



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Control of early plant development by light quality

Spaninks, K.

Citation

Spaninks, K. (2023, May 10). *Control of early plant development by light quality*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3618264>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3618264>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting



Jonge planten van gewassen zoals *Solanum lycopersicum* (tomaat) zijn relatief klein, waardoor ze minder behoefte hebben aan een hoge lichtintensiteit. Om ruimte en energie te besparen, zouden deze jonge planten in meerdere lagen boven elkaar gegroeid kunnen worden. Omdat “light-emitting diode” (LED) lampen geen extra hitte produceren bij het bereiken van een hoge lichtintensiteit, kunnen ze worden gebruikt in dergelijke “vertical farming” groeisystemen. Bovendien geeft het gebruik van LEDs de optie om de intensiteiten van verschillende golflengtes (kleuren) in het lichtspectrum aan te passen om daarmee de plantenontwikkeling gericht te sturen. Daartoe moet wel duidelijk zijn hoe de lichtkwaliteit (spectrum) via verschillende lichtgevoelige “fotoreceptoren” ontwikkelings- en groei- processen in de plant beïnvloedt. Fotoreceptorfamilies worden geactiveerd door verschillende golflengtes in het spectrum: fytochromen (PHYs) zijn gevoelig voor rood en ver-rood licht, fototropines (PHOTs), cryptochromen (CRYs) en zeitlupes (ZTLs) worden geactiveerd door blauw licht, en de UV-RESISTANCE LOCUS 8 (UVR8) receptor reageert op UV-B licht. In **hoofdstuk 1** worden de ontdekking, de eiwitstructuren en de signaaltransductieroutes van de verschillende fotoreceptoren geïntroduceerd. Vervolgens wordt de rol van elke fotoreceptor tijdens verschillende stadia van plantenontwikkeling besproken, en hoe dit interacteert met de signaaltransductie van plantenhormonen. Na de kieming van een zaadje ondergaat het plantenembryo in het licht een transitie van heterotrofisch naar foto-autotrofisch. Kieming in de donkere aarde resulteert in etiolatie van de zaailing, waarbij snelle apicale groei van de hypocotyl ervoor zorgt dat de scheut snel het licht kan bereiken. Eenmaal in het licht worden PHYs en CRYs geactiveerd, die zorgen voor remming van de hypocotylgroei en voor opening van de zaadlobben zodat het scheut apicale

meristeem (SAM) blootgesteld wordt aan het licht. Dit stimuleert de productie van bladeren, en een signaaltransductie vanuit het SAM die de wortelgroei reguleert. Een van de meest bestudeerde licht-gereguleerde processen in planten is de schaduwreactie, waarbij de lichtintensiteit of de rood:ver-rood ratio laag is. Deze reactie wordt gemedieerd door een PHY signaaltransductie die resulteert in sterke lengte groei van de stengel, hyponastische bladeren en vroege bloei. Behalve de-etiologie en de schaduwreactie wordt ook de transitie van vegetatieve groei naar reproductieve groei gereguleerd door licht. In lange-dag (LD) planten, zoals de genetische modelplant *Arabidopsis thaliana* (*Arabidopsis*), wordt bloei geïnduceerd door de langere daglengte aan het einde van de lente, via interacties tussen ZTL fotoreceptoren en het circadiaanse ritme (biologische klok). Dag-neutrale (DN) planten zoals tomaat worden reproductief op basis van autonome en hormonale regulatie, en zijn ongevoelig voor daglengte. Aan het einde van **hoofdstuk 1** worden de overige verschillen tussen *Arabidopsis* en tomaat behandeld, waarbij gefocust wordt op de genen en processen die geassocieerd worden met licht. In **hoofdstuk 2** is onderzocht hoe primaire wortelgroei van zaailingen wordt beïnvloed door directe belichting van de wortels. *Arabidopsis* en tomatenzaailingen werden gegroeid in een “meer natuurlijke” *in vitro* omgeving met de scheut in het licht en de wortels in het donker: de zogenaamde dark-grown roots (DGR) conditie. In vergelijking met traditionele *in vitro* systemen waarbij de gehele zaailing belicht wordt (LGR condities), zorgt de DGR conditie voor een betere ontwikkeling van het wortelsysteem. Met behulp van mutanten, reporterlijnen, auxine behandelingen, enten, en genexpressie analyse hebben we laten zien dat PHYB fotoreceptoren in de wortel geactiveerd worden door rood licht. Dit resulteert in inhibitie van PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR (PIF)



4, een activator van het auxine biosynthese gen *YUCCA 6*. Op een vergelijkbare manier wordt PIF1 (een activator van *YUCCA 4* en *YUCCA 6*) geremd door PHYA als reactie op ver-rood licht. In de LGR conditie veroorzaakt dit een suboptimale auxine concentratie in het wortelmeristeem, wat resulteert in kortere wortels. In de DGR conditie vindt de PHYA- en PHYB-gereguleerde remming van auxine biosynthese niet plaats, waardoor de auxine concentratie in het meristeem optimaal is voor wortelgroei. Wortels van DGR tomatenzaailingen waren ook langer dan die van LGR zaailingen, wat suggereert dat de respons van wortels op directe belichting in ieder geval gedeeltelijk geconserveerd is in planten. In **hoofdstuk 3** zijn Arabidopsis en tomatenplanten gegroeid in een LED systeem met drie verschillende licht condities: wit licht (controle), monochromatisch rood licht, en monochromatisch blauw licht. Monochromatisch rood licht bevorderde de apicale groei van zowel Arabidopsis als tomatenplanten, waardoor deze een langere hypocotyl en stengel, en een hogere scheut/wortel ratio hadden. Monochromatisch blauw licht had een tegenovergesteld effect resulterend in een kortere hypocotyl en stengel, en een lage scheut/wortel ratio. In oudere Arabidopsis planten resulteerde de rode LED conditie in een grote rozet, extreem late bloei, en veel vertakkingen op de primaire boeiwijze, terwijl de blauwe LED conditie zorgde voor weinig bladeren en vertakkingen, en erg vroege bloei. Verassend genoeg bleken deze processen in tomaat volledig ongevoelig voor rode en blauwe golflengten te zijn. Dit benadrukt nogmaals dat lichtreacties die onderzocht zijn in de modelplant Arabidopsis daarnaast ook in relevante gewassen onderzocht moeten worden. In **hoofdstuk 4** zijn de hypocotyl- en stengelfenotypes vanuit de LED condities in meer detail onderzocht. Deze analyses lieten zien dat in monochromatisch rood licht de

primaire radiale groei geremd werd, terwijl deze LED conditie de apicale hypocotylgroei in Arabidopsis en tomatenzaailingen juist bevorderde. In beide soorten had monochromatisch blauw licht een antagonistisch effect. Histologie en microscopische analyse lieten zien dat deze fenotypes ontstaan door verschillen in de grootte van epidermis- en pithcellen, wat suggereert dat lichtkwaliteit hypocotylgroei reguleert door het gericht verslappen van de celwand en door opzwellen van de vacuole. Bij oudere tomatenplanten bleek de primaire radiale stengelgroei, net als de bladproductie en bloei, ongevoelig voor lichtkwaliteit. Terwijl er wel een effect van lichtkwaliteit op de primaire radiale groei van Arabidopsis stengels werd geobserveerd. De rode LED conditie veroorzaakte dikke stengels, terwijl de Arabidopsis planten in de blauwe LED conditie dunne stengels hadden. Deze fenotypes resulteerden uit verschillen in primaire xyleem differentiatie en het aantal vasculaire bundels. Tenslotte bleek uit een mutant analyse dat CRYs en PHYs een belangrijke rol spelen in de lichtregulatie van apicale en primaire radiale groei. In **hoofdstuk 5** zijn de blad en bloei fenotypes van Arabidopsis en tomatenplanten in de verschillende LED condities in meer detail onderzocht. In monochromatisch rood licht was het SAM van Arabidopsis planten vergroot. Dit resulteerde, samen met een langere vegetatieve groeifase, in een extreem grote rozet. De blauwe LED conditie had nogmaals een tegenovergesteld effect op het fenotype. In DN tomatenplanten was het SAM ongevoelig voor lichtkwaliteit waardoor hetzelfde aantal bladeren en dezelfde bloeitijd werden geobserveerd in alle LED condities. Dit suggereerde dat de lichtspectrum-gevoeligheid van bloei in Arabidopsis correleert met daglengte-gevoeligheid. Genexpressie en mutant analyses bevestigden dat de fotoperiode signaaltransductie, en dus versnelde bloei, geactiveerd wordt door blauw licht, terwijl de veroudering, en



Samenvatting

dus ook bloei, geremd wordt door rood licht. Tenslotte heeft verdere analyse geleid tot de conclusie dat rood licht-geactiveerde PHYB fotoreceptoren de bloei uitstellen via de verouderings signaaltransductie. Dit verklaart waarom Arabidopsis en sla planten vroeg bloeiden in de blauwe LED conditie (zonder rode golflengten), waar PHYB alleen aanwezig is in de inactieve vorm. Uit dit proefschrift kunnen we concluderen dat rood en blauw licht vaak een antagonistisch effect hebben op plantengroei en -ontwikkeling. Omdat we Arabidopsis en tomaat hebben gebruikt in dit onderzoek, hebben we zowel gelijkenissen als verschillen ontdekt in hoe deze twee soorten op het lichtspectrum reageren (**Figuur 1**). Dit benadrukt nogmaals hoe belangrijk het is om naast genetische modelorganismen ook relevante gewassen in het onderzoek te betrekken.

Arabidopsis	<p>Lange, dunne hypocotyl Korte wortel met weinig zijwortels</p>	<p>Grote rozet, late bloei Lange, dikke stengels met veel vertakkingen</p>	<p>Korte, dikke hypocotyl Korte wortel met veel zijwortels</p>	<p>Kleine rozet, vroege bloei Korte, dunne stengels met weinig vertakkingen</p>
Tomaat	<p>Lange, dunne hypocotyl Normale wortellengte</p>	<p>Normale bloeitijd Lange stengels met normale dikte</p>	<p>Korte, dikke hypocotyl Korte wortel</p>	<p>Normale bloeitijd Lange stengels met normale dikte</p>

Figuur 1: Ontwikkeling en groei van Arabidopsis en tomatenplanten in rood of blauw licht.

Overzicht van de fenotypen die geobserveerd zijn in Arabidopsis en tomatenplanten na groei in monochromatisch rood licht (links) of monochromatisch blauw licht (rechts), ten opzichte van wit licht. “normaal” geeft aan dat het fenotype in de LED conditie hetzelfde was als in wit licht.

