

Het effect van licht op bio- aardappel vergroening in de retail

F.I. Pereira da Silva
E. Otma

Rapport 1528

Colofon

Titel	Het effect van licht op bio-aardappel vergroening in de retail
Auteur(s)	F.I. Pereira da Silva E. Otma
Nummer	1528
ISBN-nummer	978-94-6257-363-5
Publicatiedatum	6 januari 2015
Vertrouwelijk	nee
OPD-code	--
Goedgekeurd door	Janneke de Kramer

Wageningen UR Food & Biobased Research
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 480 084
E-mail: info.fbr@wur.nl
Internet: www.wur.nl

© Wageningen UR Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek

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, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher

Samenvatting

Uit peilingen van de Nederlandse Aardappel Organisatie en andere, blijkt dat er nog steeds kwaliteitsgebreken vast te stellen zijn bij de biologische aardappels in het schap. Vergroening lijkt één van de belangrijkste aspecten van de kwaliteitsgebreken te zijn. Het doel van dit projectonderdeel is daarom om te onderzoeken welk type licht in de supermarkt leidt tot de beste resultaten om vergroening van bio-aardappels in het schap tegen te gaan.

Om de hoeveelheid vergroening in consumptieaardappelen te verminderen is een 3 stappenplan opgesteld.

- 1) In eerste instantie is onderzocht welke specifieke golflengtes in meer of mindere mate bijdragen aan de productie van chlorofyl, dus de vergroening (monochromatische studie). De volgende lichtkleuren zijn onderzocht: blauw, groen, rood en far red. Deze lampen zijn vergeleken met twee type witte lampen: LED en SON (de huidige standaard in de retail). Verder is iedere lichtbron op twee intensiteiten (500 en 1000 lux) getest. Hierbij zijn 3 aardappelpartijen gebruikt (zowel net geoogst als bewaarde partijen).
- 2) In tweede instantie is de potentie van een voorbehandeling van 12 uren met UV-B of far red licht verkend. Na de voorbehandeling zijn de aardappelen onder het licht gehouden (12 uur licht aan en 12 uur donker, als simulatie van de retail situatie). Hierbij zijn dezelfde partijen aardappelen gebruikt als in de monochromatische studie.
- 3) Ten slotte is, op basis van de vorige resultaten, onderzocht welke combinatie van lichtbronnen de vergroening kan beperken. Het licht wordt waargenomen door eiwitten welke veel mechanismen in de plant kunnen aansturen. Phytochroom is hier één van. Dit eiwit heeft 2 stadia, de actief Pfr vorm en de inactieve Pr vorm. Hoeveel van beide vormen aanwezig is in de plant, is afhankelijk van de hoeveelheid rood en far red licht. De verhouding tussen de twee vormen wordt uitgedrukt in een waarde: de photostationary state (PSS), met andere woorden het foto-evenwicht van de omkeerbare reactie tussen de 2 vormen. Het effect van de PSS is getest op 4 niveaus door de hoeveelheid rood licht constant te houden en de verhouding rood-far red licht (PSS) te beïnvloeden door de hoeveelheid far red aan te passen. Er zijn hierbij twee partijen net geoogste biologische aardappelen (Biogold en Nicola) gebruikt.

Er zijn twee methoden opgesteld om de vergroening te kwantificeren: visuele beoordeling van de vergroening en het spectroscopische meten van het chlorofyl (DA meter). Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat de twee methoden goed overeenkomen.

De gemeten vergroening is lager bij de aardappelen behandeld met hoger far red licht ($96.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) gecombineerd met rood licht ($10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s} = 500 \text{ lux}$) dan bij andere combinaties

van far red en rood licht. De standaard afwijking is groot dus op basis van deze proef alleen kan niet worden geconcludeerd dat deze verhouding van far red en rood licht ($PSS=0,252$) de vergroening remt. De lager gemeten vergroening bij deze licht verhouding geldt wel voor beide geteste partijen (net geoogst biologische Nicola en Biogold) en bij alle meetmomenten. In het geval van de Biogold partij kan een trend herkend worden in het effect van far red licht op de vergroening: hoe meer far red licht wordt toegevoegd aan het rode licht, hoe minder chlorofyl wordt geproduceerd. Deze trend is niet duidelijk te zien bij de Nicola partij. Wel geeft de laagste PSS verhouding de minste hoeveelheid vergroening, zoals bij de Biogold partij.

Wat het monochromatisch onderzoek betreft, kan uit de resultaten worden geconcludeerd dat eenzelfde intensiteit groen, blauw of rood licht afzonderlijk tot minder vergroening leidt dan een witte lamp (waarbij alle golflengtes aanwezig zijn). Echter kan uit dit onderzoek niet worden geconcludeerd welke van de 3 kleuren licht het beste is om de vergroening te verminderen. Uit de resultaten blijkt dat bij de verschillende partijen en meetmomenten er steeds een andere kleur licht is (uit de geteste drie), dat de productie van chlorofyl het meest beperkt. Daarnaast zijn in de meeste gevallen de verschillen tussen de 3 lichtkleuren niet statistische significant. In het monochromatisch onderzoek is far red afzonderlijk ook getest. Uit de resultaten kan wel worden geconcludeerd dat de laagste hoeveelheid vergroening consistent bij de far red lampen is gemeten. Far red is niet zichtbaar voor de mens. Daarom moet de toepassing van far red in de retail altijd in combinatie zijn met andere (zichtbare) lichtbronnen.

Zowel bij het onderzoek naar het effect van de PSS verhouding op vergroening, als bij het monochromatische onderzoek, is er geen verschil tussen de twee type witte lampen, LED of SON, op de vergroening. Wat de lichtintensiteit betreft, is het verschil tussen de 1000 en 500 lux en 500 en 250 lux beperkt. Alleen bij een aantal meetmomenten en meetmethoden is dit verschil statistisch significant. Wel is de vergroening zowel gemeten door de visuele beoordeling als de DA meting, in de meeste gevallen lager bij de lagere lichtintensiteit.

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat een voorbehandeling van 12 uren met UV-B of far red licht, de latere productie van chlorofyl onder licht niet kan vertragen.

Het project biedt aanknopingspunten voor verder onderzoek naar een oplossing (of vermindering) voor de vergroening van aardappelen in het schap. Op basis van deze resultaten is het waardevol om het gebruik van far red licht gecombineerd met een witte lamp te toetsen. Hierbij kan het spectrum van de witte licht worden aangepast zodat het minder rood licht bevat. Er zijn meerdere lichtrecepturen mogelijk die in de praktijk haalbaar zijn.

Verder is het uit de resultaten te concluderen dat er grote verschillen zijn in vergroening tussen knollen. Deze verschillen kunnen al ontstaan in de loop van de keten, als sommige aardappelen eerder blootgesteld zijn aan het licht. Om de mate van vergroening in het schap tegen te gaan is

een ketenbreed aanpak nodig. Het is de verwachting dat een optimale producthandeling en gebruik van aangepast licht bij alle ketenschakels, van teler tot retailer, tot minder vergroening zal leiden. Hierbij is kennis van de begin kwaliteit van een bepaald partij tevens essentieel. De uiteindelijke productkwaliteit is, zoals bij alle AGF producten, het resultaat van het samenspel tussen begin productkwaliteit en keten condities.

Tenslotte is de verwachting dat het effect van licht op vergroening onderzocht in deze studie ook zal gelden bij gangbare aardappelen. Een vervolgonderzoek zou daarom zich niet alleen op biologische aardappelen moeten richten maar zou juist voor de hele sector moeten worden opgezet. Hiermee is de impact op derving veel groter en kan de hele sector profiteren van een verbeterde productkwaliteit.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Project Tegengaan van vergroening	7
1.3 Vergroening van aardappelen	7
2 Aanpak	9
2.1 Meetmethoden voor aardappelvergroening	9
2.2 Monochromatisch studie	10
2.3 Voorbehandeling met licht	11
2.4 Effect PSS op vergroening	12
3 Resultaten en discussie	15
3.1 Resultaten monochromatische studie	15
3.2 Resultaten voorbehandeling	19
3.3 Resultaten effect PSS op vergroening	21
4 Conclusies en aanbevelingen	25

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Uit peilingen van de Nederlandse Aardappel Organisatie en andere, blijkt dat er nog steeds kwaliteitsgebreken vast te stellen zijn bij de biologische aardappels in het schap. Dit is te wijten aan een aantal aspecten zoals de kwaliteit van de geteelde en bewaarde aardappelen en rassen, de tussenschakels, aan de supermarktomgeving waarin de biologische aardappels terecht komen en de lagere doorstromingsnelheid van biologische aardappels. Uit eerste peilingen van de NAO (Nederlandse Aardappel Organisatie) en anderen lijken de belangrijkste aspecten van de kwaliteitsgebreken ‘vergroening’ en ‘kiemen’ te zijn.

In het licht hiervan is het project “Schapkwaliteit voor biologische aardappelen” opgezet. Het project heeft tot doel het verbeteren van de kwaliteit in het schap en het tegengaan van derving van kwaliteit van biologische aardappels in de supermarkt.

1.2 Project Tegengaan van vergroening

Het project “Schapkwaliteit voor biologische aardappelen” kent een aantal sub-projecten. Het onderdeel “Tegengaan van vergroening” is bij Wageningen UR Food & Biobased Research (FBR-WUR) uitgevoerd. De NAO Werkgroep Biologische Aardappelen fungeerde als klankbordgroep. De resultaten van dit onderzoek worden in dit document gerapporteerd.

Het doel van dit projectonderdeel is om te onderzoeken welk type licht in de supermarkt leidt tot de beste resultaten om vergroening van bio-aardappels in het schap tegen te gaan.

1.3 Vergroening van aardappelen

De vergroening van aardappelen is het resultaat van de productie van chlorofyl net onder de schil. Naarmate de productie van chlorofyl toeneemt, wordt de groene kleur van het chlorofyl zichtbaar aan de buitenkant van de knollen en hiermee ontstaat de vergroening.

De vergroening is afhankelijk van een aantal factoren zoals ras, seizoen, fysiologische toestand (bewaarde aardappelen zijn minder gevoelig voor vergroening), temperatuur, licht, etc. Het licht is hierbij het meest belangrijk, vandaar dat het project zich richt op het effect van licht. De productie van chlorofyl wordt getriggerd door licht. Hoe langer de aardappelen worden blootgesteld aan licht hoe meer en sneller wordt chlorofyl aangemaakt.

Chlorofyl is onschuldig. Echter de productie van een toxisch component (solanine) in de aardappelen gebeurt onder vergelijkbare omstandigheden als de productie van chlorofyl. Solanine is kleurloos, dus kan niet door consumenten worden gezien. De groene kleur van het chlorofyl wordt daarom als maat voor de productie van solanine gebruikt, en hierdoor is vergroening een negatief kwaliteitskenmerk.

2 Aanpak

Om de hoeveelheid vergroening in consumptieaardappelen te verminderen is een 3 stappenplan opgesteld. In eerste instantie is onderzocht welke specifieke golflengtes in meer of mindere mate bijdragen aan de productie van chlorofyl, dus de vergroening. In tweede instantie is de potentie van een voorbehandeling met een specifiek type licht verkend. Ten slotte op basis van de vorige resultaten is een nieuw lichtreceptuur onderzocht.

2.1 Meetmethoden voor aardappelvergroening

Om het effect van licht op de vergroening van aardappelen te bepalen, zijn er twee methoden ontwikkeld om de vergroening te kwantificeren.

Chlorofyl meting

Eén van de methoden is gebaseerd op het meten van de hoeveelheid chlorofyl met een hand held instrument (fig. 1). Het instrument – DA meter – stuurt een lichtpuls naar de oppervlakte van de aardappel (dit dringt enkele millimeters in de schil). Een deel van het licht wordt geabsorbeerd en de rest wordt teruggekaatst. Door middel van een sensor wordt de absorptie van licht bepaald. Hoe meer Chlorofyl hoe hoger de absorptie.

Het meetoppervlakte is beperkt. Daarom worden per knol 4 metingen gedaan, goed verspreid over de knol. Alleen de kant van de aardappel die blootgesteld is aan het licht wordt gemeten.



Fig.1 – 53500 DA meter van T.R. Turoni srl, Italië.

Visuele beoordeling

De hoeveelheid vergroening wordt hierbij visueel bepaald en gekwantificeerd door middel van een score. Om de mate van vergroening zo goed mogelijk te meten worden 2 parameters gescoord:

- 1) de intensiteit van de vergroening: 0= niets tot 4= zeer sterk
- 2) de oppervlakte met vergroening: 0=niets, 1=<20% , 2=20-50% tot 3= 50-75% en 4=>75% van de totale oppervlakte van de knol)

Naast de vergroening is de hoeveelheid spruit ook visueel gemeten en gekwantificeerd door middel van de volgende scores: 0= niets tot 5= heel veel, lange spruiten.

2.2 Monochromatisch studie

Het doel van deze eerste test is om het effect van aparte lichtbronnen, dus specifieke golflengten, op de vergroening te meten. De volgende golflengten zijn gekozen:

- Far red
- Blauw
- Groen
- Rood

Daarnaast zijn er 2 witte lampen getest: wit SON (de huidige standaard lampen in de retail) en wit LED (alternatief type lamp). De LED lampen zijn in de test genomen want het lichtintensiteit in dit type lampen kan makkelijk worden aangepast.

Iedere lichtbron is getest met 2 intensiteiten: laag (500 lux =10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) en hoog (1000 lux = 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Om te zorgen dat het hoeveelheid licht gelijk is bij alle aardappelen onder een lichtbron en dat er geen lichtvervuiling is van één lamp naar de andere, is er een speciale opstelling ontwikkeld (fig. 2).

In de test zijn 2 rassen genomen: Ditta en Biogold. Van het ras Ditta zijn 2 partijen getest, een pas geoogste partij uit Israël (“Ditta jong”) en een partij die bewaard was voor een aantal maanden (“Ditta bewaard”). Van iedere partij en bij iedere lichtbehandeling zijn 10 knollen gebruikt. Per lichtbehandeling, zijn alle 30 knollen (10 per partij) onder dezelfde lamp gehouden (zie fig. 2). Daarnaast zijn als controle/referentie ook 30 knollen in het donker bewaard.

De aardappelen zijn constant op 18°C gehouden. Bij alle lichtbehandelingen is het licht per dag 12 uren aan en 12 uren uit geweest. De productie van chlorofyl, vergroening, is gemeten in tijd (na 6, 10 en 16 dagen) volgens de hierboven methoden beschreven. Tevens is bij het inzetten van de test een nulmeting uitgevoerd.

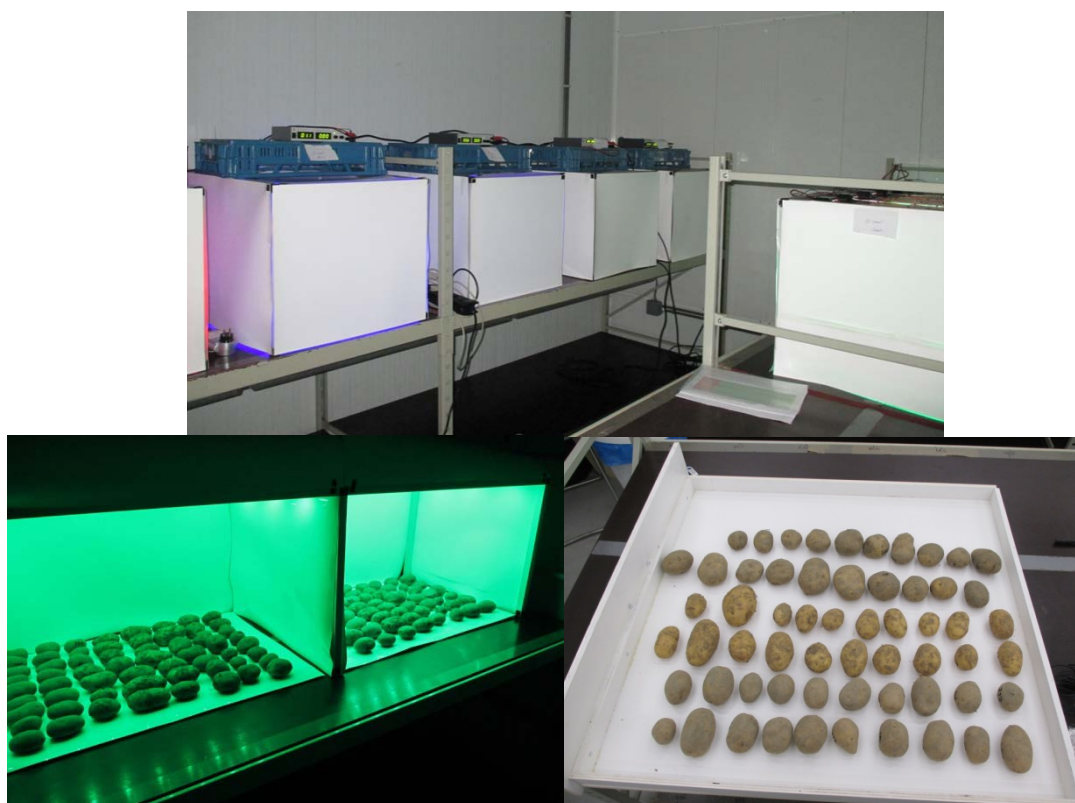


Fig. 2 – Testopstelling gebouwd voor de lichtbehandelingen.

2.3 Voorbehandeling met licht

Het doel van deze tweede test is om de potentie van een voorbehandeling met ultraviolet (UV) licht of met far red licht te verkennen. UV licht heeft een kortere golflengte dan zichtbaar licht maar is daarentegen energierijker. Hierdoor kan het chemische reacties in gang zetten en kan het stress veroorzaken aan de plant. Het idee is dat, door de stress, de normale reactie van de aardappel op het licht kan worden verstoord. In de test is een UV-B lamp gebruikt. Wat de far red licht betreft, planten “zien” far red als donker. Hierdoor kan de reactie op licht worden vertraagd en dus de ontwikkeling van vergroening beperkt.

Beide voorbehandelingen zijn gedurende 12 uur (overnacht) gedaan. Als controle zijn aardappelen onder dezelfde omstandigheden gehouden in het donker. De dag erna zijn de aardappelen onder licht of in het donker bewaard, zoals getoond in het schema in figuur 3.

De test is tevens uitgevoerd met 2 rassen: Ditta en Biogold. Van het ras Ditta zijn 2 partijen getest, een pas geogst partij uit Israël (“Ditta jong”) en een partij dat bewaard was voor een aantal maanden (“Ditta bewaard”). Deze partijen zijn dezelfde als die gebruikt in de monochromatische studie. Voor alle 3 voorbehandelingen zijn van elk partij 20 aardappel gebruikt.

De aardappels zijn gemerkt met een stip die tijdens alle behandelingen naar boven ligt.

Test opzet: Voorbehandeling

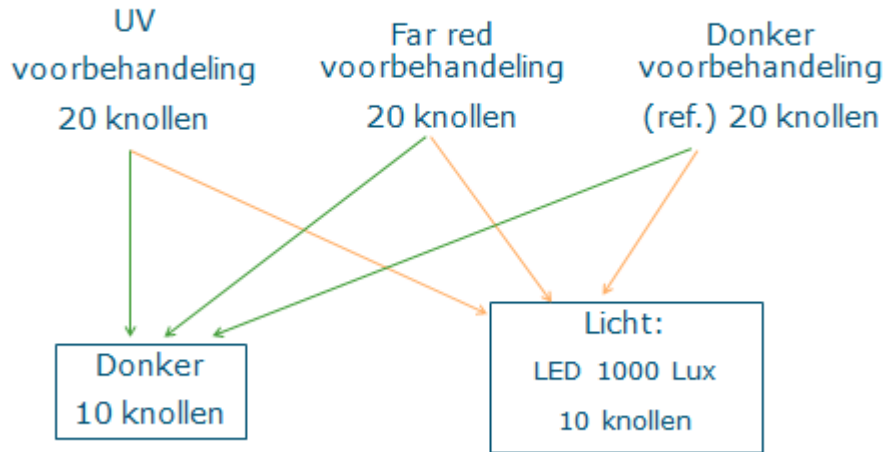


Fig. 3 – Schematische weergave van de voorbehandeling test.

De aardappelen zijn constant op 18°C bewaard. Bij de aardappelen die onder de wit LED lamp zijn gehouden, is het licht per dag 12 uren aan en 12 uren uit geweest. De productie van chlorofyl, vergroening, is gemeten in tijd volgens de hierboven methoden beschreven. De nulmeting is uitgevoerd vóór de voorbehandeling.

2.4 Effect PSS op vergroening

Het gebruik van monochromatisch licht in de supermarkt is vanzelfsprekend niet haalbaar. Een lichtreceptuur moet in de praktijk worden gebruikt. Het doel van deze test is om een combinatie van golflengtes te testen dat tot de minste hoeveelheid vergroening leidt. De resultaten van de monochromatisch test geven niet duidelijk aan welke “kleuren” (rood-, groen- of blauwlicht) het minste vergroening geven. Wel is de productie van chlorofyl onder de far red lampen beperkt gebleven.

Het licht wordt waargenomen door onder andere phytochromen. Dit zijn eiwitten welke veel mechanismen in de plant kunnen aansturen. De phytochromobilin is het meeste voorkomend eiwitvorm. Dit eiwit heeft 2 stadia, de actieve Pfr vorm en de inactieve Pr vorm. Hoeveel van beide vormen aanwezig is in de plant, is afhankelijk van de hoeveelheid rood en far-rood licht. Figuur 4 laat het absorptiespectrum van de phytochromobilin zien.

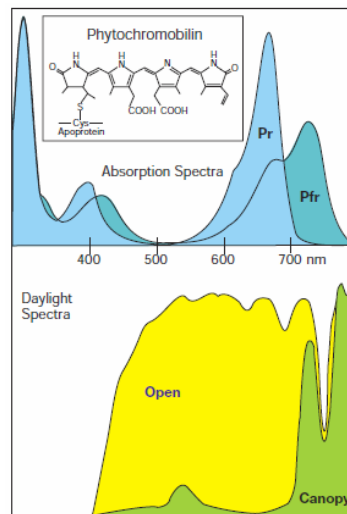


Fig. 4 – Absorptiespectrum van de phytochromobilin Bron: “Phytochromes and light signal perception by plants-an emerging synthesis”; Smith, H.; *Nature* 407, 585-591 (5 October 2000)

Als er meer rood aanwezig is in het licht verschuift het foto evenwicht in de richting van Pr, de actieve vorm. Maar in tegenstelling als er meer far red is, dan wordt de hoeveelheid inactieve vorm (Pfr) juist hoger. De reactie is omkeerbaar. De inactieve vorm beperkt een aantal van de mechanismen in de plant. Uit dit onderzoek moet blijken of het ook de productie van chlorofyl beperkt. Het idee is dus om te zorgen dat het foto evenwicht in de richting van Pfr wordt verschoven. De verhouding tussen de twee vormen wordt uitgedrukt in een waarde: de photostationary state (PSS), met andere woorden het foto evenwicht van deze omkeerbare reactie.

Om het effect van de PSS te testen, de totale lichtintensiteit in het PAR (Photosynthetically Active Radiation) gebied moet constant worden gehouden. Daarom wordt de hoeveelheid rood licht constant gehouden en de verhouding rood-far red beïnvloedt door de hoeveelheid far red aan te passen. De maximum PSS, 0.88, wordt bereikt alleen met rood licht en geen far red lampen. De testvariabelen zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1 – Getest PSS verhoudingen ($10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ komt overeen met 500 lux).

Test variabel	Rood licht	Far Red	PSS
Low	$10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	$96.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	0.252
Medium Low	$10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	$41.7 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	0.410
Medium High	$10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	$9.6 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	0.704
High	$10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	$0.0 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	0.888

Naast de verschillende PSS verhoudingen, zijn aardappelen in het donker gehouden als controle en is wit licht getest:

- Wit LED lampen op 250 lux
- Wit LED lampen op 500 lux
- Wit SON lampen op 500 lux

Bij alle lichtbehandelingen is het licht per dag 12 uren aan en 12 uren uit geweest (supermarkt simulatie).

De volgende bio-rassen zijn gebruikt (2 partijen die hiervoor bruikbaar zijn) :

- Nicola uit Nederland (net geoogst)
- Biogold uit Nederland (ook net geoogst)

Er zijn 20 knollen per partij gebruikt. De aardappelen zijn op constante temperatuur (18°C) en 80% RV gehouden.

De productie van chlorofyl, vergroening, is gemeten bij het inzetten van de proef (nulmeting) en vervolgens in de tijd na 5, 8 en 12 dagen, volgens de hierboven beschreven methoden.

De aardappelen zijn op het eind van het experiment, op dag 12, gescoord op de mate van vergroening door een panel van ongetrainde personen (willekeurig consumenten). Hiervoor is een vragenlijst opgesteld en een 8-punten schaal gebruikt om de behandelingen met elkaar te vergelijken: 1 = geen vergroening en 8 = veel vergroening. In totaal hebben 12 personen de vragenlijst beantwoord.

3 Resultaten en discussie

3.1 Resultaten monochromatische studie

De grafieken in figuur 5 laten de gemeten DA waarde (chlorofyl) voor alle drie partijen in tijd zien. Iedere balk toont het gemiddelde van de 10 knollen, behandeld met de verschillende lichtbronnen. De blauwe balken horen bij de hogere lichtintensiteit en de rode balken bij de lagere lichtintensiteit. De lichtintensiteit is vanzelfsprekend niet van toepassing op de referentie aardappelen gehouden in het donker.

Naast de meting van chlorofyl met de DA, is de vergroening visueel beoordeeld. De mate van vergroening is door middel van twee parameters visueel gescoord: de intensiteit groen (intens.) en de oppervlakte van de aardappel dat groen is verkleurd (opp.). Om de hoeveelheid vergroening beter te kwantificeren, is de intensiteit vermenigvuldigd met de oppervlakte: opp. x intens. De resultaten van deze parameter zijn gepresenteerd in de grafieken van figuur 6. Bij de bewaarde partij van Ditta was er geen groene verkleuring zichtbaar, daarom wordt voor deze partij geen grafiek getoond. Echter is er wel wat chlorofyl gemeten met de DA. Het chlorofyl wordt geproduceerd net onder de schil. Daarom is het in eerste instantie niet zichtbaar aan de buitenkant van de knollen. Naar mate de hoeveelheid chlorofyl toeneemt, wordt de groene kleur van het chlorofyl ook vanaf de buitenkant zichtbaar, een en ander ook afhankelijk van de dikte en kleur van de schil en van eventuele vervuilingen op de schil.

Over het algemeen komen de resultaten van beide methoden goed overeen. De resultaten laten duidelijk het effect van de tijd zien: hoe langer de aardappelen onder het licht worden gehouden hoe meer vergroening. Voor alle 3 rassen is een toename in de productie van chlorofyl in de tijd gemeten. Zoals te verwachten, is er bij de aardappelen bewaard in het donker geen vergroening waarneembaar. Het niveau van vergroening in de donker bewaarde aardappelen is vergelijkbaar met de beginwaarden (nulmeting).

Na de donker bewaarde aardappelen, tonen de aardappelen bewaard onder het ver-rood (far red) licht de minste vergroening. Wat de intensiteit betreft zijn de verschillen beperkt en in de meeste gevallen niet statistisch significant verschillend. Bij de witte lampen, is er voor de Ditta bewaard na 10 dagen statistische significant minder vergroening bij de lager lichtintensiteit dan bij de hoger (alleen bij de chlorofyl metingen). Hetzelfde geldt voor de Ditta jonge na 6 dagen (alleen bij de visuele beoordeling). De statistische analyse is uitgevoerd met de resultaten van dag 6 en dag 10.

Om eventueel verschillen tussen de lichtbehandelingen te kunnen aantonen zijn de resultaten door middel van een statistische analyse getoetst. Omdat er geen echte herhalingen zijn (dat wil zeggen 2 sets van 10 knollen onder twee lichtopstellingen per lichtbehandeling), is het niet

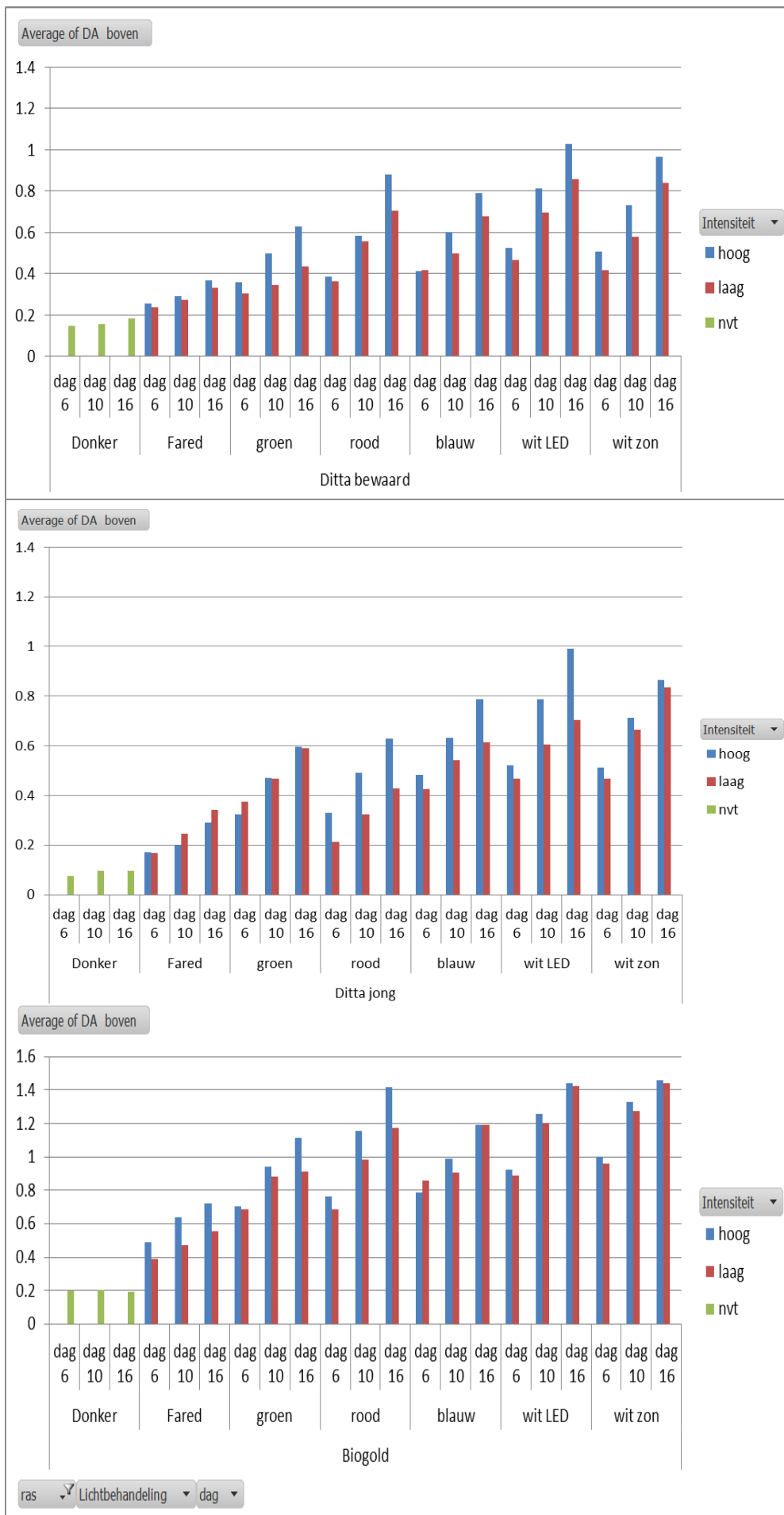


Fig. 5 – Gemiddelde DA waarden in de tijd bij het monochromatische onderzoek.

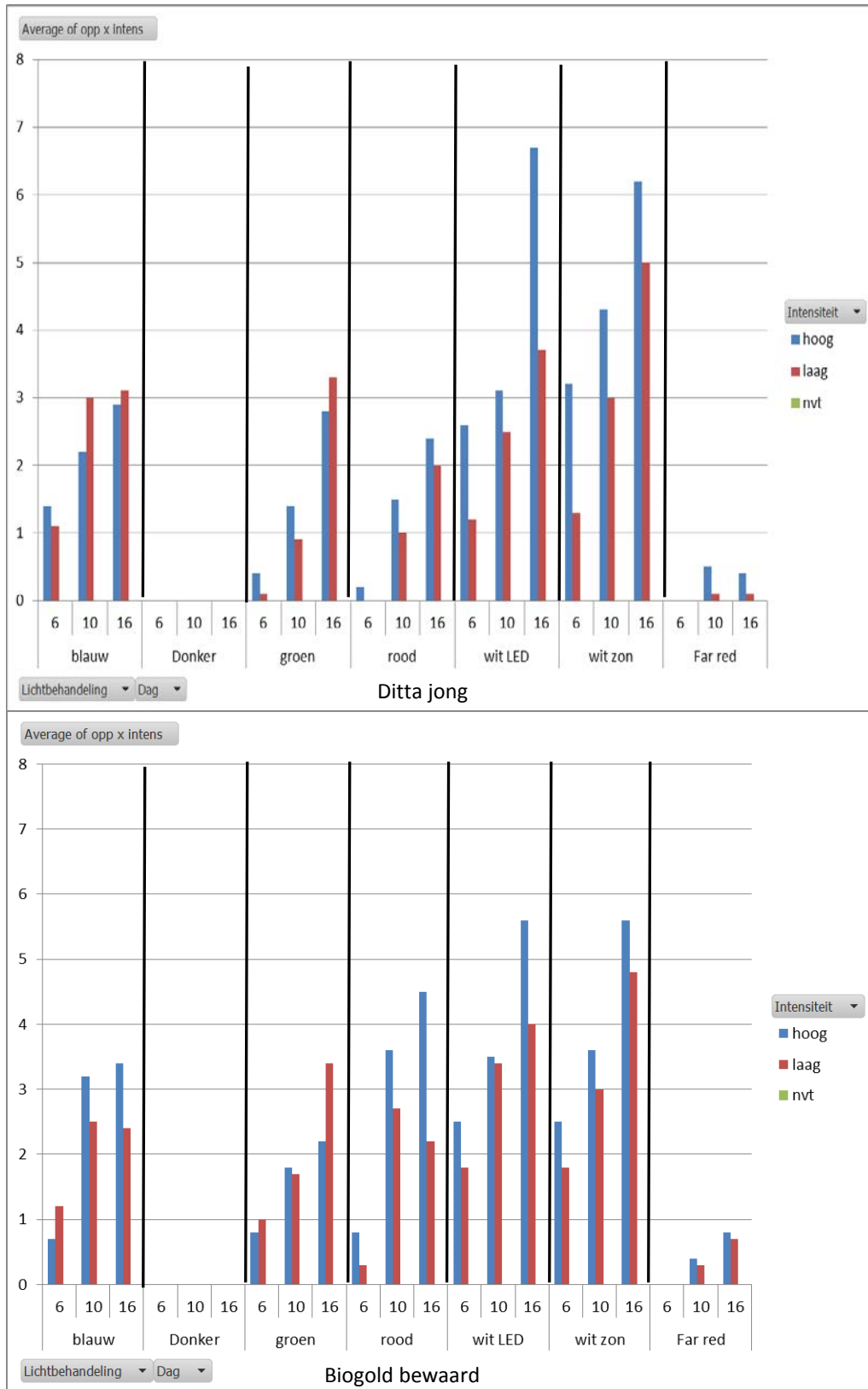
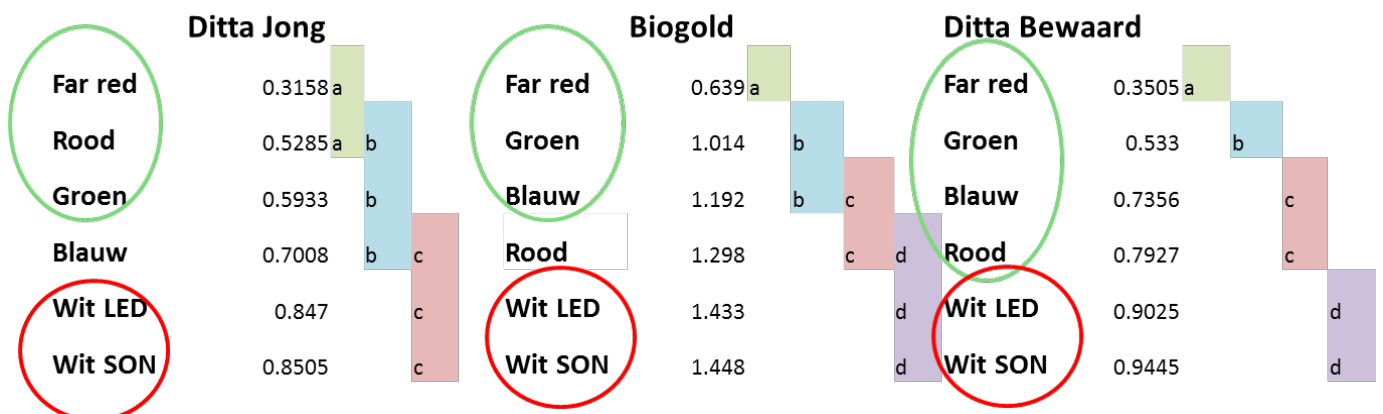


Fig. 6 – Gemiddelde score van de visuele beoordeling (oppervlakte x intensiteit) in de tijd bij het monochromatische onderzoek. Bij de Ditta bewaard partij was de vergroening niet op het oog zichtbaar.

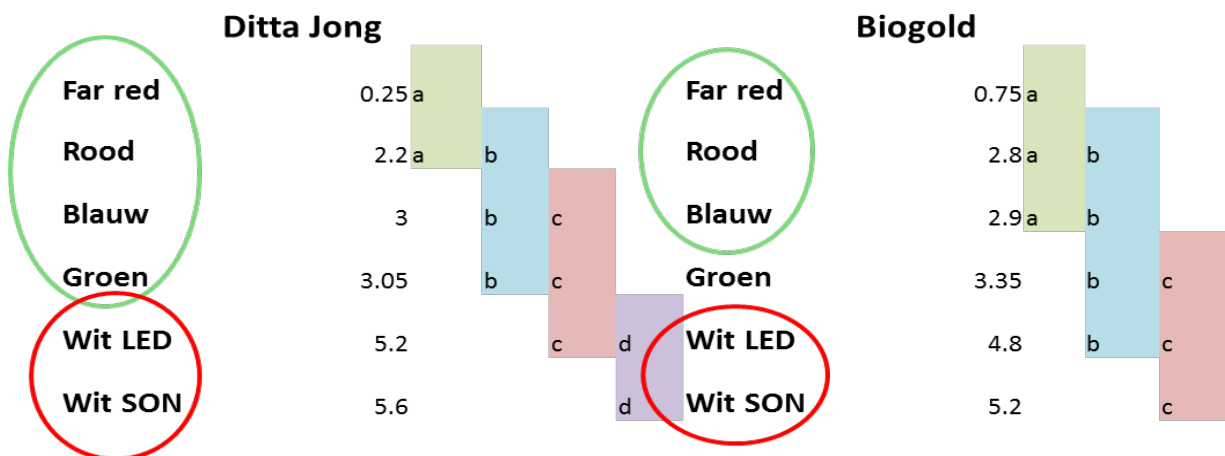
mogelijk om het hoofdeffect van lichtbehandeling en lichtintensiteit en hun interactie te toetsen. Per partij en per meetmoment zijn de gemiddelden van de metingen over de 10 knollen geanalyseerd. Hoofdeffecten van lichtbehandeling en lichtintensiteit zijn getoetst tegen de interactie tussen lichtbehandeling en lichtintensiteit, i.e. Response = c+lichtbehandeling +intensiteit +error.

Dit geeft conservatieve toetsen voor de hoofdeffecten, dat wil zeggen de berekende P-waarden kunnen te hoog zijn ingeval interactie bestaat. Voor toetsing van interactie is evenwel een proefopzet met echte herhalingen vereist. Paarsgewijze verschillen tussen gemiddelden voor de lichtbehandelingen zijn getoetst met t-toetsen; daarbij is gebruik gemaakt van de GenStat procedures RPAIR en PPAIR.

De statistische analyse is uitgevoerd met de metingen van dag 16, waarbij het gemiddelde van zowel de resultaten van de lage als van de hoge intensiteit per behandeling zijn gebruikt. De tabellen in figuren 7 en 8 laten respectievelijk de resultaten van de statistische analyse van de DA metingen en van de “opp. x intens” beoordeling zien.



Figuur 7 – Statistiek analyse Chlorofyl metingen (DA) op dag 16.



Figuur 8 – Statistiek analyse visuele beoordeling (opp x intens.) op dag 16.

Lichtbehandelingen met dezelfde letter zijn niet statistisch significant verschillend van elkaar. De mate van vergroening bij de aardappelen bewaard onder wit LED is niet significant verschillend van de wit SON. Per partij aardappelen zijn de lichtbehandelingen in de groene cirkel significant verschillend van de lichtbehandelingen in de rode cirkel. Ondanks het feit dat de lichtintensiteit bij alle lichtbehandelingen dezelfde is, is het duidelijk dat de afzonderlijke lichtbronnen tot minder vergroening leiden dan de wit licht behandelingen. Daarnaast heeft ver-rood (far red) steeds de laagste hoeveelheid vergroening. Wat de andere golflengtes betreft, kan er niet uit deze resultaten worden geconcludeerd dat één van de drie “kleuren” consistent de vergroening vermindert.

Naast de vergroening is de hoeveelheid spruitvorming (spruiting) bij de knollen gemeten. Bij Biogold lijkt meer spruiting te ontstaan bij wit SON dan bij wit LED (statistisch significant verschillend). Bij Ditta bewaard is de mate van spruiting significant verschillend zowel tussen de twee witte lampen maar ook tussen de intensiteit. Ook hier is er minder spruiting bij de wit LED dan wit SON. Bij de Ditta jong zijn er geen significant verschillen.

3.2 Resultaten voorbehandeling

De grafieken in figuur 9 en 10 laten de hoeveelheid vergroening gemeten in tijd na de voorbehandeling zien (respectievelijk de gemiddelde waarde van de visuele beoordeling en de chlorofyl meting).

Omdat de mate van vergroening bij de voorbehandelde monsters hoger was dan de controle (= donkere voorbehandeling en vervolgens bewaring onder licht= zie “licht-donker” in figuren 9 en

10), zijn beide Ditta partijen – jong en bewaard – alleen tot dag 14 gemeten. Bij de visuele beoordeling van de “Ditta bewaard” aardappelen was er geen vergroening waarneembaar (bij de DA meting is wel chlorofyl gemeten).

Wat Biogold betreft, was er, na 14 dagen, bij de visuele beoordeling van de far red voorbehandelde monsters iets minder vergroening dan de controle (geen voorbehandeling) gemeten. Daarom is deze partij ook bij dag 21 gemeten. Echter na 21 dagen blijkt dat ook voor Biogold, de mate van vergroening van de voorbehandelde monsters hoger is dan de controle. Deze resultaten gelden zowel voor de visuele beoordeling als voor DA metingen (Chlorofyl).

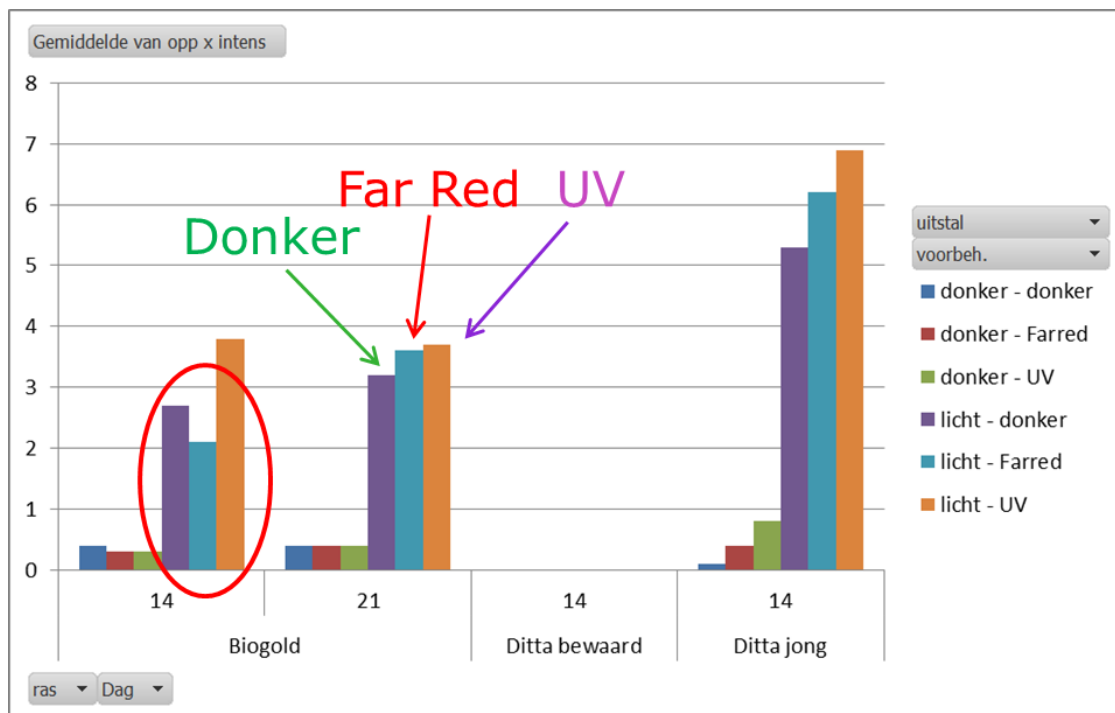


Fig. 9 - Gemiddelde score van de visuele beoordeling (oppervlakte x intensiteit) in de tijd van de voorbehandelde aardappelen.

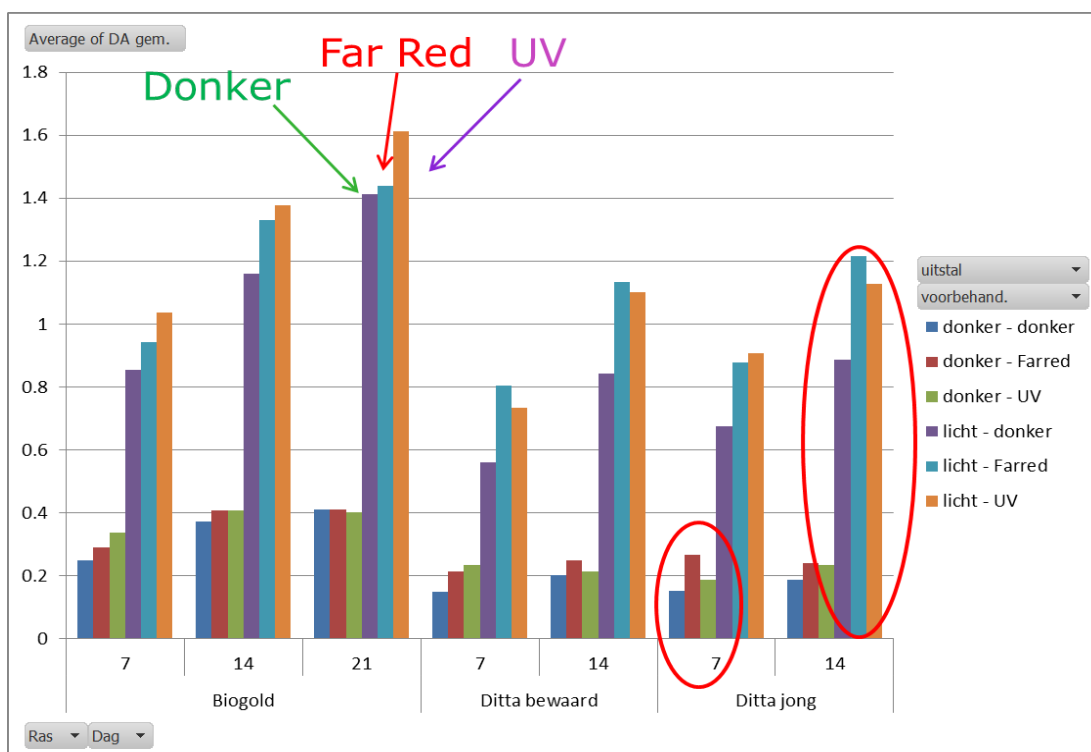


Fig. 10 - Gemiddelde DA waarden in de tijd van de voorbehandelde aardappelen.

3.3 Resultaten effect PSS op vergroening

Omdat er in dit experiment op dag 0 een aantal knollen waren die lichte vergroening vertoonden, zijn de resultaten van de visuele beoordeling en het chlorofyl metingen bij de verschillende meetmomenten gecorrigeerd door de waarden van dag 0 af te trekken. Deze gecorrigeerde parameters zijn dDA en d(opp x int) genoemd, respectievelijk voor het chlorofyl meting en de score van de oppervlakte vermenigvuldigd met de intensiteit uit de visuele beoordeling (opp. x int.). De gemiddelde waarden voor deze 2 parameters in tijd, voor beide partijen, zijn geplot in figuren 11 en 12.

Bij de Biogold partij kan een trend herkend worden in het effect van additioneel far red licht op de vergroening: hoe meer far red licht wordt toegevoegd aan de lichtbron, hoe minder vergroening. Deze trend is niet duidelijk te zien bij de Nicola partij. Echter, in beide gevallen is het wel duidelijk dat de test variabele “PSS Low” (dus met de hoogste hoeveelheid far red), de laagste hoeveelheid vergroening vertoont. Beide meetmethoden bevestigen dit resultaat. Tussen de LED en SON lampen met 500 lux intensiteit is er geen verschil. Bij de LED lampen met lagere intensiteit (250 lux) is er minder vergroening gemeten tov de hogere intensiteit, maar het verschil is beperkt.

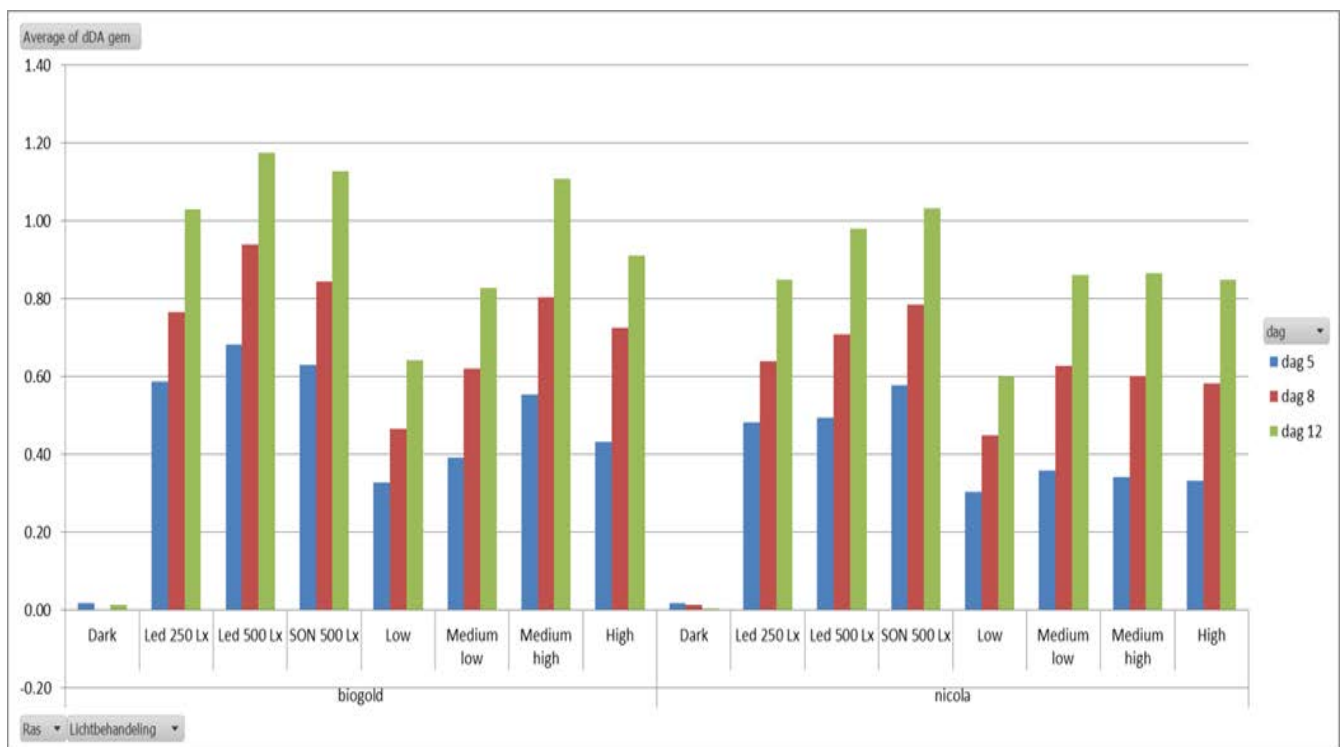


Fig. 11 - Gemiddelde dDA waarden in de tijd van verschillende verhoudingen rood en far red licht en witten lampen.

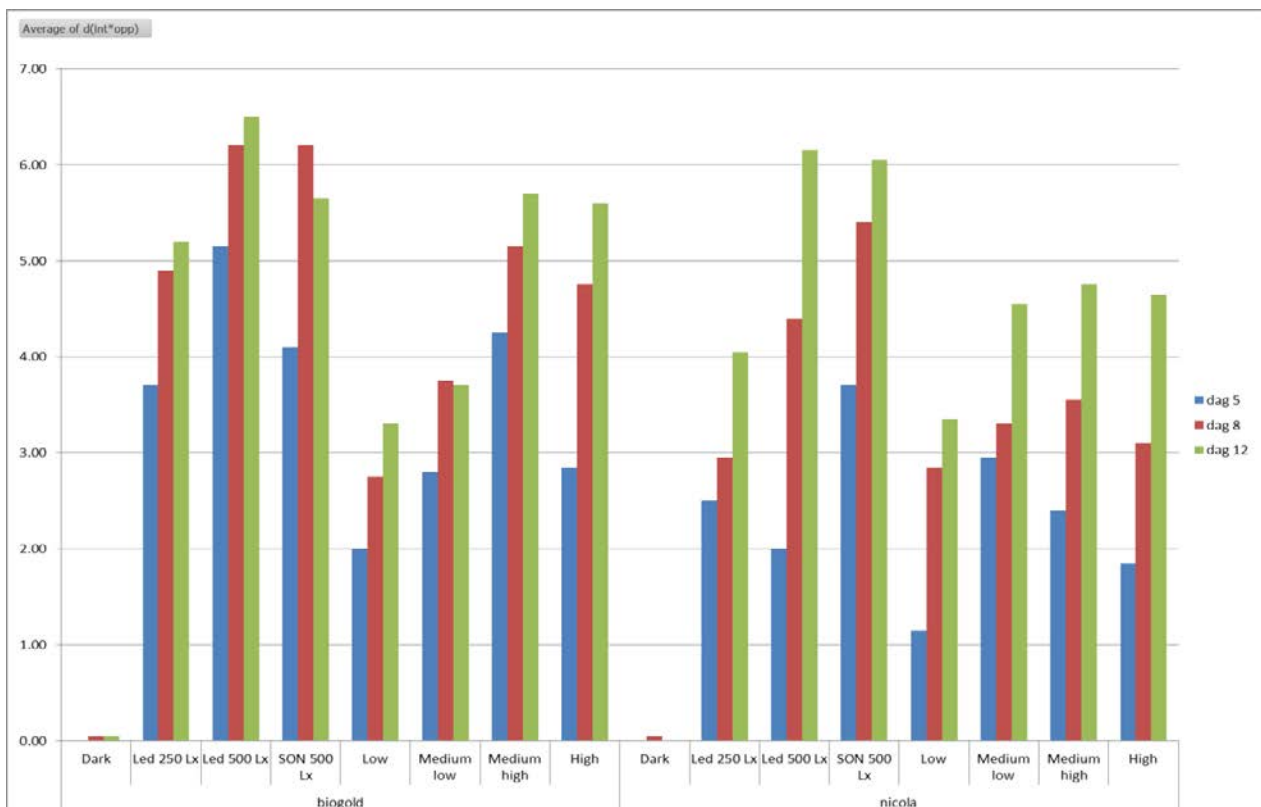


Fig. 12 - Gemiddelde scores visueel beoordeling d(int. x opp.) in de tijd van verschillende verhoudingen rood en far red licht en witten lampen.

Zoals te verwachten neemt de hoeveelheid vergroening toe in tijd. De aardappelen bewaard in het donket tonen nauwelijks vergroening, ook zoals te verwachten.

Figuur 13 laat de resultaten van de vragenlijst zien. De aardappelen zijn op het eind van het experiment, op dag 12 gescoord op de mate van vergroening: 1 = geen vergroening en 8 = veel vergroening. In totaal hebben 12 personen (geen getraind panel, maar willekeurige consumenten) de vragenlijst beantwoord. De grafieken laten de gemiddelde scores zien.

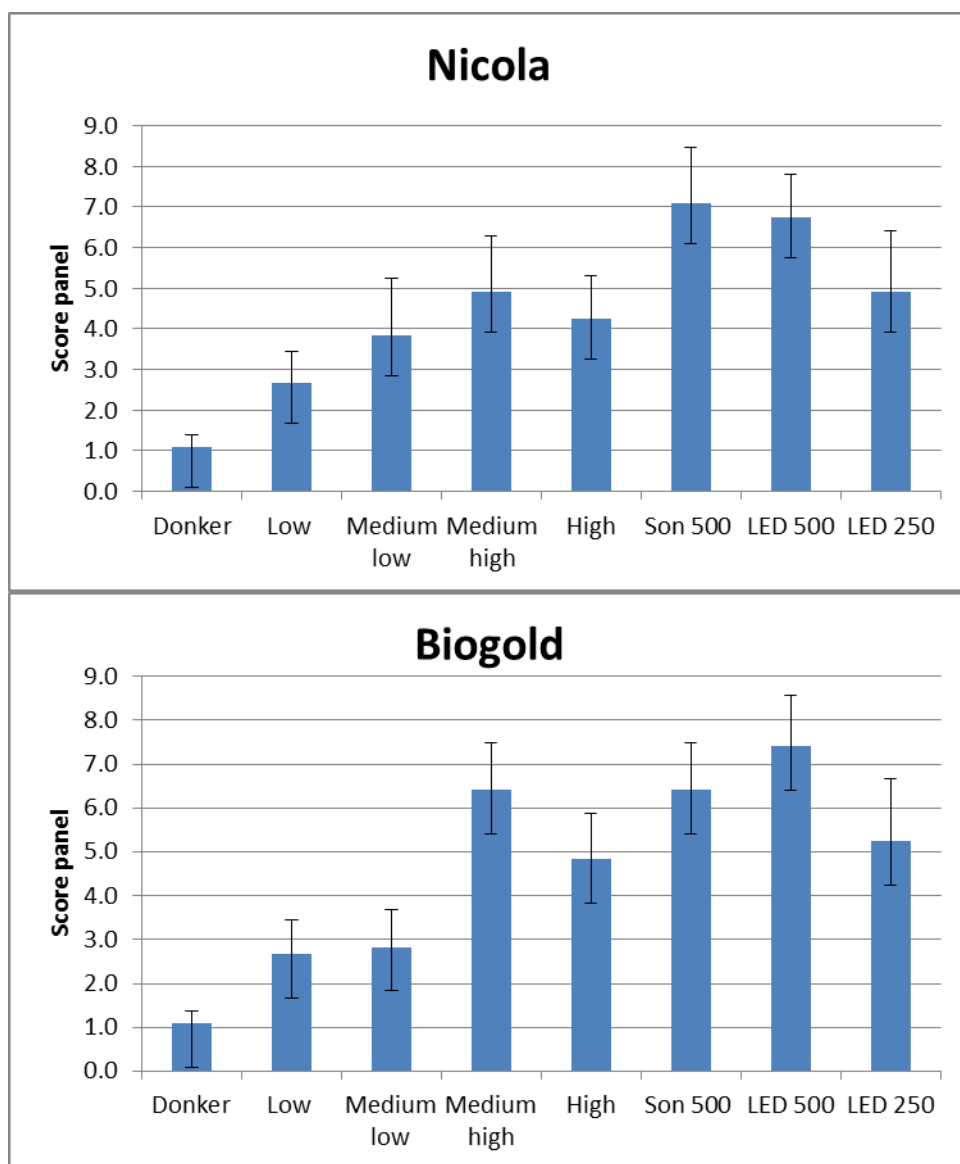


Fig. 13 – Resultaten van de vragenlijst beantwoord door 12 personen (mate van vergroening gescoord in een schaal van 1 = geen vergroening tot 8 = veel vergroening).

De resultaten komen goed overeen met die van de andere meetmethoden, en bevestigen hiermee de waargenomen trends.

Naast de vergroening is de hoeveelheid spruit (spruiting) bij de knollen ook gemeten. Zoals te verwachten – de aardappelen waren net geoogst - is er geen spruiting geconstateerd.

4 Conclusies en aanbevelingen

Uit dit onderzoek is gebleken dat de gemeten vergroening lager is bij de aardappelen behandeld met hoger far red licht ($96.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) gecombineerd met rood licht ($10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s} = 500 \text{ lux}$) dan bij andere combinaties van far red en rood licht. De standaard afwijking is groot dus op basis van deze proef alleen kan niet worden geconcludeerd dat deze verhouding van far red en rood licht ($\text{PSS}=0,252$) de vergroening remt. De lager gemeten vergroening bij deze licht verhouding geldt wel voor beide geteste partijen (net geoogst biologische Nicola en Biogold) en bij alle meetmomenten. In het geval van de Biogold partij kan een trend herkend worden in het effect van far red licht op de vergroening: hoe meer far red licht wordt toegevoegd aan het rode licht, hoe minder chlorofyl wordt geproduceerd. Op basis van deze consistente metingen is de verwachting dat bij verder onderzoek, waarbij de verschillen tussen aardappelen kleiner zijn, de toepassing van een lichtreceptuur met verhoogd aandeel far red tot een significante verlaging van de vergroening zal leiden.

Wat het monochromatisch onderzoek betreft, kan uit de resultaten worden geconcludeerd dat groen, blauw of rood licht afzonderlijk tot minder vergroening leidt dan een witte lamp (waarbij alle golflengtes aanwezig zijn). Echter kan uit dit onderzoek niet worden geconcludeerd welke van de 3 kleuren licht het best is om de vergroening te verminderen. Uit de resultaten blijkt dat er, bij de verschillende partijen en meetmomenten, steeds een andere kleur licht is (uit de geteste drie) dat de productie van chlorofyl het meest beperkt. Daarnaast zijn in de meeste gevallen de verschillen tussen de 3 lichtkleuren niet statistisch significant. In het monochromatisch onderzoek is far red afzonderlijk ook getest. Uit de resultaten kan wel worden geconcludeerd dat de laagste hoeveelheid vergroening consistent bij de far red lampen is gemeten.

Zowel bij het onderzoek naar het effect van de PSS verhouding op vergroening, als bij het monochromatisch onderzoek, is er geen verschil tussen de twee type witte lampen, LED of SON, op de vergroening. Wat de lichtintensiteit betreft, is het verschil tussen de 1000 en 500 lux en 500 en 250 lux beperkt. Alleen bij een aantal meetmomenten en meetmethoden is dit verschil statistisch significant. Wel is de vergroening zowel gemeten door de visuele beoordeling als de DA meting, in de meeste gevallen lager bij de lagere lichtintensiteit.

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat een voorbehandeling van 12 uren met UV-B of far red licht, de productie van chlorofyl niet kan vertragen.

Uit het onderzoek kan tenslotte worden geconcludeerd dat de visuele beoordeling van de vergroening goed overeenkomt met het spectroscopische meten van het chlorofyl (DA meter) en dat de vergroening, zoals door experts gemeten, goed overeenkomt met de beoordeling door niet experts (vergelijkbaar met consumenten).

Het project biedt aanknopingspunten voor verder onderzoek naar een oplossing (of vermindering) voor de vergroening van aardappelen in het schap. Op basis van deze resultaten is het waardevol om het gebruik van far red licht gecombineerd met een witte lamp te toetsen. Hierbij kan het spectrum van de witte licht worden aangepast zodat het minder rood licht bevat. Er zijn meerdere lichtrecepturen mogelijk die in de praktijk haalbaar zijn.

Verder is het uit de resultaten te concluderen dat er grote verschillen zijn in vergroening tussen knollen. Deze verschillen kunnen al ontstaan in de loop van de keten, als sommige aardappelen eerder blootgesteld zijn aan het licht. Om de mate van vergroening in het schap tegen te gaan is een ketenbreed aanpak nodig. Het is de verwachting dat een optimale producthandeling en gebruik van aangepast licht bij alle ketenschakels, van teler tot retailer, tot minder vergroening zal leiden. Hierbij is kennis van het begin kwaliteit van een bepaald partij tevens essentieel. De uiteindelijke productkwaliteit is, zoals bij alle AGF producten, het resultaat van het samenspel tussen begin productkwaliteit en keten condities.

Tenslotte is de verwachting dat het effect van licht op vergroening onderzocht in deze studie ook zal gelden bij gangbare aardappelen. Een vervolgonderzoek zou daarom zich niet alleen op biologische aardappelen moeten richten maar zou juist voor de hele sector moeten worden opgezet. Hiermee is de impact op derving veel groter en kan de hele sector profiteren van een verbeterde productkwaliteit.