatte, was bij Kwanza juist de hoog CO₂/laag Licht behandeling hoger dan in de metingen.

Het model voorspelde een verhoging van de vruchtproductie (zowel vers als droog) op CO₂-verhoging bij zowel laag als hoog lichtniveau (van de LEDs), conform de metingen van beide rassen m.u.v. Lagorai voor laag licht (Tabel 4). Bij laag Licht was de positieve respons op CO₂-verhoging bij beide rassen groter bij het model dan bij de metingen. Bij hoog Licht voorspelde het model bij Kwanza een iets minder grote respons op hoger CO₂ dan bij Lagorai, die volgens de meting juist wat werd verlaagd door extra CO₂.



Figuur 45 Cumulatieve vruchtproductie bij Lagorai bij de vier behandelingen. Blauwe lijn: simulatie; roodbruine vierkanten: meting; gestreepte lijn bij hoog CO₂/hoog Licht: lagere CO₂-verwerking



Figuur 46 Cumulatieve vruchtproductie bij Kwanza bij de vier behandelingen. Blauwe lijn: simulatie; roodbruine vierkanten: meting; grijze lijn bij hoog CO₂/laag Licht: lagere CO₂-verwerking.

Tabel 5

Modelresultaten totale oogst, drogestofproductie en CO₂-stromen voor de rassen Lagorai en Kwanza voor alle behandelingen.

Behandeling	Oogst vers kg/m ² sim (meting)	Oogst droog g DS/m ² sim (meting)	Totaal DS opbrengst bovengronds g DS/m ² sim (meting)	Bruto foto- synthese kg CO ₂ /m ² sim	CO ₂ vast- gelegd in biomassa #) kg CO ₂ /m ² sim	CO ₂ gedo- seerd kg CO ₂ /m ² sim	Verloren CO ₂ kg CO ₂ /m ² sim
Lagorai							
Laag CO ₂ / laag Licht	3.12 (3.31)	421 (448)	835 (798)	3.73	1.22	0.89	-0.33
Laag CO ₂ / hoog Licht	3.72 (3.91)	495 (518)	931 (975)	4.06	1.37	0.93	-0.44
Hoog CO ₂ / laag Licht	3.64 (3.47)	466 (444)	901 (854)	4.00	1.32	9.89	8.57
Hoog CO ₂ / hoog Licht	4.20 (3.77)	546 (488)	1006 (924)	4.37	1.48	10.57	9.09
Kwanza							
Laag CO ₂ / laag Licht	2.34 (2.29)	277 (270)	646 (666)	2.57	0.95	0.80	-0.15
Laag CO ₂ / hoog Licht	2.60 (2.47)	303 (288)	706 (707)	2.86	1.04	0.92	-0.12
Hoog CO ₂ / laag Licht	2.88 (2.42)	328 (275)	777 (675)	3.22	1.14	9.10	7.96
Hoog CO ₂ / hoog Licht	2.88 (2.80)	330 (321)	782 (759)	3.43	1.15	9.76	8.61

#) incl. wortels

In zijn algemeenheid reageerde het ras Lagorai volgens het model sterker op het verhogen van CO₂ of licht dan volgens de metingen. Zo was de oogst bij hoog CO₂/hoog Licht in de simulatie het hoogst van alle behandelingen terwijl bij de metingen de laag CO₂/hoog Licht -vreemd genoeg- een grotere oogst kende dan de hoog CO₂/hoog Licht. Enigszins vergelijkbaar was de gemeten totale drogestofproductie: ongeveer gelijk tussen hoog CO₂/hoog Licht en laag CO₂/hoog Licht, maar in de simulatie was eerstgenoemde duidelijk hoger. Het model berekende dus een CO₂-respons die in de meting minder sterk was, ondanks de duidelijk verschillende CO₂-concentraties. Bij Kwanza was juist het model minder gevoelig dan bleek uit de metingen. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door de wat lagere plantbelasting bij Kwanza (minder vruchtenbiomassa/plantbiomassa dan bij Lagorai), die volgens het model dan minder reageert op verschillen in fotosynthese zoals gewijzigd in de behandelingen.

Specifieke respons op licht en CO₂: de modelgevoeligheid voor het verhogen van de intensiteit van de LED-belichting was iets minder sterk dan volgens de metingen. Voor de plantbiomassa was de respons soms de helft minder dan de gemeten gewasreactie (gemeten toename van drogestofproductie van laag- naar hoog Licht met ca. 40 tot 90 g/m²). Voor CO₂ was dit andersom: het model reageerde sterk op verhoging van de CO₂-concentraties (van 45-70 g/m² plantbiomassa erbij), bij de metingen was de respons ongeveer de helft hiervan.

Aanpassing van de rekenwijze van CO₂-assimilatie in het model door verlaging van de VCmax parameterwaarde leidde tot een betere fit voor de behandeling hoog CO₂/hoog Licht bij Lagorai; zo'n VCmax-verlaging is gebruikelijk als een gewas zich aanpast aan een hoger CO₂-niveau, door zgn. 'luie' bladeren. Hetzelfde zou voor Kwanza bij hoog CO₂/laag Licht kunnen worden gesimuleerd. Het is echter wel vreemd dat voor hoog CO₂/hoog Licht die luiheid in de metingen nauwelijks optrad (Figuur 47).

De gemodelleerde bruto fotosynthese reageerde duidelijk op de behandelingen. Dit resulteerde niet 1 op 1 in dezelfde respons qua plantbiomassa en vruchtenoogst. Reden is dat deze gemiddelde fotosynthese nog weinig zegt over de plantontwikkeling in de tijd want die wordt ook beïnvloed door temperatuur en andere groeifactoren, en die bepaalt uiteindelijk het plantgewicht. De berekende opslag van CO₂ is gekoppeld aan de gesimuleerde opslag in de biomassa (Tabel 4), waaronder ook de wortelbiomassa.

Aan de hand van de klimaatinstellingen is de gedoseerde hoeveelheid CO₂ gesimuleerd. Deze kwam per kas en gemiddeld over beide rassen bij laag en hoog CO₂ uit op resp. 0.9 en 9.8 kg/m² CO₂. Dit kwam vrijwel exact overeen met de gemeten gedoseerde hoeveelheid: deze was namelijk resp. 1.0 en 9.9 kg/m² CO₂. De berekende hoeveelheid CO₂ die ingebouwd was in het gewas en vruchten kwam gemiddeld over beide rassen bij laag en hoog CO₂ uit op resp. 1.17 en 1.18 kg/m², opmerkelijk genoeg dus nauwelijks verschillend. Bij laag CO₂ zou er volgens berekening dan nog 0.17 kg CO₂ uit hoogstwaarschijnlijk de buitenlucht opgenomen moeten zijn. Bij hoog CO₂ is berekend dat er zo'n 8.7 kg CO₂ verloren gegaan moet zijn via de luchtramen.

Conclusies modelberekeningen:

Plantontwikkeling en vruchtproductie konden met een nauwkeurigheid van ± 10% door het groeimodel worden nagerekend. Reactie op de verhoging van licht- en CO₂-niveau was in het model voor ras Lagorai hoger en voor het ras Kwanza wat lager dan was geobserveerd. Het wat meer productieve en generatieve ras Lagorai zou volgens het model zeker meer produceren bij verhoging van CO₂-concentraties tot 800 ppm bij voldoende licht. De gesimuleerde CO₂-opname door het gewas bedroeg minimaal 1 kg CO₂/m². De doseercapaciteit van 50 kg/uur/ha met een afbouw in CO₂ met maximaal 40% afhankelijk van de ventilatie en een setpoint van 400 à 450 ppm, was volgens berekening niet geheel voldoende voor de gewasvraag. Het berekende tekort aan CO₂ zou ongeveer 0.17 kg/m² ofwel 17% bedragen. Het verschil in CO₂ is waarschijnlijk via ventilatie grotendeels afkomstig uit de buitenlucht.

4 Conclusies

CO₂:

- Vanaf half november (planten) tot eind maart is er gedurende de lichtperiode bij de laag en hoog CO₂-behandeling gemiddeld een CO₂-concentratie in de kaslucht van resp. 460 en 775 ppm CO₂ gerealiseerd. Hiervoor moest er wel 10 maal zoveel worden gedoseerd, namelijk resp. 1 en 9.9 kg/m² CO₂.
- Volgens de modelberekening zou er hierdoor bij laag CO₂ een tekort van 0.17 kg CO₂/m² zijn ontstaan. Bij hoog CO₂ zou er echter zo'n 8.7 kg CO₂ via de luchtramen verloren moeten zijn gegaan.
- Het grote verschil in CO₂-dosering en gerealiseerde CO₂-concentratie in de kas had in de proef met framboos bij de relatief lage lichtintensiteit in de winter, nauwelijks of geen positief effect op de productie en kwaliteit.
- Volgens de modelberekeningen zou de productie van het ras Lagorai bij meer CO₂ hoger en bij het ras Kwanza lager moeten zijn dan wat in werkelijkheid is gerealiseerd.
- Het lijkt er toch veel op dat in de wintermaanden met relatief weinig licht het CO₂-gehalte en dosering niet zo hoog hoeft te zijn.

Licht:

- Gedurende de gehele teeltperiode is er met de LEDs ca. 1850 uur met een lichtintensiteit van resp. 100 en 137 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ belicht. Hiervoor is 65 en 89 kWh/m² aan stroom verbruikt.
- Het berekende warmtegebruik was fors: bij hoog en laag licht kwam dit gemiddeld uit op resp. 12.8 en 16.9 m³/m². Dit werd vooral veroorzaakt door de noodzaak tot ontvochtiging i.v.m. zetting en schimmelgroei op de vruchten.
- Voor fossielvrij telen is het noodzakelijk om het gasverbruik zeer sterk te reduceren.
- De totale PAR-lichtsom (zon + lamp) vanaf planten tot eind mrt kwam bij laag en hoog licht uit op resp. 1354 en 1560 mol/m², dus een verschil van ruim 200 mol/m² ofwel 15%.
- Dit leidde bij beide rassen tot een meerproductie aan klasse 1-vruchten van rond de 11.5%. Bij Kwanza was dit het gevolg van meer vruchten per lateraal en bij Lagorai door meer lateralen.
- De lichtbenuttingsefficiëntie nam gemiddeld over beide rassen bij meer licht iets af.
- Meer licht gaf een lagere fluorescentie.
- De hoeveelheid licht had geen invloed op de procentuele verdeling van de assimilaten over de verschillende plantendelen. Dit was gemiddeld over beide rassen voor de canes, lateralen, bladeren en vruchten resp. 5, 20, 28 en 47%.
- Meer licht verhoogde de fotosynthesesnelheid. Deze was in jan hoger dan in mrt, mogelijk veroorzaakt door geel verkleurende bladeren bij Kwanza.

Ras:

- Het lang bewaarde plantmateriaal van Lagorai bleek bij de start van de teelt nog goed gezond. De kortdurend bewaarde 'verse' canes van Kwanza waren echter deels aangetast door botrytis, wat de heterogeniteit van het plantmateriaal versterkte en de gegevens van Kwanza minder betrouwbaar maakte. De methode van bewaring van verse canes zal verbeterd moeten worden.
- De LAI aan het einde van de proef was bij Kwanza en Lagorai resp. 4.6 en 7.2 m²/m², dus voor de winterperiode bij Lagorai erg hoog.
- De productie aan klasse 1-vruchten bedroeg bij Kwanza en Lagorai gemiddeld 2.0 en 3.5 kg/m². Als gevolg van dubbele en korrelige vruchten was het percentage klasse 2 vruchten met zo'n 19% bij Kwanza erg hoog. Bij Lagorai lag dit percentage op nog geen 3%.
- Van de geproduceerde drogestof kwam bij Kwanza en Lagorai uiteindelijk resp. 41 en 53% in de vruchten terecht.
- Het drogestofgehalte van de vruchten was bij deze rassen resp. 11.6 en 13.1%, maar de refracties lagen dicht bij elkaar.
- De lichtbenuttingsefficiëntie was bij Lagorai en Kwanza resp. 1.38 en 2.39 g/mol PAR-licht (klasse 1-vruchten). Lagorai ging dus veel efficiënter met het licht om dan Kwanza.

Algemeen/diversen:

- De gerealiseerde etmaaltemperatuur was over de gehele proefperiode 16°C.
- In de proef hoefden er geen chemische gewasbeschermingsmiddelen tegen schimmels of insecten te worden gebruikt.
- In de proef met LED-verlichting verliep de bestuiving met vooral de zweefvliegen en hommels, en in mindere mate met bijen, goed.

Literatuur

Telgen, van H. J.; J. O. Voogt; M. Warmenhoven & P.A. van Weel, 2009.

Huidmondjesopening – Onderzoek naar het meetbaar maken van de huidmondjesopening met als doel om de klimaatregeling mede daarop te baseren. Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport 266, 34 p.

Visser, P. de; A. de Gelder; H. Kalkman; M. Warmenhoven & F. de Zwart, 2021.

Invloed CO₂-dosering op groei bij tomaat. Tomatenproef 2020, Wageningen UR Glastuinbouw, Rapport (in druk).

Bijlage 1 Meetresultaten plantparameters

Tabel 6

Meetresultaten van verschillende plantparameters, weergegeven per CO₂- en lichtbehandeling en ras. Er waren 2.5 canes/m².

Parameter	Laag CO ₂	Hoog CO ₂	Laag licht	Hoog licht	Kwanza	Lagorai
Versgewicht canes (g/cane)	120	122	122	120	150	92
Versgewicht lateralen (g/cane)	164	177	166	175	184	157
Versgewicht blad (g/cane)	335	332	323	344	288	379
Versgewicht Kl 1 vruchten (g/m ²)	2735	2815	2623	2927	2033	3517
Versgewicht Kl 1+2 vruchten (g/m ²)	2992	3116	2873	3235	2494	3613
Drooggewicht cane (g/cane)	52.4	52.7	52.7	52.4	63.2	41.9
Drooggewicht lateralen (g/cane)	62.1	63.5	59.5	66.1	63.8	61.8
Drooggewicht blad (g/cane)	90.4	90.5	86.1	94.8	76.4	105
Drooggewicht vruchten (g/m ²)	381	382	359	404	289	475
Drooggewicht gewas (g/m ² *)	416	421	400	437	413	424
Drooggewicht gewas+vrucht (g/m ²)	756	780	731	805	686	850
Percentage drogestof cane (%)	44.0	43.7	43.9	44.0	42.2	45.6
Percentage drogestof lateralen (%)	38.0	36.8	36.6	37.9	35.1	39.4
Percentage drogestof blad (%)	26.8	27.0	26.4	27.3	26.3	27.5
Percentage drogestof vruchten (%)	12.6	12.1	12.4	12.3	11.6	13.1
LAI (m ² blad/m ² oppervlak)	5.9	5.9	5.8	6.0	4.6	7.2
Refractie vruchten (°Brix)	9.6	9.7	9.8	9.5	9.5	9.7
Titreerbaar zuur (mmol H ₃ O ⁺ /100 g)	36.6	36.2	36.5	36.3	39.0	33.7

*) Som van vegetatieve gewasdelen verminderd met het drooggewicht van de canes bij de start

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-1056

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.