

## MOGELIJKHEDEN VAN KUNSTLICHT IN DE GLASTUINBOUW<sup>1)</sup>

door

P. J. A. L. de Lint<sup>2)</sup>

### SUMMARY

*Plants react in a rather complicated way upon illumination. To advice optimal application of light in practical glasshouse horticulture is very difficult for this reason. We distinguish several light sensitive reactionsystems in plants, viz.*

1. *fototropic curvature towards light*
2. *fotogenetic respons in various aspects of growth and development*
3. *fotoperiodic flowering control in daylength sensitive plant species*
4. *fotosynthesis or CO<sub>2</sub>-assimilation which is in fact the energy feedingsystem of plants.*

*Three main pigment-systems for lightperception are known. Each of these provides energy to drive its own reaction-system in the physiology of growth. The pigment-reaction systems differ considerably in light-intensity dependences and in reactionspectrum. Also, the fotosensitive processes are, each in a very specific way, sensitive to most other climate components as well. Furthermore, fotosynthesis results in a rather immediate effect on growth, whereas flower-induction on the other hand causes very much delayed effects with long term aftereffects.*

*The fact that one irradiation causes a whole complex of lightresponses of quite different impact, all differently sensitive to other climatefactors, along with the varying level of natural light in the glasshouse, makes it very difficult to quantify exactly the effect of artificial light on the crop, and to fully evaluate its economic possibilities. However knowledge is growing and some very satisfactory routines have been developed already. No doubt accuracy in prediction of effects will increase and along with it the economical applicability of artificial light will be extended.*

---

<sup>1)</sup> *Bewerking van een lezing gehouden op 1 nov. 1978 te Voorschoten voor de Nederlandse Vereniging Techniek in de Landbouw, sectie IV: De toepassing van elektrische energie en alternatieve energievormen in de landbouw.*

<sup>2)</sup> *Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk.*

## **Plantkundige aspecten**

Planten reageren nogal ingewikkeld op licht. Hierdoor is voor het optimale gebruik van lamplicht in de praktijk van de glastuinbouw moeilijk een optimaal recept te geven. Een plant heeft namelijk meerdere lichtgevoelige reactiemechanismen, die elk een geheel eigen invloed op de groei en de produktie van de gewassen hebben.

## **Lichtgevoelige systemen in de plant**

In de uitwerking van zichtbaar licht op groene planten kan onderscheid worden gemaakt in:

### **1. Fototropie.**

De plant kan waarnemen waar het licht vandaan komt en kan zich naar een lichtbron toebuigen, of er zich juist van afkeren.

### **2. Fotomorfogenetische, fotoformatieve of vormbepalende reactie.**

Door dit systeem zal een belichte plant onder andere bladoppervlakken ontwikkelen, stengelleden en bladstelen van bepaalde lengte krijgen en allerlei kleurstoffen vormen.

### **3. Fotoperiodische of daglengte-reactie.**

In veel plantesoorten wordt met dit systeem de aanleg van bloemen geregeld. Het is een bijzondere fotoformatieve reactie.

### **4. Fotosynthese, CO<sub>2</sub>-assimilatie of drogestofproduktie.**

Dit is het eigenlijke voedingssysteem van de plant, waarmee lichtenergie wordt gebonden tot chemische energie in de gesynthetiseerde energierijke organische stof, zoals suikers, enz.

De afzonderlijke lichtgevoelige systemen hebben zeer specifieke lichtintensiteits- en belichtingsduurafhankelijkheden (tabel 1) en specifieke reactie-spectra (afb. 1). Deze verschillen berusten op verschillen tussen de in het geding zijnde pigment-eiwit-complexen en de daaraan gekoppelde biochemische/fysiologische reactiemechanismen.

Het **fototropie-systeem** is een uiterst lichtgevoelig systeem. Zeer zwakke belichting veroorzaakt al een respons. Afhankelijk van de lichtsterkte zal een zeker plantedeel zich naar een lichtbron toe wenden, of zich er juist van afkeren (afb. 2). Het systeem is uitsluitend gevoelig

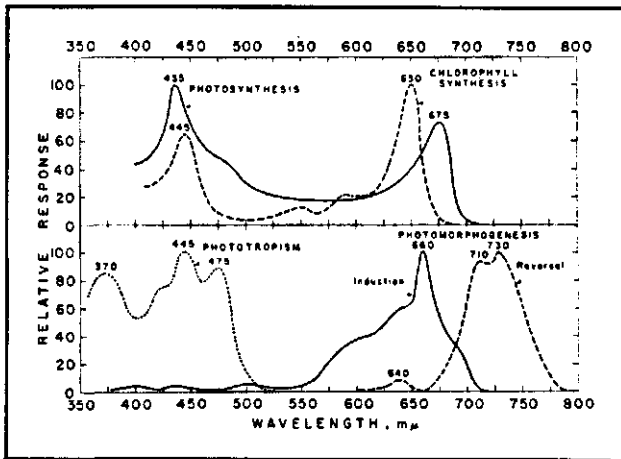
TABEL 1 Lichtgevoelige biologische systemen en de lichtintensiteiten waarvoor ze gevoelig zijn. Opgesteld door R. B. Withrow (zie afb. 1).

RANGE OF LIGHT INTENSITIES FOR BIOLOGICAL RESPONSES	
5	Sunlight, noon, clear sky, June (10,000 ft-c)
4	Photosynthesis saturates, wheat (2000 ft-c)
	Sunlight, noon, overcast sky (100-1000 ft-c)
3	Photosynthesis, compensation point
2	Photoperiodic control of flowering
1	End of twilight (0.4 ft-c)
0	Limit of flower-bud induction (.01-.1 ft-c)
	Moonlight, full moon (0.02 ft-c maximum)
-1	Limit of cone or color vision (0.01-0.001 ft-L)
-2	Limit of detectable chlorophyll synthesis (red)
	Threshold of phototropism, <i>Avena</i> tip (blue)
-3	Threshold of bean hook response (red)
-4	
-5	Limit of rod vision, dark-adapted eye ( $10^{-6}$ ft-L)
-6	
-7	
-8	Threshold of photomorphogenesis (red)
	<i>Avena</i> first internode, Bean hypocotyl

Range of light intensities encompassed by the natural environment and biological photoresponses. Literature sources are: Sunlight, Moon (1940), Hand (1950), Kimball (1935); Moonlight, Kimball (1938); Vision, Committee on Colorimetry (1953); Photosynthesis, Hoover, Johnston, and Brackett (1933); Chlorophyll Synthesis, Koski, French, and Smith (1951); Photoperiodism, Withrow and Benedict (1936); and Photomorphogenesis, Klein, Withrow, and Eistad 1956).

voor blauw licht. Het actieve pigment is waarschijnlijk nog niet geïdentificeerd. Ook over het fysiologisch reactiesysteem bestaat weinig informatie. Behalve dan, dat aan het einde van de keten reacties optreden in de verdeling van auxine over het weefsel en dat auxine de celwand-plasticiteit beïnvloedt. Vooral over de lichtintensiteitsafhankelijke omkeerbaarheid van de richtingsoriëntatie is veel gespeculeerd. Onder kasomstandigheden zullen de lichtintensiteiten, ook van lamplicht, zodanig hoog zijn dat de planten steeds naar lichtbronnen toe groeien.

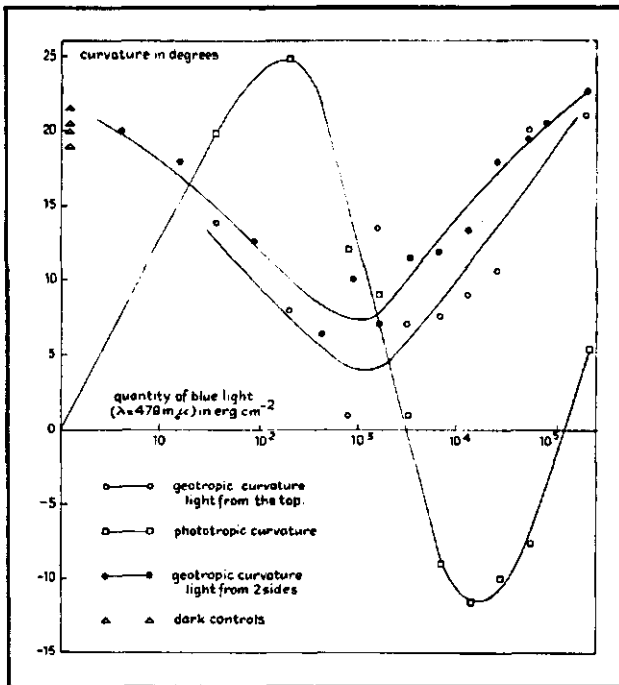
Van het **fotomorfogenese-systeem** kon het fytochroom als actief pigment worden geïsoleerd. Maar hier is wellicht nog een tweede blauw licht gevoelige component in het spel. Het fytochroom bestaat uit twee kleurstoffen die door belichten met de juiste lichtkleuren reversibel in elkaar kunnen overgaan. Slechts één van de twee vormen is fysiologisch actief. Licht van een bepaalde kleur kan de werking van een andere kleur dan ook geheel of gedeeltelijk ongedaan maken. De werking van menglicht hangt af van de verhouding tussen de actieve golflengten.



Afb. 1 Actiespectra van de belangrijkste lichtgevoelige systemen in planten.

Uit: R. B. Withrow, A kinetic analysis of photoperiodism (gepubliceerd in: Photoperiodism and related phenomena in plants and animals, ed. R. B. Withrow; public.nr. 55, American Association Advancement of Science, 1959).

Door de ongelijke stabiliteit van de twee pigmentvormen verandert de relatieve gevoeligheid voor een kleurgebied met de belichtingsduur. Er is over dit zeer complexe principe veel informatie beschikbaar, maar via welk biochemisch mechanisme het fytochroom de cellulaire organisatie beïnvloedt is niet bekend. Er is een zeer uitgebreide reeks groeiverschijnselen die alle gevoelig zijn voor het rood-infrarood antagonistische systeem van het fytochroom. Het systeem is antagonistisch in die zin, dat rood licht een zekere nawerking heeft welke kan worden beëindigd door een tijdige infraroodbehandeling te geven. De door rood licht gevormde infrarood absorberende actieve vorm van fytochroom geeft bijv. gedrongen, dat wil zeggen meestal gewenste, groei



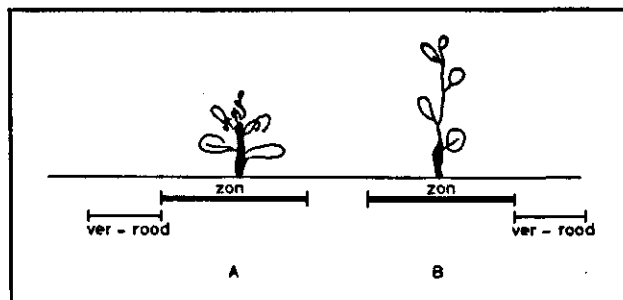
Afb. 2 Fototropische kromming van Avena zaailingen naar het licht toe (positief) of van het licht af (negatief) in afhankelijkheid van de lichtsterkte.

Uit: O. H. Bleauw, The influence of blue, red and far red light on geotropism and growth of the Avena seedling, North-Holland Publ. Comp. Amsterdam, 1961.

van kwalitatief hoogwaardige planten. De aanwezigheidsduur van deze gunstig werkende vorm houdt op zodra de plant infrarood licht ontvangt. De dan volgende uren zal de plant gaan rekken en uiteindelijk een lagere kwaliteit krijgen onder een lichtregime dat steeds eindigt met infrarood licht (afb. 3).

De **fotoperiodische bloeiregeling** van daglengtegevoelige planten is ook onderhevig aan het fytochroom-systeem. Het meest opvallende hierbij is, dat de tijdmeting door de planten in hoge mate temperatuurgevoelig is. Sommige planten reageren op daglengte-verschillen van enige minuten in een temperatuurgebied van 15 tot 30°C.

Het **fotosynthese-systeem** is, als allerbelangrijkste proces, verreweg het beste geanalyseerd. Er is zeer veel bekend over het werkzame pigment: het chlorophyll. Het is bekend hoe het in de plantecel aanwezig is aan de eiwitstructuren van de chloroplasten. Ook is in detail bekend hoe het chlorophyll in de plantecel wordt opgebouwd, via allerlei gekleurde vóór-vormen. De laatste overgang ten slotte van proto-chlorophyll naar het eigenlijke chlorophyll is een echt fotochemisch proces en vindt dus alleen door belichting met specifieke golflengte plaats. Ten slotte moet worden vermeld, dat er een a- en een b-component van chlorophyll zijn die elkaar tot op zekere hoogte aanvullen.



Afb. 3 De rekkende werking van infrarode straling (gloeilampen) komt minder tot uiting wanneer dagverlenging met deze lichtsoort gegeven wordt voor het begin van de dag, dan in de avond.

Over de fysiologische procesketen van donker-reacties die is gekoppeld aan het chlorophylleiwit-complex en die de opgenomen lichtenergie verwerkt tot energierijke organische verbindingen is ook zeer veel informatie beschikbaar. Intussen heeft men echter ook moeten constateren, dat er van dit zeer unieke energie-bindende biosysteem in onze cultuurplanten twee van elkaar te onderscheiden vormen bestaan.

### Assimilatiebelichting

Gaat men de droge-stofproductie van een plant verhogen, en daarmee de groeimogelijkheden verbeteren, door het aanwenden van kunstlicht, dan zal men in de efficiëntie van de bestraling met verschillende lamptypen het absorptiespectrum van het chlorophyll terugvinden. Ten opzichte van het fotosynthese-proces is de licht-kleur-nuttigheidsfactor phytolumen/W geformuleerd. Het is een, voor de fotosynthese van normaal groene planten, aangepaste waarde van de stralingsefficiëntie van een lamp (tabel 2). Voor een serie groeigegevens is deze correctie toegepast zoals gegeven in tabel 2 (afb. 4). Op deze wijze kunnen lampen derhalve zeer nauwkeurig met elkaar worden vergeleken.

Om de gebruiksmogelijkheden van lampen bij de teelt van gewassen in kassen te kunnen bepalen, is het onder andere nodig te weten hoe de hoeveelheid lamplicht zich verhoudt tot de zonlichthoeveelheden in de verschillende maanden van het jaar (tabel 3). Dit soort tabellen wordt beschikbaar gesteld door de weerstations. Ze geven de globale totale straling aan. Voor de fotosynthese is echter de zichtbare straling maatgevend. De weerstation-getallen moeten daarom ongeveer door twee worden gedeeld. Bovendien belichten we in kassen; een modern

TABEL 2 Fotosynthetische nuttigheid en stralingsefficiëntie van verschillende lamptypen (O. Elgersma en G. Meijer, zie ook afb. 4).

Lampsoort	Stralingsefficiëntie mW/W	Plant conversie- factor	Nuttigheid phytolumen/W
TL 27/40	170	.79	130
TL 33/40	230	.67	150
HPI/T/400	220	.69	150
SOX/180	320	.80	260
SON/T/400	270	.79	210
Gloeilamp/100	60	.78	50

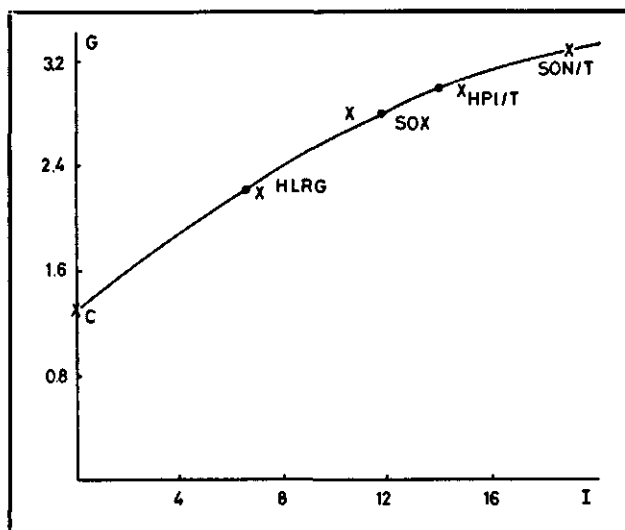
O. Elgersma en G. Meijer, Philips, Eindhoven

kasdek laat gemiddeld slechts ongeveer  $\frac{3}{4}$  deel van de zonnestraling door. Bij elkaar betekenen deze twee correcties, dat de gegevens uit tabel 3 moeten worden gereduceerd tot  $\frac{3}{8}$  van de waarden per maand om te kunnen worden vergeleken met de stralingshoeveelheden van de lampen die in een kas branden (tabel 4).

Naast de vergelijking van de nuttigheid ten opzichte van de chlorophyllabsorptie van te geven lichthoeveelheden is het echter ook nodig te weten hoe een gewas op een bepaald belichtingsniveau reageert. De fotosynthese verloopt namelijk onder toenemende lichtsterkte met afne-

TABEL 3 Totale globale straling per dag in Nederland, gemiddeld per maand over de jaren 1971-1974

Straling per dag, gemiddeld per maand: 1971-1974			
maand	J/cm <sup>2</sup> .dag	maand	J/cm <sup>2</sup> .dag
Januari	224	Juli	1854
Februari	400	Augustus	1680
Maart	950	September	1070
April	1400	Oktober	700
Mei	1330	November	275
Juni	1960	December	180



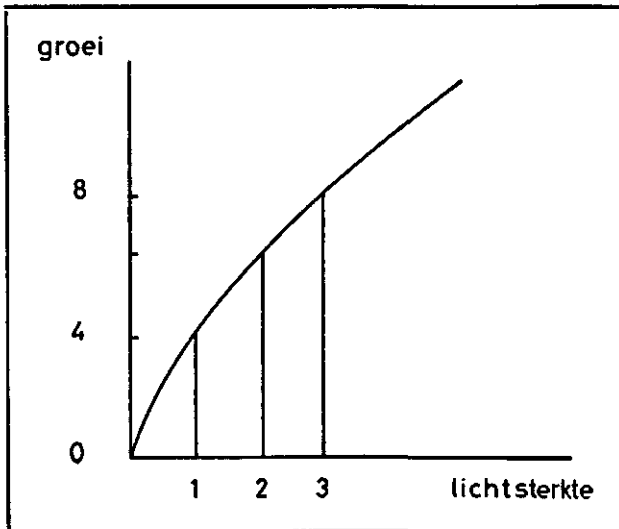
Afb. 4 Groei uitgezet tegen de lichtintensiteit geproduceerd door verschillende lamptypen in W/m<sup>2</sup> (x) en in fytlumen (•).  
 Persoonlijke mededeling: O. Elgersma en G. Meijer, Phillips, Eindhoven.



mende efficiëntie (afb. 5). Het in ons land min of meer sinusoidaal verlopen over de verschillende maanden van het jaar van de dagelijkse zonlichthoeveelheden werkt daardoor uit in groeisnelheden met nagenoeg lineair verloop tegen de tijd van het jaar in de lichtlimiterende maanden, en een lichtverzadigingstraject in de zomer (afb. 6). Het verzadigingskarakter van de fotosynthese/lichtintensiteitsrelatie heeft geleid tot het advies aan de tuinders om in de nachtelijke uren te belichten, voor zover dit toelaatbaar is in verband met eventuele bijkom-

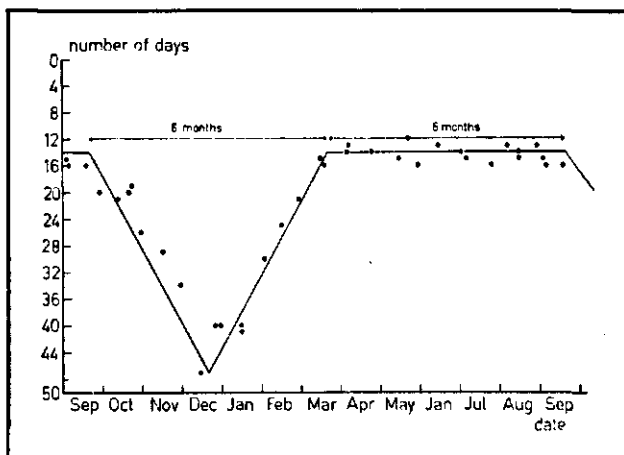
TABEL 4 De mate waarin lamplicht (1500 lux) bijdraagt aan de dagelijkse lichthoeveelheden ( $J/cm^2.dag$ ) in kassen ten opzichte van de hoeveelheden zonlicht (400 - 700 nm) tijdens de wintermaanden.

Maand	Natuurlijke straling (totaal)		Kunstlicht 24 uur	% toename t.o.v. zon	
	gemiddelde per dag	$\times 3/8$		24 uur	16 uur
Oktober	657	246	+ 15	+ 6,1	+ 4,1
November	276	104	+ 15	+ 14,5	+ 9,7
December	176	66	+ 15	+ 22,7	+ 15,1
Januari	222	83	+ 15	+ 18,1	+ 12,1
Februari	467	175	+ 15	+ 8,6	+ 5,7
Maart	874	328	+ 15	+ 4,6	+ 3,1

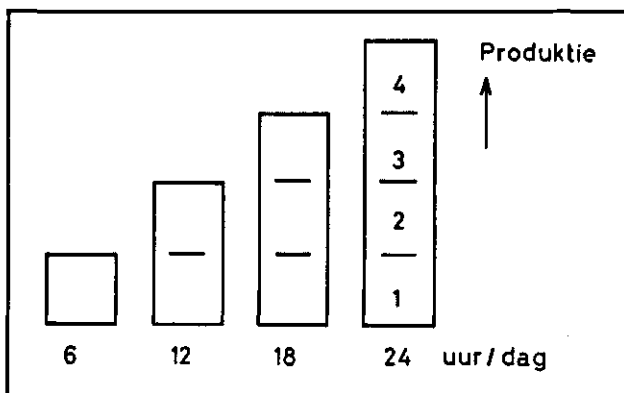


Afb. 5 Afnemend meer-effect van groei en fotosynthese bij toenemende lichtsterkte.

stige en ongewenste plantreacties (zoals bijvoorbeeld ongewenste vertakking, of bloemknopaanleg). Verlengen van de belichtingstijd heeft geen repercussies voor de fotosynthetische efficiëntie en dient dus voorrang te krijgen boven intensiteitsverhoging (afb. 7 en 8).



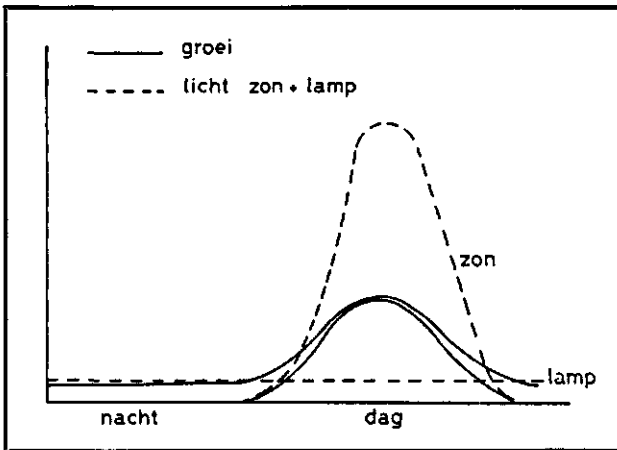
Afb. 6 Groeiselheden van tomatenzaailingen in de loop van het jaar. Uit: D. Klapwijk en P. J. A. L. de Lint, Growth rates of tomato seedlings and seasonal radiation, Neth. J. agric.Sci. 23 (1975) 259-268.



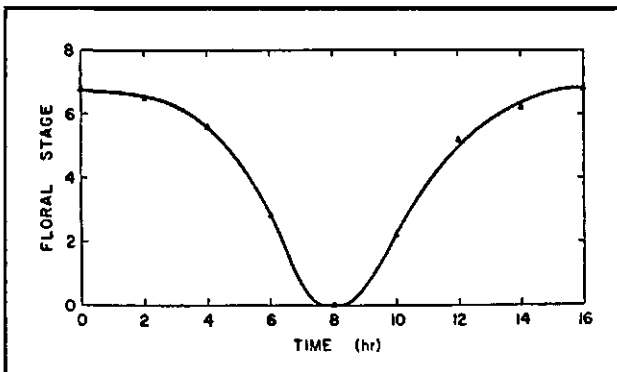
Afb. 7 Gelijkblijvende licht-efficiëntie bij verlengde belichtingstijd.

### Cyclische belichting

Anders dan bij de fotosynthese vertonen de processen die via het fytochroom lopen en dan speciaal de bloei-beïnvloeding van daglengtegevoelige planten, een zeer uitgesproken tijdsafhankelijkheid waar het gaat om de werking van afzonderlijke belichtingen ten opzichte van elkaar. **Afb. 9** is hiervan een voorbeeld. Naast een da-



**Afb. 8** Gecombineerde effecten van verlengde belichtingstijd en verhoogde lichtsterkte wanneer in een kas continu bijbelicht wordt (zie afb. 5 en 7).



**Afb. 9** Bloemaanleg bij daglengte-gevoelige planten hangt af van het moment in de nacht waarop een lichtflits van bepaalde intensiteit gegeven wordt. Meestal zijn de planten midden in de nacht het meest gevoelig.

Overgenomen uit Withrow (zie afb. 1).

gelijkse korte-dagbelichting van 8 uur geeft een lichtflits van bepaalde intensiteit, duur en kleur een bloeionderdrukkend effect waarvan de sterkte afhankelijk is van het moment in de nacht waarop de flits wordt gegeven. De plant is supergevoelig in het midden van de donkere periode en minder gevoelig (tot geheel ongevoelig) naar begin en eind van de nacht.

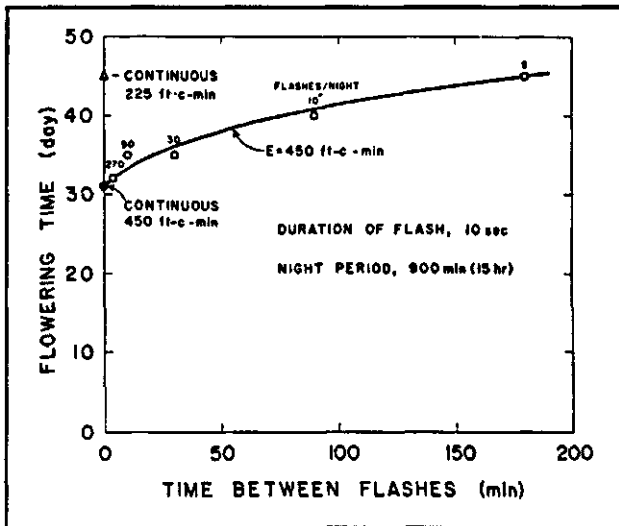
Dit gegeven wordt in de praktijk van de glastuinbouw toegepast in de vorm van nachtonderbrekende belichting bij de bloeiregeling van bijvoorbeeld chrysanten. Men belicht het gewas niet de gehele nacht; maar geeft slechts midden in de nacht ca. 4 uur licht. Vervolgens heeft men ervaren, dat ook in deze beperkte uren niet steeds belicht hoeft te worden. Men kan volstaan met ca. 6 minuten per half uur. Wel moet men een hogere intensiteit gebruiken. Maar de methode is toch voordeliger, omdat men nu wisselend over 4 à 5 kas-afdelingen kan belichten met dezelfde stroomtoevoerkabel. Het extra stroomverbruik, dat optreedt doordat hogere intensiteit nodig is, is weliswaar beperkt, maar ook hier is de lichtefficiëntie bij hogere intensiteit lager, evenals bij de fotosynthese (afb. 10). Uit afb. 10 is af te lezen dat een bepaalde hoeveelheid energie gegeven als flitslicht (5 flitsen van 10 seconden over 900 minuten) slechts ongeveer dezelfde uitwerking heeft als de halve energiehoeveelheid wanneer deze gelijkmatig verdeeld over de totale periode van 900 minuten wordt gegeven.

Ten slotte nog een paar opmerkingen van meer algemene aard bij de toepassing van licht. Het is erg moeilijk om precies aan te geven welk intensiteitsniveau en welk belichtingsregime optimaal is door de sterk wisselende natuurlijke straling, door de complexe reacties van de gewassen en door het vrije-marktmechanisme bij de afzet van tuinbouwprodukten.

In elk geval is het zo, dat bij hogere intensiteiten alle lichtgevoelige systemen van de plant zullen reageren. De absorpties van de verschillende pigmenten overlappen namelijk in aanzienlijke mate en bovendien emitteren de gebruikte lamptypen energie over vrijwel het gehele zichtbare golflengtengebied. De plant zal dus onder invloed van één enkele belichting reageren via al zijn foto-systemen. Vervolgens is het bovendien nog zo dat een reactie via het ene systeem repercussies zal hebben op het andere.

Zo heeft het fotosynthese-niveau invloed op de dag-lengte-inductie bij de bloemaanleg en een fotomorfogenetische verschuiving in de verhouding tussen blad-schijf-weefsel en stengelmateriaal zal invloed hebben op de fotosynthese, enz. En dit alles speelt zich dan af in kassen, waarbij de belichting een aanvulling is op de sterk wisselende en vrijwel niet te voorspellen natuurlijke insstraling. Het netto-effect van belichting is dan ook slechts globaal te bepalen. Vervolgens spreekt het voor zich, dat de uitwerking van een bepaalde lichtinvloed op de groei van een plant via de reeks van fysiologische volprocessen gevoelig is voor alle andere klimaatfactoren waaraan de plant wordt onderworpen. Voor de fotosynthese kan men hierbij onder andere denken aan de min of meer directe interactie met de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de kaslucht. Maar ook met de temperatuur en mineralenvoorziening, luchtvochtigheid en luchtbeveging. Een voorbeeld van relaties met  $\text{CO}_2$  en luchttemperatuur is gegeven in **afb. 11** (schematisch).

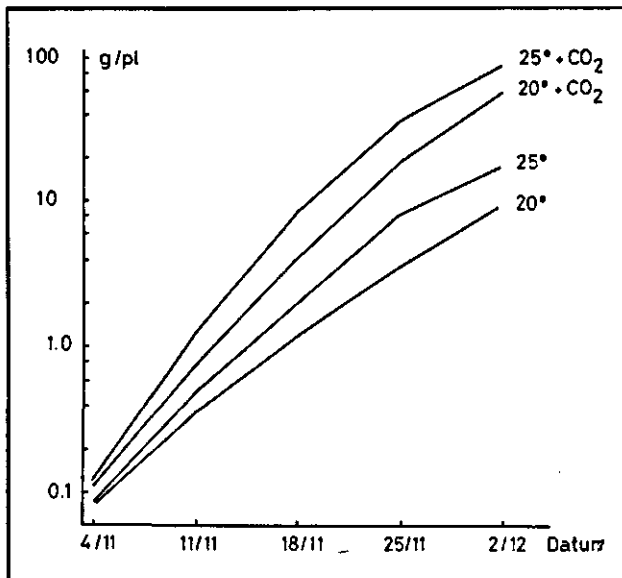
Ten slotte moet dan ook nog worden onderkend, dat sommige lichtinvloeden min of meer directe effecten hebben op de groei, zoals de fotosynthese; dat andere



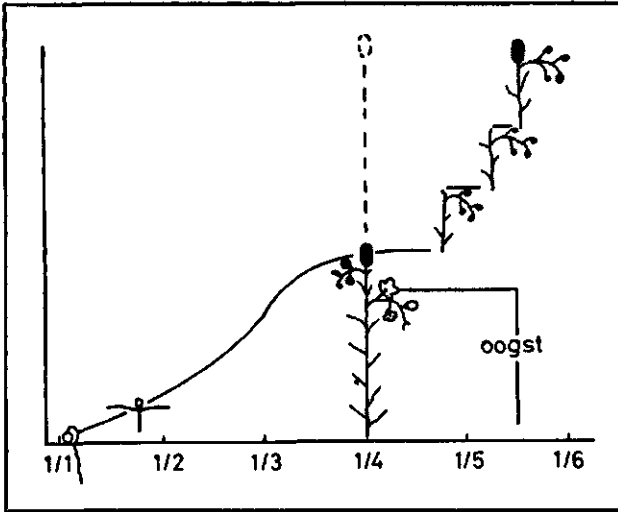
Afb. 10 Tijd  $\times$  intensiteitsfunctie van een fotoperiodisch systeem. Overgenomen uit Withrow (zie afb. 1).

de indruk geven vertraagde reacties te zijn, zoals die fotomorfogenetische invloeden welke in de primordia van het groeipunt afwijkende structuren teweegbrengen waarvan de totale consequentie eerst na aanzienlijke tijd, wanneer de organen zijn uitgegroeid, in volle omvang zichtbaar worden; terwijl er ten slotte ook lichtreacties zijn die werkelijk van inductieve aard zijn, zoals de bloei-inductie in bepaalde daglengten, waarbij de plant slechts geleidelijk de eigenschap opbouwt om tot bloemaanleg te kunnen komen. Bloemknoppen worden dan na verloop van tijd aangelegd en na nog weer vele weken bloeien ze pas (afb. 12). Om deze realisatie-verschuivingen van één en dezelfde belichtingshandeling goed te kunnen begroten is zeer veel ervaring en detail-informatie nodig.

Voorlopig is een ideaal advies voor alle omstandigheden geen haalbare zaak, maar de recepten zullen de komende jaren zeker verder kunnen worden verfijnd.



Afb. 11 Groei van tomatenzaailingen in een kas met natuurlijk licht en de invloed daarop van de luchttemperatuur en de CO<sub>2</sub>-concentratie.



Afb. 12 Cumulatieve gevolgen van milieu-invloeden, zoals licht, op groei en ultgroei van planten. Voor tomaat geschetst door D. Klapwijk, Proefstation Naaldwijk.

### Samenvatting

Planten reageren ingewikkeld op licht, waardoor het optimale gebruik van licht in de praktijk van de tuinbouw moeilijk in één eenvoudig recept is aan te geven. Een plant heeft namelijk meerdere reactiesystemen. In grote lijnen onderscheiden we vier lichtgevoelige reacties:

1. Fototropie, kromming of buiging naar een lichtbron toe, of juist ervan af
2. Vormbepaling of fotoformatieve reactie, zoals het ontwikkelen van bladoppervlakken en de relatieve lengte van stengelleden en bladstelen
3. Daglengte-reactie of fotoperiodisch systeem, waarmee in sommige planten de bloemaanleg wordt geregeld. Het is een bijzondere fotoformatieve reactie
4. Fotosynthese, droge-stofproductie of  $\text{CO}_2$ -assimilatie, dit is het eigenlijke voedingssysteem van de plant, waardoor lichtenergie gebonden wordt tot chemische energie in energie-rijke stoffen als suiker, enz.

We kennen drie pigment-systemen die de lichtperceptie voor deze plantreacties verzorgen. Elk pigment-reactiesysteem heeft een specifieke intensiteitsafhankelijkheid en een eigen reactiespectrum. Bovendien zijn de aan de pigment-systemen gekoppelde processen elk op eigen wijze ook gevoelig voor andere klimaatfactoren, zoals bijvoorbeeld temperatuur. Verder hebben sommige reacties meteen gevolg, andere soms pas na maanden zoals het uitgroeien van een bloemknop. Het feit dat één belichting tegelijkertijd meerdere licht-reacties teweegbrengt, die alle op bepaalde wijze ook weer klimaatgevoelig zijn, maakt dat de reactie van een plant op licht erg ingewikkeld is. Toch is er voor een aantal gevallen reeds nu een zeer bevredigende routine voor de aanwending van kunstlicht ontwikkeld. De voorschriften zullen echter de komende jaren zeker kunnen worden verfijnd, zodat economisch gebruik van lamplicht in kassen bij nog meer teelten mogelijk zal zijn dan reeds nu het geval is.