

AN 27  
KONINKLIJKE AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN  
TE AMSTERDAM

---

---

# De Radium-groeireactie van één cel

(MEDEDEELING N<sup>o</sup>. 13 VAN HET LABORATORIUM VOOR  
PLANTENPHYSIOLOGISCH ONDERZOEK, WAGENINGEN)

DOOR

A. H. BLAAUW en W. VAN HEYNINGEN

Overgedrukt uit:  
Verslag van de gewone vergadering der Afdeling Natuurkunde, Deel XXXIV, N<sup>o</sup>. 2

210 5367

**Plantkunde.** — A. H. BLAAUW en W. VAN HEYNINGEN: „*De radium-groeireactie van één cel*”.

§ 1. *Inleiding.*

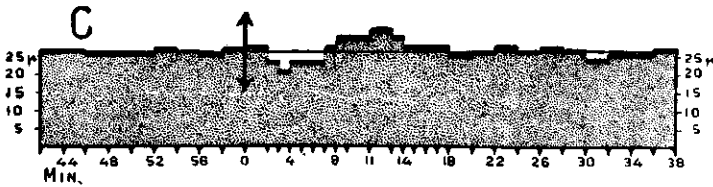
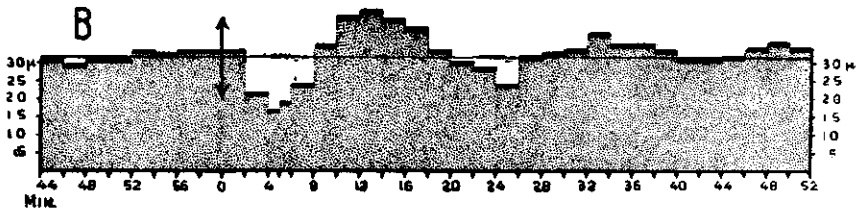
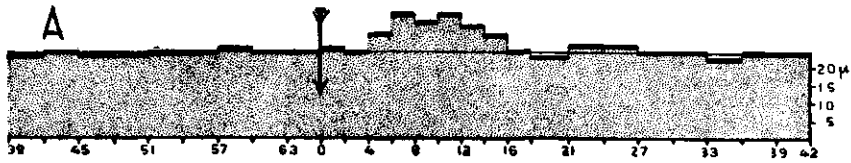
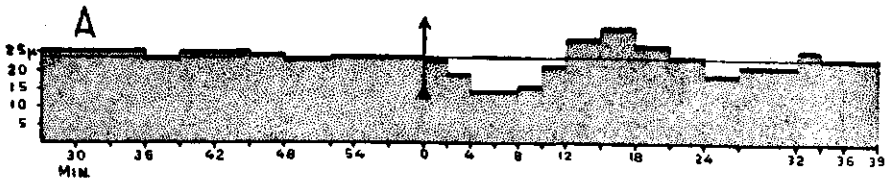
Het is ons sinds een 10-tal jaren bekend, dat ééncellige organen zoals de sporangiendragers van *Phycomyces* en evenzeer verschillende meer-cellige organen van hogere planten met karakteristieke groeiversnellingen en — vertragingen op lichtprikkels reageeren.

Na gezamenlijk overleg van bovengenoemden werd in het Laboratorium voor Plantenphysiologisch Onderzoek te Wageningen nagegaan of de één-cellige Sporangiodragers, die voor het zichtbare licht zoo gevoelig zijn, ook zouden reageeren op radiumbestraling.

*Methode.* De proeven werden uitgevoerd in een ruime constante donkere kamer bij  $17^{\circ}$  à  $17^{\circ}$ , 5 C., de temperatuur waarbij ook vroeger alle licht-onderzoekingen met *Phycomyces* werden verricht, — en wel wanneer de cel een lengte van  $3\frac{1}{2}$ — $5\frac{1}{2}$  c.M. had. Daarbij werd de schimmelcultuur in dezelfde kamer gekweekt en voor de proef vele uren van te voren geplaatst in het midden van een klein kartonnen huisje, ten deele met paraffine gedrenkt, met een wanddikte van  $\pm 10$  m.M. Voor het waarnemen van den groei waren in voor- en achterzijde twee roodglazen venstertjes aangebracht. Alle metaal werd door gebruik van karton, gompapier, plasticine vermeden om zooveel als dit doenlijk is secundaire straling, althans van meer doordringingsvermogen, te vermijden. Daartoe waren ook de cultuur in het kartonnen huisje en het radiumpreparaat (op een kartonnen doosje bevestigd) in het midden van het vertrek geplaatst op  $2$ — $1\frac{1}{2}$  meter van de steenen wanden, en staande op hooge houten tafeltjes. Radiumpreparaat, cultuur en de waarneemkijker, waarvan het metaal niet te vermijden was, stonden elk op een afzonderlijk tafeltje op den betonvloer, waardoor alle schokken of trilling van de teere lange cellen, wier groei gemeten werd, geheel kon vermeden worden.

Het radiumpreparaat bevatte 9,55 m.Gr. radiumelement, en was besloten binnen een glazen en een zilveren buisje, het laatste van 0,5 m.m. dikte. Het werd op de uitgesneden ribbe van een klein kartonnen doosje bevestigd met een weinig plasticine of gegomd papier. Na de eerste proeven werd het zilveren buisje (zie onder) bovendien omhuld met een kokertje van 2 m.m. lood.

Terwijl de groei van de schimmelcel met zwak rood licht om de 2 à 3 minuten even werd waargenomen door voor- en achtervenster heen, — werd het radiumpreparaat op een bepaald moment op 10 of 5 c.m.



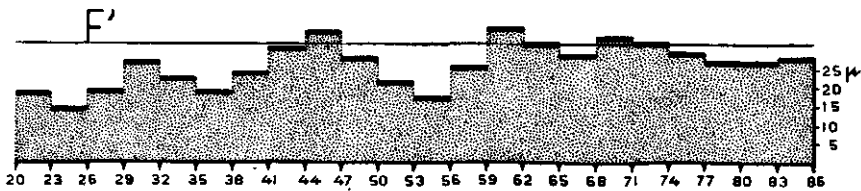
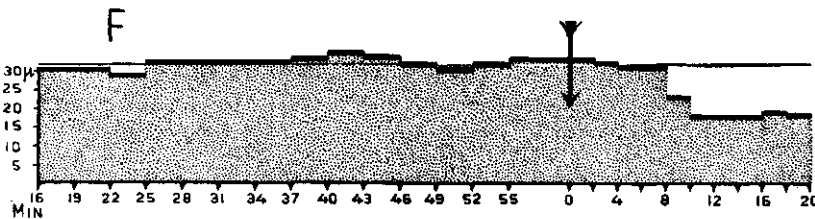
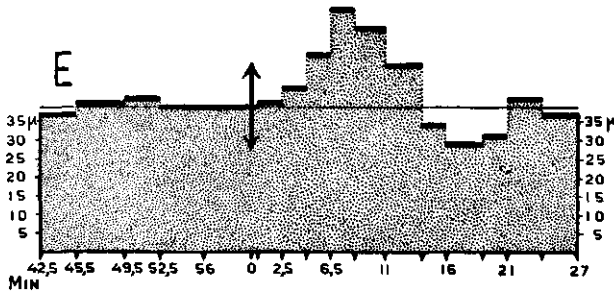
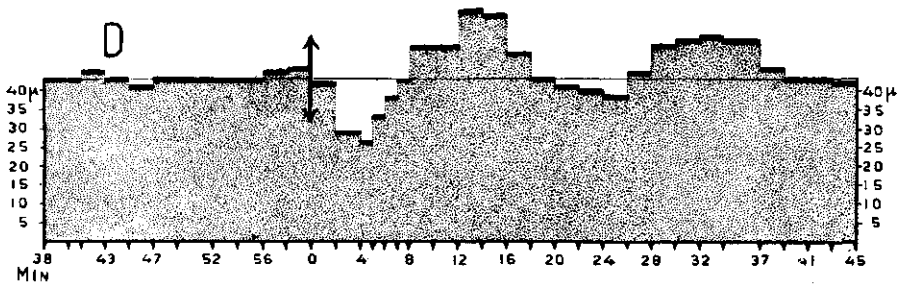
A Radiumgroeireactie op blijvende bestraling (66 min.) met 9,55 mgr. Ra-element op 10 cm. van de cel (filters, zie tekst). A' voortzetting van A met na ophouden der bestraling de radium-ontstralingsreactie.

B Radiumgroeireactie na 60 sec. en C na 5 sec. bestraling, op 5 cm. van de cel.

De Reacties A, B en C hadden plaats in donker.

afstand van de cel buiten het huisje geplaatst voor korter of langer tijd (zie onder), stralende dus door één der zijwanden en geplaatst op dezelfde hoogte als de groeiende cel.

De tabellen en figuren. De tabellen betreffende het groeiverloop (tab. 1—23) geven steeds eerst gedurende 20 à 30 minuten in 10 à 12 waarnemingen den groei in donker vóór de bestraling; daarbij is in groote cijfers aangegeven de groei van de cel in micron per minuut, d.i. dus de lengtetoe name of groei welke gemiddeld heerschte gedurende het tijdsverloop van 2 à 3 minuten tusschen de tijdstippen van waarneming, welke met kleine cijfers zijn aangeduid. Deze waarneemtijden zijn hier zoo aangegeven dat op het moment van bestraling 60 wordt bereikt en 0 weer begint. Ook als een bestraling van langen duur ophoudt, vangt



D *Radiumgroei-reactie* van een cel, die urenlang vierzijdig met eene intensiteit van 4 M.K. belicht is, en in dat licht 60 sec. bestraald wordt met het Ra-preparaat op 5 cm. (Vergelijk met B).

E *Lichtgroei-reactie* door 4 M.K.S., ter vergelijking op dezelfde wijze grafisch voorgesteld (naar één der proeven van 1914).

F *Donkergroei-reactie* na een verblijf gedurende 5 uren in 4 M.K. 4-zijdig; vervolgd in F'.

weer op dat moment de tijd met 0 aan. Waar het moment van bestralingseinde (↓) of bestralingsebegin (↑) of bestralingseinde (↓) soms niet samenvalt met een waarneming is het moment 0 met de pijl tusschen haakjes gezet.

De grafische voorstellingen zijn volkomen volgens de tabellen geconstrueerd. Ditmaal is er dus niet, zooals in vroegere publicaties, een natuurlijke vloeiende kromme van gemaakt, gelijk het de werkelijkheid

zeker meer nabij komt, maar de gemiddelde groeisnelheid gedurende elk tijdsverloop tusschen twee waarnemingen is door een dik horizontaal lijntje aangegeven. Ieder kan hierdoorheen zich de geleidelijk verloopende curve denken, zooals men meent, dat deze het best de werkelijkheid weergeeft. Een dunne recht-doorgetrokken lijn geeft ten slotte de groeisnelheid aan (volgens de voorafgaande waarnemingen), zooals deze zou geweest zijn indien geen verandering in de omgeving had plaats gehad. Waarneemmomenten zijn onder tegen de abscis met een stip aangeduid. Bestralingen die lang duren beginnen met  $\uparrow$ , eindigen eventueel met  $\downarrow$ ; bestralingen, die 60 sec. of korter duren zijn met  $\updownarrow$  aangeduid.

## § 2. *De radiumgroeireactie. Reactie op bestraling en ontstraling.*

In de eerste plaats laten wij hieronder 8 tabellen volgen als uitkomst van de eerste proeven. Daarbij werd de cel op 10 c.M. afstand van een zeker tijdstip af langen tijd of blijvend bestraald. Het bleek direct dat deze cellen op frappante wijze reageeren op die bestraling. Inwerking en reactie zijn door ons uiterlijk waar te nemen in een karakteristieke groeireactie. Deze *radiumgroeireactie* is natuurlijk een secundair verschijnsel als gevolg van meer primaire reacties of wijzigingen, die door de inwerking der straling in het stofwisselingsproces van de cel worden teweeggebracht, maar die voorloopig ten eenenmale nog aan ons begrijpen ontgaan. Wij kunnen deze dieper liggende, meer primaire gebeurtenissen tengevolge van bestraling (licht, radium of andere straling) in de toekomst echter wel meer en meer benaderen door middel van de groeireacties. Het gaat er op den duur dan om, of eenerzijds de bioloog in dit voor ons begrip nog zoo duister gebied ten slotte de hand zal kunnen grijpen van den physicus en den scheikundige, die van den anderen kant de meest elementaire eigenschappen van de straling en de materie vastleggen en het geheel fundeeren.

De *lichtgroeireactie* (reactie op stralen uit 't zichtbare spectrum en 't ultraviolet) is bij deze cellen gekenmerkt door een na ruim 3 minuten intredende groeiversnelling (positieve groeireactie), welke later overgaat in een tijdelijke groeivertraging, enz. *De radiumgroeireactie is juist tegengesteld aan de lichtgroeireactie*, dus negatief, d.w.z. beginnend met een sterke groeivermindering, dan door een tegenreactie weer overgaande in groeiversnelling, terwijl ten slotte ook bij blijvende bestraling de groei weer geheel rustig wordt. Waarschijnlijk wordt de groeisnelheid, naar deze proeven te oordeelen *gemiddeld* weer dezelfde als voor de bestraling van deze sterkte. Om echter met zekerheid te zeggen of onder invloed van blijvende bestraling de later bereikte rustige groei soms enkele procenten afwijkt van de groeisnelheid vóór de bestraling, daarvoor is

een gróót aantal langdurende proeven noodig om de middelbare fout voldoende te reduceeren. Het is ook mogelijk dat grooter hoeveelheden radium dichterbij geplaatst in dit opzicht meer opvallende uitkomsten geven. Dit alles zijn vragen die op verdere bewerking wachten.

*De radiumgroeireactie treedt sneller in dan de lichtgroeireactie, is gemiddeld na 2 minuten waarneembaar, de reactie op licht gemiddeld na  $3\frac{1}{2}$  minuut. De diepste inzinking wordt dan ook na radiumbestraling na  $\pm 5\frac{1}{2}$  min., het groeimaximum na lichtbestraling gemiddeld na  $\pm 7$  minuten pas bereikt. (Zie tab. 1 tot 6, de samenvatting in tab. 14, de figuur A, vergeleken met fig. E).*

Nu is het noodig er eerst hier even op te wijzen dat de cellen van *Phycomyces* éézijdig werden bestraald, dat zij nooit een spoor van krommingen vertoonen, dat echter wel een sterke groeireactie op de eenzijdige radiumbestraling volgt. Maar deze straling ondervindt geen breking en zij gaat door deze dunne cellen van dergelijke materie zoodanig heen dat practisch van eenig intensiteitsverschil in de cel niet de minste sprake is. Daardoor ontstaat er ook geen ongelijke groeireactie in de verschillende kanten van de groeiende zone dezer cellen en kan er geen kromming optreden. Brekend licht moeten wij gelijkzijdig toevoeren, want voeren wij dat eenzijdig toe, dan treedt de lichtgroeireactie evenzeer op, maar ongelijkzijdig tengevolge van lichtbreking en aldus ontstane intensiteitsverschillen, en weldra vertoonen zich de bekende phototropische krommingen.

Aanvankelijk was in de eerste proeven het glasbuisje met het radiumpreparaat enkel door een zilverbuisje van  $\frac{1}{2}$  m.m. omhuld. Zoowel de gammastralen als een aanzienlijk deel der  $\beta$ -straling kon dus door glas, zilver en karton de cel bereiken. Nu werd echter weldra het zilveren hulsel door 2 m.m. lood omgeven om de  $\beta$ -straling tegen te houden. Om verder de door gammastralen weer in de loodlagen veroorzaakte secundaire  $\beta$ -straling tegen te houden werd hiervoor een scherpje geplaatst van 5 m.m. aluminium, en voor het tegenhouden van de zachtere  $\beta$ -straling, die de gammastralen weer in de aluminiumlagen zouden opwekken volgde daarop nog eens 10 m.m. karton. Ook al zou op die wijze een zwakke en tevens weeke secundaire  $\beta$ -straling niet totaal te vermijden zijn, toch was in elk geval de  $\beta$ -straling op z'n minst genomen voor het overgrootste deel bij de proeven uit de bestraling weggenomen, terwijl de gammastralen voor 80 à 90% behouden bleven. De uitkomst was nu dat de reactie geheel dezelfde bleef, zoowel wat de aard als wat de sterkte betreft. Voerde men een zeer groot aantal proeven uit en berekende men dan de reactiesterkte met inachtneming van de middelbare fout, dan zou men wellicht een geringe vermindering kunnen bewijzen daar toch ook de gammastralen eenigszins in kracht verminderd waren. Maar voorloopig kunnen wij als hoofdresultaat vaststellen: *De gevonden radiumgroeireactie wordt veroorzaakt door de gammastralen, niet door de  $\beta$ -straling van het preparaat.*

Voorzichtigheidshalve dient daarbij te worden opgemerkt: 1<sup>o</sup>. dat de mogelijkheid blijft bestaan dat die gammastralen deze werking nog indirect uitoefenen door secundair ontstane  $\beta$ -straling buiten of juist in de cel; 2<sup>o</sup>. dat het ook niet buitengesloten is dat deze cellen op veel sterker  $\beta$ -straling zonder gammastralen een of andere reactie zouden vertoonen. In de verdere proeven werd nu voortaan steeds gewerkt met de genoemde filter-lagen 2 m.m. Pb. + 5 m.m. Al. + 10 m.m. karton.

TABEL 1. Doorbestraling.

23 32	26 29	29 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	32 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	35 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	38 32	41 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	44 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
47 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	59 32	53 31	56 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	60 $\uparrow$ 30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 16	5 20	8 31
10 35	12 35	14 35	17 37	20 41 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23 29	28 26 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	
30 31	33 24	35 29 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	38 37	41 32	44 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	47 29	50 32
53 29 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	56 32	59 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	62 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	65 32	68 32	72	

TABEL 2. Doorbestraling.

30 19	33 19	36 19	39 19	42 19	45 21	48 21 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	51 20	54 21
57 21	60 $\uparrow$ 19	3 13	6 13	9 17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12 21	15 27	18 29	19 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
21 25	24 21	27 16	30 25	33 22 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	36 24	39 24	42 27	45 23
48 26 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	51 27	54 24	57 23	60				

TABEL 3. Doorbestraling en ontstraling na 49 minuten.

43 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	46 36	49 36	51 35	53 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	55 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	57 35
60 $\uparrow$ 31	2 24	4 20 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 27 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10 43	12 45 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
14 45 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	15 43	17 38 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19 38 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	21 37	24 36	26 36
28 36	30 36	32 32 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	35 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	37 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	39 29	41 31
43 31	45 32 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	47 35	49 $\downarrow$ 38 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 37 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 37	
6 44 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 48	10 48	12 36	14 35	16 33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	18 31
20 26 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22 31	24 36	26 36	28 36	30	

TABEL 4. Doorbestraling en ontstraling na 66 minuten.

27 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	30 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	33 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	36 24	39 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	42 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	45 26	48 23
51 24	54 24	57 24	60 $\uparrow$ 23 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 19	4 14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
10 21 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12 29	15 32	18 27	21 24	24 19	27 21 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	32 26 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
34 24	36 24	39 23	42 24	45 23	48 23	51 24	54 24
57 25	60 24	63 24	66 $\downarrow$ 25	2 24	4 29	6 34	8 31 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
10 34	12 31	14 29	16 24	18 22 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	21 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	24 25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	27 24
30 24	33 22 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	36 24	39 24	42			

TABEL 5. Doorbestraling en ontstraling na 66 minuten.

	27	28	31	29	33	30 <sup>1/2</sup>	36	29 <sup>1/2</sup>	39	28	42	27			
45	29 <sup>1/2</sup>	48	30 <sup>1/2</sup>	51	28	54	29	57	28	60	↑ 27	2	21 <sup>1/2</sup>		
4	<b>17</b>	6	<b>19</b>	8	29	10	31	12	33 <sup>1/2</sup>	14	<b>35</b>	16	31	18	24
21	22 <sup>1/2</sup>	24	30 <sup>1/2</sup>	27	<b>32</b>	30	30 <sup>1/2</sup>	33	27	36	24	39	24	42	29
45	30 <sup>1/2</sup>	48	28	51	26 <sup>1/2</sup>	54	29	60	26 <sup>1/2</sup>	63	26 <sup>1/2</sup>	66	↓ 27 <sup>1/2</sup>	2	29
4	31	6	31	8	33 <sup>1/2</sup>	10	31	12	22 <sup>1/2</sup>	14	23	16	24	18	<b>21</b>
21	24	25	24	27	21	30	24	33	24	36	25 <sup>1/2</sup>	39	25 <sup>1/2</sup>	42	25 <sup>1/2</sup>
44	25 <sup>1/0</sup>	50													

TABEL 6. Doorbestraling en ontstraling na 114 minuten.

36	38 <sup>1/2</sup>	38	36	40	38 <sup>1/2</sup>	42	38 <sup>1/2</sup>	44	39 <sup>1/2</sup>	46	40 <sup>1/2</sup>	48	38 <sup>1/2</sup>	
50	36	52	36	54	38 <sup>1/2</sup>	57	36	59	60	↑ 38 <sup>1/2</sup>	1	31 <sup>1/2</sup>	3	26 <sup>1/2</sup>
5	26 <sup>1/2</sup>	6	<b>24</b>	7	30	8	41	9	38 <sup>1/2</sup>	11	<b>48</b>	13	<b>48</b>	
15	47 <sup>1/2</sup>	17	44 <sup>1/2</sup>	19	39	22	45 <sup>1/2</sup>	24	35	27	33 <sup>1/2</sup>	29	38 <sup>1/2</sup>	
31	33 <sup>1/2</sup>	33	40 <sup>1/2</sup>	35	40 <sup>1/2</sup>	37	38 <sup>1/2</sup>	39	40 <sup>1/2</sup>	41	—	—	—	
—	—	—	—	90	41	92	38 <sup>1/2</sup>	94	41	96	41	98	39 <sup>1/2</sup>	
100	42	102	41	104	41	106	42	108	38 <sup>1/2</sup>	112	38 <sup>1/2</sup>	114	↓ 36	
2	38 <sup>1/2</sup>	4	47	6	51 <sup>1/2</sup>	8	<b>55</b>	10	50 <sup>1/2</sup>	12	41 <sup>1/2</sup>	14	42	
16	37 <sup>1/2</sup>	19	33 <sup>1/2</sup>	21	<b>31</b>	23	39 <sup>1/2</sup>	25	41 <sup>1/2</sup>	28	34 <sup>1/2</sup>	30	36	
32	33 <sup>1/2</sup>	34	33 <sup>1/2</sup>	36										

TABEL 7. Ontstraling na 110 minuten.

—	—	—	60	27	63	26 <sup>1/2</sup>	66	26 <sup>1/2</sup>	69	29	72	27	75	25 <sup>1/2</sup>	78	28
81	26 <sup>1/2</sup>	84	27	87	26 <sup>1/2</sup>	90	27	93	29	96	29	99	28	102	27	
105	28	108	27	110	↓ 26 <sup>1/2</sup>	2	29	4	29	7	38 <sup>1/2</sup>	10	34 <sup>1/2</sup>	16	30 <sup>1/2</sup>	
19	29	22	26 <sup>1/2</sup>	25	26 <sup>1/2</sup>	28	28	31	24	34	28	37	25 <sup>1/2</sup>	40	25 <sup>1/2</sup>	
43																

TABEL 8. Ontstraling na 72 minuten.

0	↑	—	—	—	30 <sup>1/2</sup>	—	—	—	60	29	62	32	67	31	68	30
72	↓	30	2	31	4	41	6	<b>45</b>	9	<b>43</b>	11	33 <sup>1/2</sup>	13	26 <sup>1/2</sup>		
15	31	18	<b>36</b>	20	32 <sup>1/2</sup>	22	27 <sup>1/2</sup>	24	25 <sup>1/2</sup>	22	(10 minuten opont- houd)	37	29	38	31	42

Na langdurige bestraling wordt de groei na een aanvankelijk heftige schommeling dus vrij spoedig weer rustig, zoodat de waargenomen groeisnelheid in opeenvolgende korte perioden niet méér wisselt dan vóór



de bestraling (in den regel binnen 10%, hetgeen aan de waarneming kan liggen of aan natuurlijke kleine schommelingen). Toen dit geruimen tijd het geval was en de radiumgroeireactie uiterlijk was afgelopen werd het radiumpreparaat weer weggenomen. Voor de zekerheid werd echter de groeisnelheid nog een tijdlang vervolgd en toen bleek opeens, dat hier enkele minuten na het opheffen van de straling een groeireactie volgt, welke tegengesteld is aan de radiumgroeireactie, iets later begint, het hoogtepunt van haar versnelling iets later bereikt, terwijl de groei spoedig weer normaal wordt. Dit werd nu verscheiden keeren na lange bestralingen van verschillenden duur (47 tot 159 minuten) herhaald; steeds trad hetzelfde verschijnsel op, waarvan de tabellen 3 tot 8 voorbeelden geven. Als de groei na langdurige radiumbestraling weer rustig is geworden kan men het radiumpreparaat niet wegnemen, zonder opnieuw eene reactie op te wekken die in tegengestelden zin verloopt. Zie fig. A', die het vervolg is van figuur A.

Deze reactie, die het gevolg is van het wegnemen (eventueel verminderen) van straling, zullen wij kortheidshalve de *ontstralingsreactie* noemen. Zij werd in onze proeven, zonder dat wij daaraan eigenlijk te voren gedacht hadden, onverwacht een volkomen bevestiging en parallel van de *donkergroeireacties*, die door TOLLENAAR (aanvankelijk voor *Avena Sativa* ook reeds door SIERP) voor verschillende organen in een zeer groot aantal proeven zijn waargenomen, zoodra een langdurige lichttoevoer wordt opgeheven (eventueel in sterkte verminderd wordt). Het woord ontstralingsreactie heeft dus een zeer algemeene beteekenis. Ook de donkergroeireactie is er een en wij kunnen thans in het geval van het radium deze onderscheiden als de *radiumontstralingsreactie*.

### § 3. Kortdurende bestralingen.

#### *Samenvattende tabellen.*

Op bovenbeschreven wijze werden de cellen ook gedurende korten tijd bestraald, maar dan op 5 c.M. in plaats van op 10 c.M. afstand, dus met eene intensiteit die ongeveer 4-maal sterker was. Gedurende 60 seconden bestraald ontstaat een heftige golfvormige reactie, waarvan in de tabellen 9, 10 en 11 de voorbeelden worden gegeven, terwijl de proef van tab. 10 in fig. B is afgebeeld.

Maar ook nog korter bestraling, gedurende  $\pm 5$  sec., dus met een 12-maal geringer hoeveelheid, geeft een wel veel zwakkere maar nog steeds duidelijk te constateeren radiumgroeireactie. Zie tab. 12 en 13 en figuur C. De groeidepressie bedraagt hier gemiddeld nog  $\pm 20\%$  op 't laagste punt.

Nu treedt hier weer een typisch verschil op met de lichtgroeireactie; terwijl daarbij na zwakker bestraling, d.w.z. bij zwakker wordende reactie, het begin der reactie merkbaar later intreedt, is dit in de tot dusver uitgevoerde proeven met radiumbestraling zeker niet het geval.



Trachten wij eenigszins een vergelijking te maken in sterkte met de lichtgroeireactie, dan moet men hiermee in zoover voorzichtig zijn, dat bijv. 40 % groeivertraging kwantitatief niet als 't tegengestelde van 40 % groeiversnelling mag worden opgevat. Bij het licht toch zijn groeiversnellingen bijv. van 200 % bij deze cellen met kleine licht-doses te bewerken, terwijl omgekeerd een groeivertraging haar maximum zou hebben bij 100 %, d.i. groeistilstand.

Daarom wijst in 't algemeen een groeivertraging op een sterker inwendig gebeuren, dan een groeiversnelling van gelijk procent, vooral naarmate de vertraging (resp. versnelling) een hooger procent aanwijst. Zoo is bij de groeireacties een groeiversnelling van 100 % allerminst kwantitatief het omgekeerde van 100 % vertraging. Hoe zwakker de reacties zijn, hoe dichter wij dus de grens van het reageeren naderen, des te beter kunnen wij een positieve en een negatieve reactie met elkaar vergelijken. Stellen wij deze redeneering vóórop, dan kunnen wij wel ongeveer een vergelijking maken bij de volgende zwakke reacties.

Zoo bereikt de radiumgroeireactie opgewekt door dit preparaat op 5 c.M. afstand gedurende 5 sec. een groeivertraging van  $\pm 20\%$ , eene bestraling met  $\frac{1}{4}$  M. K. S. van 4 zijden toegevoerd eene versnelling tot  $\pm 20\%$ . Bedenken wij verder dat de grens van een *waarneembare* lichtgroeireactie („drempel”) bij  $\pm \frac{1}{100}$  M. K. S. ligt, dus nog 25-maal lager, dan zal de grens van de radiumgroeireactie onder de beschreven omstandigheden wel ongeveer bij  $\frac{1}{5}$  sec. liggen.

Ter vergelijking van lichtgroeireactie en radiumgroeireactie volgt hier eene samenvattende tabel. Daarbij is als vergelijking met 60 sec. radiumbestraling het feitenmateriaal gebruikt van belichtingen (4-zijdig) met 4 M. K. S., terwijl bovendien in fig. E één dier proeven nog eens is afgebeeld volgens de in 1913—1914 gevonden cijfers.

TABEL 14. *Vergelijking van licht- en radiumgroeireactie na korte bestralingen, bij 17° C.*

	Groeireactie begint gemiddeld na minstens	Hoogtepunt der reactie gemiddeld	Hoogtepunt der reactie gemiddeld na
4 M. K. S. 4-zijdig	3½ minuten	55 % +	7 minuten
9½ m. Gr. Ra-element op 5 c.M., gedurende 60 sec.	2 minuten	40 % —	5½ minuut
¼ M. K. S. 4-zijdig	8½ minuut	± 20 % +	11 minuten
9½ m. Gr. Ra-element op 5 c.M. gedurende 5 sec.	2 minuten	± 20 % —	5 minuten

Uit de tot dusver gedane proeven, die bijna allen hierboven in tabelvorm werden gegeven, vatten wij nu nog de hoofdpunten omtrent tijd en sterkte der reactie samen in de tabellen 15, 16, 17 en 18.

TABEL 15.

Begin daling groeisnelheid in de periode:	Minimum groeisnelheid	Maximum groeisnelheid (antireactie)	2e Minimum
Doorbestraald	3—6 Min.	3—9 Min.	18—19 Min.
	3—6	3—6	12—15
	2—5	2—5	20—23
	2—4	4—8	15—18
	2—4	4—6	14—16
	0—2	4—6	13—15
	1—3	5—7	13—15
60 sec.	2—4	4—6	24—26 Min.
	2—4	4—5	24—26
	2—4	4—6	24—26
5 sec.	2—4	4—7	20—22
	2—3	3—4	11—13
	1—3	5—7	—

TABEL 16.

Bij ontstraling na:	Begin stijging groeisnelheid in de periode	Maximum groeisnelheid	Minimum groeisnelheid
49 Min.	?	8—12 Min.	20—22 Min.
66	4—6 Min.	6—12	—
66	?	8—10	18—21
72	4—6	6—11	13—15
110	7—10	7—10	—
114	4—6	8—10	21—23
159	3—6	6—10	—

TABEL 17.

	Daling van de groeisnelheid 1e minimum	Stijging van de groeisnelheid in 't maximum
Doorbestraald	35 Proc.	45 Proc.
	50	33
	40	33
	42	21
	40	33
	36	26
60 sec.	40	28
	48	33
	25	32
5 sec.	21	16
	22	22

TABEL 18.

Ontstraling na	Stijging van de groeisnelheid in 't maximum	Daling van de groeisnelheid in 't minimum
49 Min.	33 Proc.	26 Proc.
66	41	6 ?
66	22	22
72	50	12
110	43	—
114	45	18

Wij vestigen in verband met de tabellen 14—18 nog eens de aandacht er op: 1e dat de groeireacties een golfvormige gedaante hebben, welke golfvorm geleidelijk weer uitloopt in een rustigen groei, 2e dat bij zwakke radiumgroeireacties (door korte bestraling) de tijdstippen van de reactie allerminst naar later verschuiven zooals bij de lichtgroeireacties (zie tab. 14 vooral), 3e dat de ontstralingsreactie zonder twijfel iets later gemiddeld begint en haar hoogtepunt bereikt dan de bestralingsreactie, geheel zooals ook voor de donkergroeireactie werd gevonden.

#### § 4. Is de perceptie van licht- en gammastralen verschillend in aard?

Eén principieele vraag drong nu in de eerste plaats naar voren. Zijn lichtgroeireactie en de reactie op gammabestraling, hoewel tegengesteld toch van gelijken aard in haar werking in de cel? Zullen bijv. organen, die in tegenstelling met *Phycomyces* een negatieve lichtgroeireactie vertoonen, nu ook voor de radiumgroeireactie andersom reageeren dan *Phycomyces*? Of zullen alle organen door gammastralen een gelijk gerichte reactie vertoonen? Eerst werden de wortels van *Sinapis alba* aan bestraling blootgesteld op 5 c.m. afstand en gedurende 4 minuten. Ondanks een uiterst regelmatig groei was er van een radiumgroeireactie niet de minste sprake. Maar dat zou, achteraf beschouwd, ook best kunnen, ook al bestond er verwantschap in de werking van licht- en gammastralen. Want de wortels van *Sinapis* zijn zwak-lichtgevoelig; naar vroeger bepaalde gegevens te oordeelen zeker wel 100.000 maal minder gevoelig dan de *Phycomyces*-cellen. Daarom werden de proeven nog eens voort-

gezet met *Helianthus*-kiemplanten, die althans ongeveer 1000 maal gevoeliger zijn voor licht. Ook hier was de groei uiterst regelmatig en nauwkeurig waar te nemen, welke waarnemingen uren lang werden voortgezet. Maar van een radiumgroeireactie was ook hier geen spoor te bemerken.

Gaat men echter de vroeger gevonden waarden na, dan wekt 4 M.K.S. bij *Helianthus* een groei-daling op van nog geen 10%, 32 M.K.S. van gemiddeld 23%, bij *Phycomyces*  $\frac{1}{4}$  M.K.S. een groeistijging van  $\pm 20\%$ , 32 M.K.S. van wel 75%. Wij naderen met 4 M.K.S. voor *Helianthus* al de grens, die voor *Phycomyces* bij  $\pm \frac{1}{100}$  M.K.S. ligt. Uit deze gegevens valt af te leiden dat naar een ruwe schatting de *Phycomyces*-cel wel ongeveer 100 maal minder licht nodig heeft dan de *Helianthus*-kiemplant om nog juist te reageeren, dat dus *Helianthus* toch altijd nog wel 80 à 100 maal minder gevoelig is dan *Phycomyces* voor licht. Zoo blijft het mogelijk, dat bij bestraling met zéér veel meer radium deze kiemplanten toch een direct-waarneembare reactie in haar groeisnelheid zouden vertoonen. 't Is ook mogelijk, dat het niet-reageeren veroorzaakt wordt door een geheel andere wijze van perceptie van licht- en gammastralen. En daarover hebben wij nu nog de volgende proeven uitgevoerd.

Intusschen worden hier de tabellen van *Helianthus* en *Sinapis* met volkomen effen groei kortheidshalve weggelaten.

Wij weten, dat de lichtgevoeligheid van de *Phycomyces*-cellen in donker zeer groot is, maar dat deze sterk vermindert, wanneer de cellen gedurende langen tijd met eene constant blijvende intensiteit bestraald worden (van 4-zijden). De hoeveelheid licht, die moet worden toegevoerd om nog een groeireactie op te wekken neemt enorm toe, naarmate de intensiteit stijgt, waaraan de cellen zijn gewend. Licht die grens in donker bij  $\pm 0,01$  M.K.S., in 1 M.K. is ze reeds gestegen tot 25 à 50, in 8 M.K. tot 200—400 M.K.S.

Nu plaatsen wij onze cellen enkele uren in 4 M.K., de lichtgevoeligheid is dan 10 à 20 duizendmaal geringer dan in het donker.

De radiumgroeireactie op 5 c.M. afstand, gedurende 60 sec. was zooals we beschreven en afbeeldden, zeer krachtig. Dat is een bestraling, die echter volgens onze beschouwing hierboven slechts  $\pm 300$  maal groter is dan de grens ( $\pm \frac{1}{5}$  sec.) waarbij ongeveer een reactie nog met moeite zou zijn waar te nemen. Nu uit de licht- en radiumgroeireactie zich wel in tegengestelden zin, maar het zou toch mogelijk zijn, dat de perceptie, de eerste inwerking dezer stralingen van gelijk karakter was.

Is de radiumgevoeligheid dan evengoed als de lichtgevoeligheid in 4 M.K. zoo enorm afgenomen, dan zou de bestraling gedurende 60 sec. ( $\pm 300$  maal boven de in donker bestaande grens) totaal ontoereikend zijn om nog een reactie op te wekken. Ook zou wel, aangezien de beide reacties tegengesteld zijn, na het afstompen der lichtgevoeligheid de mogelijkheid voor de radiumreactie sterk kunnen gestegen zijn. Alles onderstellingen, waarop slechts het experiment ons antwoord kan geven.

Tabel 19, 20 en 21 geven proeven waarbij de cellen steeds door belicht werden met 4 M.K. van 4 zijden en na  $3\frac{1}{2}$ , 4 en  $4\frac{1}{2}$  uur bovendien bestraald werden met het radiumpreparaat op 5 c.M. afstand gedurende 60 seconden. Om dit te kunnen uitvoeren was een ander kartonnen huisje gebouwd met 4 spiegeltjes in de hoeken voor het zijdelingsche bestralen van de cel met licht van een lampje van 4 Volt. Daar nu door de spiegeltjes het huisje grooter moest worden dan in de vorige proeven, werd in het midden van den zijwand (voor de symmetrie in beide zijwanden) een inspringende hoek gemaakt, opdat het toch mogelijk bleef met het preparaat (en de tusschengeplaatste filters) *buiten* het huisje tot op 5 c.M. van de cel te komen.

*In een belichting van 4 M.K. 4-zijdig, die de lichtgevoeligheid 10.000 maal geringer maakt, blijft de radiumgroeireactie dezelfde.*

Figuur D vertoont een der drie tabellen in beeld met de radiumgroeireactie in een lichtsterkte van 4 M.K. van 4 zijden. Deze figuur D is direct vergelijkbaar met fig. B van dezelfde bestralingsreactie in donker.

Het wordt nu wel zeer waarschijnlijk dat de eerste inwerking der lichtstralen en der gammastralen (dat is dus de perceptie dier stralen van de zijde van de plantencel beschouwd) van geheel anderen aard is of althans een geheel andere schakel van het stofwisselingsproces raakt. Pas secundair uitte de gevolgen zich beiden in de beschreven wijzigingen van de groeisnelheid.

Bij deze laatste proeven werd tevens van de gelegenheid gebruik gemaakt om aan cellen, die 5 en 6 uur lang met 4 M.K. belicht waren, nadat zij waren bekomen van de 60 sec. durende Ra-bestraling, ook de lichtstraling te onttrekken. In de proeven van tabel 22 en 23 en in figuur F (met 't vervolg F') kan men ten overvloede nogmaals eene bevestiging vinden van het krachtig optreden eener *donkergroeireactie* nadat de groei is aangepast aan een constanten lichttoevoer.

TABEL 19. *Belicht met 4 M.K. 4-zijdig. Na  $3\frac{1}{2}$  uur 60 sec. Ra-bestraling op 5 c.M.*

24	$32\frac{1}{2}$	28	36	32	34	36	$33\frac{1}{2}$	38
	36	40	37	44	$33\frac{1}{2}$	47	35	50
	36	53	$33\frac{1}{2}$	56	35	59	(0 ↑)	32
2	<b>23</b>	4	<b>24</b>	6	36	8	<b>42</b>	10
	<b>41</b>	12	<b>41</b>	14	<b>42</b>	16	36	18
	$33\frac{1}{2}$	20	$33\frac{1}{2}$	22	31	24	32	28
	$33\frac{1}{2}$	31	$33\frac{1}{2}$	34	35	87	$30\frac{1}{2}$	40
	$30\frac{1}{2}$	43	29	46	32	49	32	52
	32	55	32	58	$33\frac{1}{2}$	61	35	64
	$34\frac{1}{2}$	67	32	70	$30\frac{1}{2}$	73	32	76
	$33\frac{1}{2}$							





TABEL 23. 5 uur belicht met 4 M.K. 4-zijdig, toen donker gemaakt.

0	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4	31	6	32	8	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	13
	35	16	30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19	30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22	29	25	32	28	32	31
	32	34	32	37	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	40	35	43	34	46	32	49
	30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	52	32	55	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0 ↓	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2	32 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4	31	6
	31	8	23	10	<b>18</b>	12	<b>18</b>	10	<b>18</b>	16	19	18
	18 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20	18 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23	<b>14</b> <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	26	19	29	27	32	22 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	35
	19	38	24	41	30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	44	35	47	28	50	21 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	53
	17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	56	25 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	59	36	62	32	65	29	68	33 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	71
	32	74	29 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	77	27	80	27	83	28	86		

Het spreekt vanzelf dat wij hier pas het allereerste hebben aangeraakt van deze opvallende radiumgroeireactie. Men staat hier voor vele nieuwe vragen, waarover de onderzoekingen zoo mogelijk moeten worden voortgezet. Wij moeten in dit kort bestek de vraag achterwege laten of een vergelijk mogelijk is met andere reeds bekende physiologische uitwerkingen van dergelijke bestralingen. Dit is echter wel zeker en voor de menschelijke physiologie en therapie wellicht ook van belang, dat de groei dezer cellen een uiterst gevoelige maatstaf of indicator is voor het beoordeelen van een physiologisch effect van de gammastralen en wellicht ook van andere bestralingen en aldus voor het kwantitatief vergelijken van zulke bestralingen, verschillend in sterkte, in afstand, in tijd, continu of intermitterend.

Ten slotte willen wij Mej. FOLMER te Groningen dank zeggen voor de welwillendheid waarmede zij ons enkele technische wenken gaf met betrekking tot de opstelling.

*Wageningen*, Januari 1925.  
*Den Haag*

In dit stuk moest verwezen worden naar gegevens, welke men kan vinden in:  
Zeitschr. f. Bot. 1914. 6 Licht u. Wachstum I.  
Zeitschr. f. Bot. 1915. 7 „ II,  
Meded. v. d. Landbouwhoogeschool 1918. 15 Licht u. Wachstum III.  
Zeitschr. f. Bot. 1921. 13 H. SIERP.  
Versl. Kon. Akad. v. Wet. 30, 17, 1921 D. TOLLENAAR en A. H. BLAAUW.  
Versl. Kon. Akad. v. Wet. 32, 41, 1923 D. TOLLENAAR.