

# **De invloed van de temperatuur op de groei en ontwikkeling van vezelhenep (*Cannabis sativa*)**

M. Wijlhuizen

**ab-dlo**

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Literatuuroverzicht	5
2.1. Temperatuur en ontwikkeling	5
2.2. Temperatuur en groeisnelheid	5
2.3. Temperatuur en drogestofverdeling	5
3. Materialen en methoden	7
3.1. Fytotronproeven	7
3.1.1. Materialen	7
3.1.2. Waarnemingen	8
3.2. Zaatijdenproeven	9
3.2.1. Materialen	9
3.2.2. Waarnemingen	10
3.3. Verwerking van de gegevens	11
3.3.1. Zaai tot opkomst	11
3.3.2. Ontwikkelingsparameter	11
3.3.3. Groeiparameters	13
3.3.4. Gewaseigenschappen	14
4. Resultaten	15
4.1. Fytotronproef	15
4.1.1. Bladverschijning	15
4.1.2. Lengtegroei	17
4.2. Zaatijdenproeven	19
4.2.1. Zaai tot opkomst	19
4.2.2. Bladverschijning	20
4.2.3. Lichtinterceptie	21
4.3. Gewaseigenschappen	22
5. Conclusies	27
Literatuurlijst	29

## Samenvatting

Temperatuur is een belangrijke factor die de plantengroei beïnvloedt. De invloed van de temperatuur op de groei van hennep is nog nooit gekwantificeerd. In dit verslag is getracht de invloed van de temperatuur op vezelhennep te kwantificeren. Hiervoor zijn fytootron- en veldproeven uitgevoerd. Bij de fytootronproeven werden de planten bij verschillende temperaturen tussen 10 en 28 °C geteeld. Bij de veldproeven werd in 1990, 1991 en 1992 op verschillende tijdstippen van maart tot en met mei gezaaid. Met de gegevens van zowel de fytootron- als de veldproeven zijn basistemperaturen voor groei en ontwikkeling berekend. Een basistemperatuur ( $T_b$ ) van 0 à 1 °C is berekend voor de periode van zaai tot 50 % opkomst in het veld. Een temperatuursom ( $T_b = 0$ ) van 88,3 (68 - 109,5) graaddagen was berekend van zaai tot 50 % opkomst. Bij de veldproeven werd een  $T_b$  van 1 °C voor bladverschijning en een  $T_b$  van 2,5 °C voor de toename van het percentage onderschepte PAR berekend. Bij de fytootronproeven namen de bladverschijningssnelheid en de lengtegroeisnelheid lineair toe tussen 10 en 28 °C. Voor de bladverschijning werd een  $T_b$  van 5,7 °C en voor de lengtegroei een  $T_b$  van 2,5 °C berekend. Bij de veldproeven verklaarde de tijd uitgedrukt in de temperatuursom vanaf opkomst, met de juiste  $T_b$ , 97,8 % van de variantie van het bladstadium en 98,6 % van de variantie van het percentage onderschepte PAR. De tijd uitgedrukt in dagen na opkomst verklaarden veel minder. De temperatuursom is een eenvoudige en nauwkeurige methode om zowel de bladverschijningssnelheid als de toename van de onderschepte PAR te beschrijven. Uit de gegevens van de fytootronproeven bleek dat de temperatuur geen invloed had op de drogestofverdeling tussen blad en stengel, noch op de SLA (specifiek bladgewicht). Ook het bastaandeel in de stengel werd niet beïnvloed door de temperatuur. De planten die bij de lagere temperaturen groeiden, waren korter bij eenzelfde plantgewicht dan de planten die bij de hogere temperaturen groeiden. De extinctiecoëfficiënt, berekend uit de gegevens van de veldproeven, was ongeveer 1.

# 1. Inleiding

In het kader van het Nationaal Hennep Onderzoekprogramma wordt de haalbaarheid van vezelhennep als grondstof voor papier onderzocht. Binnen dit programma wordt bij AB-DLO gewasfysiologisch onderzoek gedaan. Het doel is te bepalen hoeveel vezel van welke kwaliteit hennep in Nederland kan produceren per hectare.

De temperatuur is één van de belangrijkste factoren die de plantengroei beïnvloedt. Groeisnelheid en ontwikkelingsnelheid zijn twee begrippen die belangrijk zijn voor het beschrijven van de plantengroei. Met groeisnelheid wordt de toename van aan de plant meetbare grootheden (afmetingen, volume, drooggewicht van verschillende plantendelen) in de tijd bedoeld. Ontwikkeling is het doorlopen van verschillende stadia, van kieming tot rijpheid.

Er zijn al vele proeven gedaan die de invloed van de temperatuur op de plantengroei beschrijven. Hieruit is gebleken dat de temperatuur een grote invloed heeft op de ontwikkelingsnelheid, terwijl licht en CO<sub>2</sub> factoren zijn die hoofdzakelijk de groeisnelheid beïnvloeden (Monteith, 1981). Bij groei en ontwikkeling spelen vele fysische en biochemische processen een rol. Die processen vertonen een zeer uiteenlopende gevoeligheid voor temperatuur. In het algemeen zijn biochemische processen gevoeliger voor temperatuur dan fysische. Doordat bij ontwikkeling relatief meer biochemische processen zijn betrokken zou de ontwikkelingsnelheid sterker worden beïnvloed door de temperatuur dan de groeisnelheid (Monteith, 1981).

Gegevens over de invloed van de temperatuur op de groei, ontwikkeling en allocatie van drogestof naar organen en weefsels van vezelhennep zijn in de literatuur niet te vinden. Het doel van het onderzoek is om de invloed van de temperatuur op vezelhennep te kwantificeren. Er werd geprobeerd een basistemperatuur voor zowel groei als ontwikkeling te berekenen. De basistemperatuur is de temperatuur waaronder de groeisnelheid of ontwikkelingsnelheid nul is. Die basistemperaturen kunnen onder andere in een groeimodel gebruikt worden.

Voor dit verslag zijn gegevens gebruikt uit twee fytotronproeven en drie veldproeven. In de fytotronproeven werden planten bij verschillende temperaturen geteeld. De fytotronproeven geven informatie over het effect van de temperatuur op de groei en ontwikkeling van de planten. In de veldproeven werd op verschillende tijdstippen gezaaid. Hierdoor zijn de planten bij verschillende temperaturen opgegroeid. De veldproeven zijn opgezet om te bekijken wat de invloed is van het zaaitijdstip op de nachtvorstgevoeligheid en opbrengst van hennep. Het effect van de temperatuur is bij de veldproeven uiteraard verstrengeld met dat van andere factoren. De basistemperaturen zullen zowel met de gegevens uit de kasproeven als met de gegevens uit de veldproeven berekend worden.

In dit verslag wordt in het tweede hoofdstuk een beknopt literatuuroverzicht gegeven van de relatie tussen temperatuur en groeisnelheid, ontwikkelingsnelheid en drogestofverdeling. Hoofdstuk drie geeft de gebruikte materialen en methoden weer. In het vierde hoofdstuk staan de resultaten en als laatste volgen de conclusies.

## 2. Literatuuroverzicht

### 2.1. Temperatuur en ontwikkeling

In de literatuur is al vaak een lineaire samenhang tussen temperatuur en ontwikkelingsnelheid aangetoond voor het grootste deel van het temperatuurtraject waarin plantengroei in de praktijk plaatsvindt. Op basis van dit lineaire verband kan door extrapolatie de basistemperatuur berekend worden. Er wordt aangenomen dat bij de basistemperatuur geen ontwikkeling plaatsvindt.

Er zijn enige aanwijzingen dat basistemperaturen voor verschillende processen bij hetzelfde gewas niet veel verschillen (Monteith, 1981).

De precieze fysiologische achtergrond van de invloed van de temperatuur op de ontwikkeling is nog niet bekend.

### 2.2. Temperatuur en groeisnelheid

Een plant groeit doordat zij met behulp van haar bladeren licht onderschept en daarmee assimilaten kan produceren. Een deel van die assimilaten wordt weer geïnvesteerd in de toename van het bladoppervlak. Als het gewas nog niet gesloten is kan de plant hierdoor meer licht opvangen en neemt de hoeveelheid assimilaten ook toe. Dit is de fase van exponentiële groei. Als het gewas gesloten is neemt de hoeveelheid onderschept licht niet meer toe bij een toename van het bladoppervlak. Dan blijft de groeisnelheid constant. Bij veroudering neemt de groeisnelheid weer af doordat de fotosynthese-activiteit van oudere bladeren afneemt.

Belangrijk voor de groeisnelheid is de CO<sub>2</sub>-assimilatiesnelheid. De belangrijkste milieufactoren die de assimilatiesnelheid beïnvloeden zijn de lichtintensiteit, de CO<sub>2</sub>-concentratie, de vochtvoorziening en de temperatuur. Bij een toenemende temperatuur neemt de assimilatiesnelheid toe totdat een optimum is bereikt. Bij nog hogere temperaturen dan de optimumtemperatuur neemt de assimilatiesnelheid weer af. Dit wordt veroorzaakt door de enzymactiviteit die een optimumcurve volgt en bij nog hogere temperaturen dan de optimumtemperatuur afneemt. De onderhoudsademhaling neemt bij hogere temperaturen toe. De totale reactie van de groeisnelheid op een toename van de temperatuur volgt over het algemeen een optimumcurve. De optimumtemperatuur is afhankelijk van de lichtintensiteit (Lövenstein et al, 1993).

### 2.3. Temperatuur en drogestofverdeling

De drogestofverdeling binnen een plant is een maat voor de groei van de afzonderlijke delen van de plant. Het verdelingsproces van de drogestof wordt beïnvloed door milieufactoren en verandert ook in de loop van de ontwikkeling (Lövenstein et al, 1993).

Bij vezelhennep zijn we geïnteresseerd in het effect van de temperatuur op de verdeling van bovengrondse drogestof over blad en stengel en op het bastaandeel in de stengel. Hierover zijn geen resultaten gevonden in de literatuur.

## 3. Materialen en methoden

### 3.1. Fytotronproeven

#### 3.1.1. Materialen

De fytotronproeven zijn in het fytotron van de LUW-vakgroep Agronomie uitgevoerd van begin november 1991 tot april 1992 (proef A) en van november 1992 tot maart 1993 (proef B). Proef A is reeds beschreven door Brouwer (1992). Omdat de meeste gegevens die in dit verslag gebruikt zijn van proef B afkomstig zijn, en de twee proeven weinig van elkaar verschillen, wordt hier proef B beschreven en wordt in het kort weergegeven waarin proef A verschilde van proef B.

Voor proef B werden zeven temperatuurregimes ingesteld. Omdat er maar vier cellen beschikbaar waren, hebben de temperaturen elkaar opgevolgd (zie tabel 1). De daglengte was 16 uur. Er zijn drie wissel- en vier constante temperaturen ingesteld. Temperatuurregime 12/6 (10)°C is ingesteld omdat de gewenste temperatuur van 10 °C overdag niet haalbaar was vanwege de warmte die de lampen afgeven. De temperatuur van 10 °C komt overeen met de gemiddelde temperatuur van eind april in Nederland. De gemiddelde temperatuur van temperatuurregime 18/12 (16,5)°C komt overeen met de gemiddelde temperatuur van half juni in Nederland. Bij temperatuurregime 18/12 °C is het 13 maal 's nachts 17 °C geweest in plaats van 12 °C. Hierdoor was de gemiddelde temperatuur 16,5 °C in plaats van 16 °C. Temperatuurregime 24/18 (22)°C komt overeen met een warme zomerperiode. De gegevens van dit temperatuurregime zijn verder niet gebruikt omdat de planten om onbekende redenen slecht groeiden. De constante temperaturen waren 13 °C, 19 °C, 25 °C en 28 °C.

De proef liep van zaai tot het twaalfde-bladstadium, dus de planten bleven nog vegetatief. Er is gezaaid in 5-literpotten gevuld met potgrond. De potgrond had een samenstelling van 5 % klei, een kleine 60 % tuinturf en een kleine 40 % tuinmolm. Het percentage organische stof was 65 %, de pH 5,8 en de EC 1,2. Per pot was 1,33 g N, 1,55 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 2,65 g K<sub>2</sub>O toegevoegd.

Per cel werden 30 potten (18 randpotten en 12 nettopotten) geplaatst op twee tegen elkaar aanstaande verrijdbare tafels, die beide een afmeting hadden van 70 bij 104 cm. Op elke tafel stonden 3 bij 5 potten. Per pot zijn 12 zaden gezaaid van het Hongaarse ras Kompolti Hybrid TC. Na het zaaien zijn ze direct in de cel gezet met de juiste temperatuur. Zodra de plantjes in het tweede bladstadium waren zijn ze gedund tot twee planten per pot (bij het dunnen is erop gelet dat de planten die overbleven goed verdeeld in de pot stonden en een gemiddelde grootte hadden). Dat leverde een plantgetal van 41,2 planten per m<sup>2</sup> op. Elke pot en elke plant kreeg een steeketiket. De planten werden elke dag van 6:00 tot 22:00 h (16 uur) belicht met 18 HPI -T 400 Watt kwiklampen en 18 SON-T type Agro-natriumlampen. De afstand tussen de bovenste kant van de potten en het plafond (vlak onder de lampen) bedroeg 115 cm. Er werd voor gezorgd dat de top van de planten niet dichterbij dan 20 cm bij het plafond kwam; was dat wel het geval dan werden de tafels naar beneden gedraaid, zodat ze op 20 cm van het plafond bleven. De gemiddelde lichtintensiteit op 50 cm van het plafond bedroeg 101 W/m<sup>2</sup> (400-700 nm) (tabel 1). De relatieve vochtigheid was ingesteld op ongeveer 70 %. De temperatuur en de luchtvochtigheid werden door thermohygrograven continu geregistreerd. Met een bolthermometer werd de temperatuur geregeld gecontroleerd.

Bij afwijkende temperaturen werd er gecorrigeerd. De planten kregen water op de pot, zodat de grond vochtig bleef. De planten die bij de twee laagste temperaturen groeiden hadden lichter blad dan de planten van de hogere temperaturen. Daarom heeft temperatuur 12/6 °C tweemaal en temperatuur 13 °C éénmaal een voedingsoplossing (0,288 gram  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  per pot) gekregen.

Proef A is vrijwel op dezelfde manier uitgevoerd. Belangrijke verschillen met proef B waren dat er in plaats van twee planten drie planten per pot werden aangehouden, waardoor de plantdichtheid 61,8 planten per  $\text{m}^2$  was. In proef B vonden de oogsten en metingen plaats in het 2<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup> en 10<sup>e</sup> bladstadium. Er werden 4 temperaturen ingesteld namelijk 12/6 (10)°C, 19/10 (16)°C, 26/14 (22)°C en 16 °C. De gemiddelde lichtintensiteit was 110  $\text{W}/\text{m}^2$ .

De planten die bij 12/6 °C groeiden hadden bruine ingedroogde vlekken op de bladeren, en hebben daarom per pot een bemesting van 5 ml sporenoplossing gehad.

Tabel 1. Verdeling van de temperatuurregimes over de beschikbare cellen voor de proef uitgevoerd van november 1992 tot maart 1993. Gegevens van de lichtmeting uitgevoerd op 8 december 1992

Cel	Temperatuurregime	Van/tot	Temperatuurregime	Van/tot	Lichtintensiteit ( $\text{W}/\text{m}^2$ )			
					Afstand tot plafond 50 cm	100 cm		
1	13	02-11	25-01	28	27-01	22-02	108	96
3	24-18 (22)*	02-11	18-12				100	72
4	18-12 (16,5)	02-11	22-12	19	28-12	08-02	104	75
6	12- 6 (10)	13-10	18-01	25	20-01	22-02	90	72

### 3.1.2. Waarnemingen

Aan de planten van de zes temperatuurregimes zijn dezelfde waarnemingen gedaan. Om de groei en ontwikkeling goed te kunnen volgen zijn frequent (telkens bij het verschijnen van een nieuw bladpaar) metingen verricht. Een nieuw bladpaar telde mee zodra de beide bladeren 1 cm lang waren. De kiemlobben zijn niet meegeteld. De volgende metingen zijn in elk bladstadium gedaan aan 12 planten (6 potten), zodra er weer een bladpaar was bijgekomen:

- aantal bladparen;
- planthoogte (= de afstand van het maaiveld tot het groeipunt van de plant).

Om het verloop van de bast/hout-verhouding te volgen werden er in het 2<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup> en 10<sup>e</sup> bladstadium twee planten (1 pot) geoogst. Alle drooggewichten zijn bepaald na droging bij 105°C. Aan deze planten is het volgende gemeten:

- het drooggewicht van bast en hout van het eerste internodium (dit is het internodium boven het eerste bladpaar). Het hout en de bast is met de hand makkelijk van elkaar te scheiden, vooral als het internodium wat ouder is;
- het drooggewicht van de stengel en het blad;
- de lengte, de grootste breedte en het oppervlak van de middelste "vinger" van een blad van het derde bladpaar (voor zover aanwezig). Met een bladoppervlaktemeter (LI-COR model 3100 area meter) is het oppervlak bepaald.

\* De gegevens van deze behandeling zijn niet gebruikt aangezien de planten om onbekende redenen slecht groeiden.

Bij de eind oogst waren de planten in het twaalfde bladstadium. Hiervoor zijn dezelfde zes potten gebruikt die ook voor de waarnemingen per bladstadium zijn gebruikt.

Aan vijf potten zijn per twee planten de volgende metingen verricht:

- de drooggewichten van de stengels, groene bladeren, gele bladeren en zijstengels;
- het totale groene bladoppervlak;
- de planthoogte, de diameter van de stengel 2 cm boven de voet;
- het aantal internodia (het tellen begint vanaf internodium -1, dat is het stukje stengel onder de cotylen) en de lengte en diameter van de internodia.

Aan één pot zijn per plant de volgende metingen verricht:

- het drooggewicht van de bast en het hout per internodium en van het niet te scheiden topje;
- de planthoogte; de lengte en de diameter van de internodia.

## 3.2. Zaaitijdenproeven

### 3.2.1. Materialen

De proeven zijn in 1990, 1991 en 1992 uitgevoerd op een dalgrond op proefboerderij 't Kompas te Valthermond. In 1990 en 1991 zijn de rassen Fédrina 74 (Fed), Kompolti Hybrid TC (HTC) en Kompolti Sargaszaru (Sar) gezaaid. In 1992 werd in plaats van Fédrina 74 het vergelijkbare ras Futura 77 (Fut) gebruikt, omdat zaad van Fédrina niet beschikbaar was. Bij de verwerking van de gegevens zijn Fédrina en Futura als hetzelfde ras beschouwd. De proef is als splitplot-proef in drie herhalingen aangelegd, met zaaitijdstip als hoofdfactor. Meer gegevens over de proefuitvoering en de percelen staan in de tabellen 2 t/m 4.

Tabel 2. Gegevens zaaitijdenproef 1990

Rassen	Fédrina 74, Kompolti Hybrid TC, Kompolti Sargaszaru					
Zaaitijdstippen	19/3 (Z1), 2/4 (Z2)*, 17/4 (Z3)*, 1/5 (Z4)					
Zaaimachine	nokkenradzaaimachine					
Rijafstand, zaaidiepte	12,5 cm, 3 à 4 cm					
Oogstijdstippen	Z1: 3/5, 10/5, 22/5 Z4: 17/5, 30/5, 19/6					
Bemesting	3000 kg supermergel, 100 kg N, 130 kg K <sub>2</sub> O 86 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
Grondbewerking	vaste tandcultivator met rol					
Voorvrucht	aardappel					
Ziektebestrijding	om de 2 weken vanaf half mei afwisselend gespoten met 1 kg Ronilan en 1 kg Rovral per ha tegen <i>Botrytis cinerea</i> en <i>Sclerotinia</i>					
Onkruidbestrijding	handwieden					
Dunnen	bij een gewashoogte van 10 cm gedund op 64 planten/m <sup>2</sup>					
Bodemvruchtbaarheid	pH-KCl	% O.S.	N-min (kg/ha)	Pw	K-HCl	MgO
laag 0-40 cm	4,8	16,2	400	57	16	208
laag 40-60 cm	3,9	7,2	120	29	6	92

\* Deze gewassen werden op 29 mei ernstig beschadigd door nachtvorst. De gegevens zijn buiten beschouwing gelaten.



Tabel 3. Gegevens zaaitijdenproef 1991

Rassen	Fédrina 74, Kompolti Hybrid TC, Kompolti Sargaszaru			
Zaaitijdstippen	20/3 (Z1)*, 9/4 (Z2), 25/4 (Z3), 22/5 (Z4)			
Zaaimachine	nokkenradzaaimachine			
Rijafstand, zaaidiepte	12,5 cm, 3 à 4 cm			
Oogsttijdstippen	Z1: 1/5, 28/5, 12/6 Z2: 28/5, 12/6, 18/6 Z3: 12/6, 18/6, 3/7 Z4: 18/6, 3/7, 10/7			
Bemesting	3000 kg supermergel, 100 kg N, 130 kg K <sub>2</sub> O, 86 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
Grondbewerking	vaste tandcultivator met rol			
Voorvrucht	aardappel			
Ziektebestrijding	om de 2 weken vanaf half juni, afwisselend gespoten met 1 kg Ronilan en 1 kg Rovral per ha tegen <i>Botrytis cinerea</i> en <i>Sclerotinia</i>			
Onkruidbestrijding	handwieden			
Dunnen	bij een gewashoogte van 10 cm gedund op 64 planten/m <sup>2</sup>			
Bodemvruchtbaarheid	pH-KCl	% O.S.	Pw	K-HCl
laag 0-30 cm	5,2	13,7	53	19

Tabel 4. Gegevens zaaitijdenproef 1992

Rassen	Futura 77, Kompolti Hybrid TC, Kompolti Sargaszaru			
Zaaitijdstippen	25/3 (Z1), 21/4 (Z3), 6/5 (Z4)			
Zaaimachine	nokkenradzaaimachine			
Rijafstand, zaaidiepte	12,5 cm, 3 à 4 cm			
Oogsttijdstippen	geen oogsten uitgevoerd			
Bemesting	3000 kg kalkmergel, 122 kg N, 210 kg K <sub>2</sub> O, 90 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
Grondbewerking	ploegen (24 maart)			
Voorvrucht	aardappel			
Ziektebestrijding	om de 2 weken vanaf begin juni afwisselend gespoten met 1 kg Ronilan en 1 kg Rovral per ha tegen <i>Botrytis cinerea</i> en <i>Sclerotinia</i>			
Onkruidbestrijding	handwieden			
Dunnen	bij een gewashoogte van 10 cm gedund op 64 planten/m <sup>2</sup>			
Bodemvruchtbaarheid	pH-KCl	% O.S.	Pw	K-HCl
laag 0-30 cm	5,2	13,7	53	19

### 3.2.2. Waarnemingen

In 1990 en 1991 is driemaal een getrapte oogst uitgevoerd tussen opkomst en gewassluiting en éénmaal begin september. Bij de oogsten zijn van stengel en blad de drogestofgewichten bepaald. In 1992 is alleen een eindoogst gedaan. Er is gedroogd bij 105 °C. Vanaf opkomst totdat het gewas gesloten was, zijn er lichtinterceptiemetingen (telelichtmeter, TFDL) gedaan. Ook zijn de planthoogten gemeten en de bladstadia bepaald. Bij het bepalen van het bladstadium

\* Bij deze zaaitijd is alleen Fédrina 74 gezaaid, van de overige rassen was nog geen zaaizaad beschikbaar.

werden de cotylen niet meegeteld. Een bladpaar telde mee als de bladeren langer waren dan 1 cm. In 1990 en 1991 is ook het bladoppervlak gemeten.

In 1990 trad eind mei zware nachtvorst op. Hierdoor liepen zaaitijdstip 2 en vooral zaaitijdstip 3 schade op. De vorst veroorzaakte hier veel dood blad en bij sommige planten was de top volledig gedood. De planten van Z1 waren al voldoende ontwikkeld en de planten van Z4 zaten nog in het kiemplantstadium en ondervonden vrijwel geen schade van de vorst.

Hierdoor zijn alleen de gegevens van Z1 en Z4 gebruikt bij de verwerking. In 1991 trad eind april vorst op, dat leverde geen schade op. In 1992 trad geen schade op van nachtvorst.

De weergegevens zijn afkomstig van weerstation Eelde, gelegen op 35 km afstand van het proefveld.

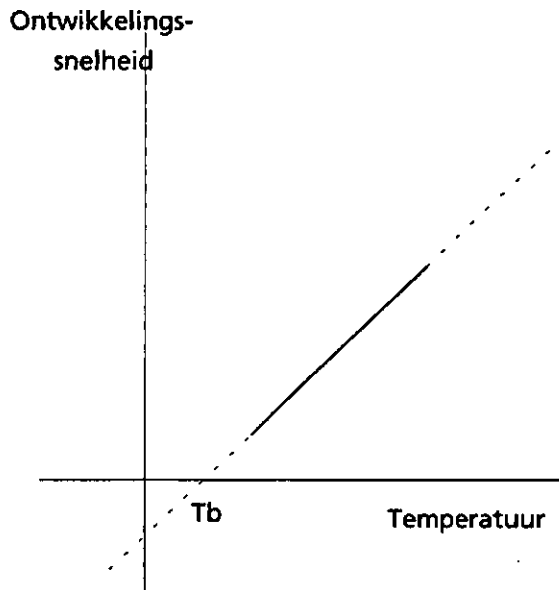
### 3.3. Verwerking van de gegevens

#### 3.3.1. Zaai tot opkomst

Bij de zaaitijdenproeven waren van een aantal zaaitijden de precieze 50 % opkomstdata niet bekend. Aangezien deze opkomstdata voor een aantal berekeningen nodig waren zijn ze geschat. Om ze te kunnen schatten zijn de temperatuursommen van zaai tot 50 % opkomst van de overige zaaitijden berekend. De temperatuursommen zijn berekend door vanaf zaai tot 50 % opkomst de gemiddelde dagtemperaturen te sommeren. De gemiddelde dagtemperaturen worden berekend door het gemiddelde te nemen van de maximum en minimum temperatuur op een dag. Als de gemiddelde temperatuur lager was dan 0 °C werd deze gelijk gesteld aan 0 °C. De temperatuursommen die nodig waren van zaai tot opkomst waren per ras vrij constant. Voor de zaaitijdstippen waarvan de opkomstdata niet precies bekend waren zijn de opkomstdata geschat aan de hand van de benodigde temperatuursommen. Om de basistemperatuur ( $T_b$ ) per ras voor de periode van zaai tot opkomst te berekenen zijn er verschillende temperatuursommen berekend. Deze temperatuursommen zijn berekend door de gemiddelde temperaturen per dag na aftrekking van een basistemperatuur te sommeren. Als de gemiddelde dagtemperatuur lager is dan de basistemperatuur wordt er niets bij de temperatuursom opgeteld.

#### 3.3.2. Ontwikkelingsparameter

In de hier beschreven proeven is het tijdstip van bladverschijning de enige ontwikkelingsparameter die gemeten is. Er wordt van uitgegaan dat er een lineair verband bestaat tussen bladverschijningsnelheid en temperatuur. De lineaire samenhang kan weergegeven worden door een vergelijking met de vorm  $Y = a + bX$ , waarbij Y hier de ontwikkelingsnelheid is en X de temperatuur. Het snijpunt van deze lijn met de x-as is de basistemperatuur ( $T_b$ ) waaronder de ontwikkelingssnelheid nul is. Zie Fig. 1.



Figuur 1. Lineaire samenhang tussen temperatuur en ontwikkelingssnelheid

Bij de fytonproeven is per temperatuur de bladverschijningsnelheid berekend door de bladstadia uit te zetten tegen de dagen na opkomst. Met behulp van lineaire regressie kan een lijn gefit worden door de punten. De richtingscoëfficiënt van zo'n lijn drukt de bladverschijningsnelheid uit (Rate Leaf Appearance, RLA). De verschillende RLA's kunnen dan gerelateerd worden aan de bijbehorende gemiddelde temperatuur en middels regressie kan dit verband worden beschreven. Extrapolatie van dit verband levert het intercept met de temperatuuras. Dit intercept is een schatting van de basistemperatuur ( $T_b$ ) voor bladverschijning. Hoe betrouwbaar een dergelijke schatting is, kan worden vastgesteld door het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval te berekenen. Het midden van het betrouwbaarheidsinterval wordt berekend (volgens Sokal en Rohlf, 1981) door:

$$\bar{X} + \frac{b_{YX}(Y_i - \bar{Y})}{b_{YX}^2 - t_{0,05(n-2)}^2 S_b^2}$$

X = temperatuur

Y = LAR,  $Y_i = 0$

$b_{YX}$  = richtingscoëfficiënt bij regressie van Y op X

$S_b$  = de standaardafwijking van  $b_{YX}$

t = de t-waarde bij een onbetrouwbaarheid van 5 % en n-2 vrijheidsgraden

n = aantal metingen

De boven- en ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval worden berekend door van de bovenstaande formule het onderstaande op te tellen respectievelijk af te trekken:

$$\frac{t_{0,05(n-2)}}{b_{YX}^2 - t_{0,05(n-2)}^2 S_b^2} \sqrt{S_{YX}^2 \left[ b_{YX}^2 - t_{0,05(n-2)}^2 S_b^2 \left( 1 + \frac{1}{n} \right) + \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{\sum x^2} \right]}$$

De gegevens van de zaaitijdenproef zijn niet op deze manier verwerkt. Voor deze proeven is een genstatprogramma gemaakt dat per ras, voor de gegevens van alle zaaitijden van de drie jaren, de basistemperatuur zoekt waarbij de residuele variantie, van de regressie van het bladstadium op de temperatuursom, het kleinst is. Deze methode is ook toegepast bij veldproeven door Arnold (1959) en Angus (1981). De verschillende temperatuursommen zijn berekend vanaf 50 % opkomst.

### 3.3.3. Groeiparameters

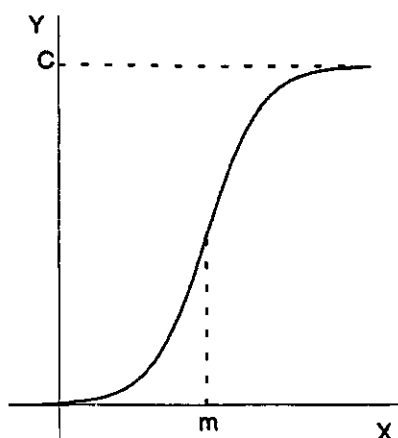
Er zijn een aantal gemeten waarden die als groeiparameters kunnen worden gebruikt, zoals de toename van het oppervlak van de bladeren of delen (vingers) van de bladeren, de lengte van de stengel, de drogestoftoenames van de verschillende plantdelen en, bij de zaaitijdenproef, het percentage lichtonderschepping.

Bij de fytotronproef is de plantlengte als groeiparameter gebruikt. Net als bij de ontwikkelingssnelheid wordt er bij de groeisnelheid vanuit gegaan dat er een lineair verband bestaat tussen groeisnelheid en temperatuur (Fig. 1) en dat het snijpunt met de x-as de basistemperatuur is. Om de groeisnelheden voor de verschillende temperaturen te kunnen berekenen moeten er groeicurven gemaakt worden.

Vrijwel alle groeiprocessen met begrensde groei laten eenzelfde verloop zien van de groeisnelheid. Eerst is de groei exponentieel, vervolgens lineair en daarna wordt een plafond benaderd. Voor de wiskundige beschrijving van deze processen kunnen een aantal curven gebruikt worden, zoals de logistische, de gegeneraliseerde logistische en de gompertzcurve. Er moet naar gestreefd worden om de meest eenvoudige te nemen. Met de F-toets kunnen de gecompliceerdere curven vergeleken worden met de logistische curve, die de meest eenvoudige is. Het logistische model kon voor de verwerking van deze proeven gebruikt worden. Het wordt beschreven met de vergelijking:

$$Y = C / (1 + e^{-b(x-m)}),$$

- Y = een groeiparameter,
- X = temperatuur,
- C = maximum,
- m = buigpunt en
- b = beginhoek.



Figuur 2. Een logistische curve

De curven van de plantlengten vlakten nog niet af. Volgens de methode van Milford & Riley (1980) kunnen voor die "halve" logistische curven met behulp van de onderstaande formule de gewogen gemiddelde groeisnelheden ( $\bar{A}$ ) berekend worden.

$$\bar{A} = \frac{1}{p} \int_{y=0}^{y=p} \frac{dy}{dt} * dy = \frac{bp}{\phi} \left[ 0,5 - \frac{p^\phi}{C^\phi(\phi+2)} \right]$$

p = laatst gemeten waarde

t = tijd

$\phi$  = constante met waarde 1 bij een logistische curve

De berekende gewogen gemiddelde groeisnelheden worden tegen bijbehorende gemiddelde temperaturen uitgezet. Het snijpunt met de x-as, van de lijn die door middel van lineaire regressie door de groeisnelheden wordt gefit, is weer de basistemperatuur. Hierbij wordt ook een betrouwbaarheidsinterval berekend.

Voor de zaaitijdenproef is het percentage lichtinterceptie gebruikt als groeiparameter. De  $T_b$  is op dezelfde manier berekend als bij de ontwikkelingsparameters staat beschreven, alleen is er in plaats van met een rechte lijn met een logistische curve gefit tegen verschillende temperatuursommen.

### 3.3.4. Gewaseigenschappen

Voor fytootronproef B is het bastaandeel van het eerste internodium en van de gehele stengel in bladstadium 12, tegen het stengelgewicht uitgezet. De plantlengte is tegen het plantgewicht en het bladgewicht tegen het stengelgewicht uitgezet. De SLA ( $\text{cm}^2$  blad/gram drogestof bladgewicht) is voor de verschillende temperaturen uitgerekend met gegevens van de eind oogsten van de beide kasproeven en uitgezet tegen het plantgewicht.

Met gegevens van de zaaitijdenproef zijn de extinctiecoëfficiënten per ras voor de drie jaren door middel van het fitten met de curve  $F = 1 - e^{-kL}$ , ( $F$  = fractie onderschept licht,  $k$  = extinctiecoëfficiënt,  $L$  = leaf area index), berekend.

## 4. Resultaten

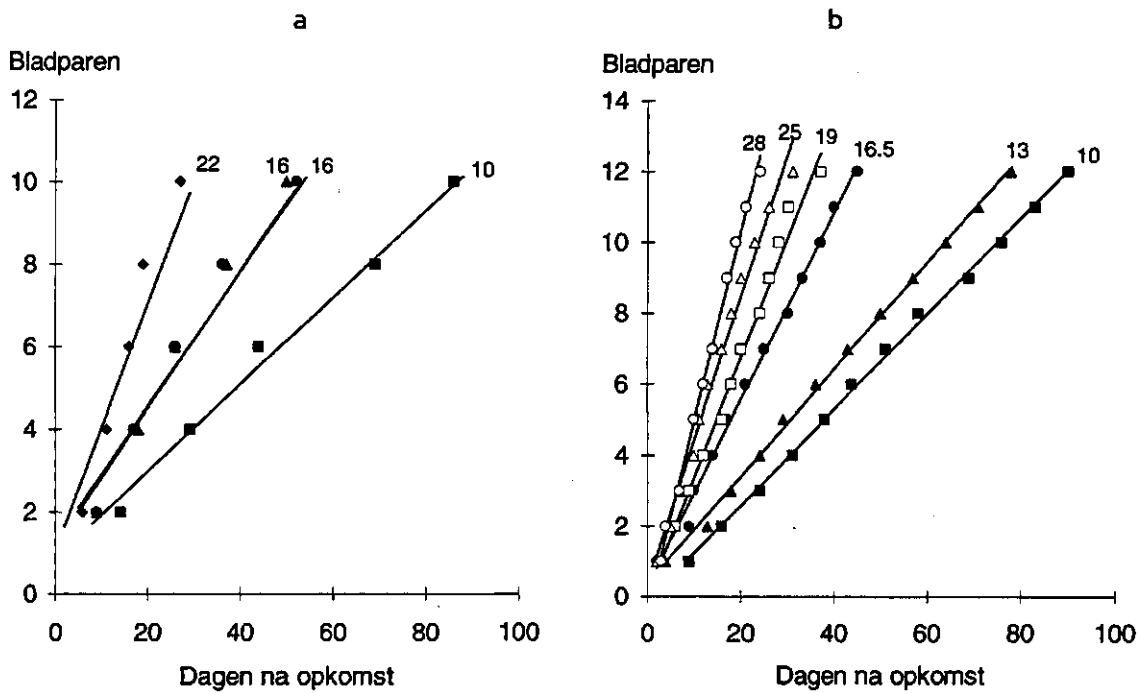
### 4.1. Fytotronproef

#### 4.1.1. Bladverschijning

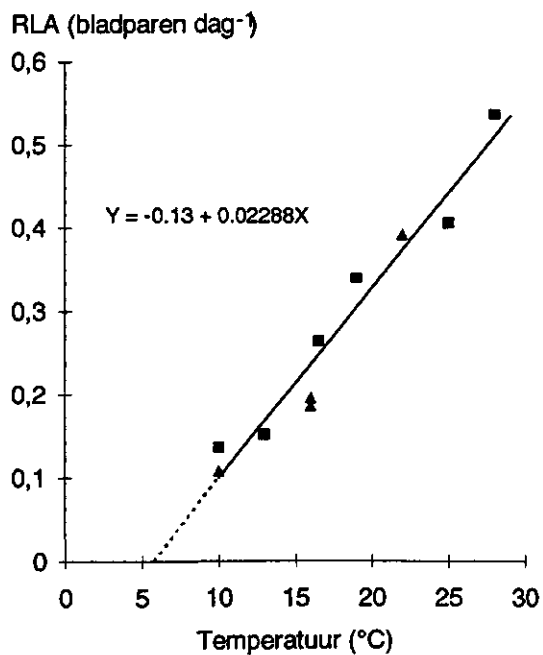
De bladstadia zijn tegen de dagen na opkomst uitgezet voor proef A (Fig. 3a) en voor proef B (Fig. 3b). Door de punten zijn per temperatuur rechte lijnen gefit. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de bladeren verschenen (tabel 5). De richtingscoëfficiënten (RLA) van deze lijnen staan in Fig. 4 uitgezet tegen de bijbehorende temperatuur. Er is één lijn gefit door alle punten. Uit het snijpunt met de x-as van deze lijn volgt dat de basistemperatuur 5,68 °C is. Het bijbehorende 95 % betrouwbaarheidsinterval loopt van 2,4 °C tot 8,4 °C. Voor het verschijnen van een bladpaar zijn 43,7 graaddagen nodig.

Tabel 5. De resultaten van lineaire regressie van het aantal bladparen tegen dagen na opkomst. De lijnen zijn van de vorm  $Y = a + bX$ . In de tabel staan verder het percentage verklaarde variantie en de standaardfouten van de regressiecoëfficiënten.

Temperatuur	a	standaardfout a	b	standaardfout b	% verklaarde variantie
Proef A					
10 °C (12/6)	0,788	0,330	0,1077	0,0060	98,8
16 °C	0,509	0,351	0,1961	0,0112	98,7
16 °C (19/10)	0,778	0,499	0,1865	0,0157	97,2
22 °C (26/14)	-0,201	0,544	0,3925	0,0314	97,5
Proef B					
10 °C (12/6)	-0,125	0,102	0,1350	0,0018	99,8
13 °C	0,380	0,098	0,1508	0,0021	99,8
16,5 °C (18/12)	0,278	0,154	0,2638	0,0057	99,5
19 °C	-0,038	0,183	0,3396	0,0084	99,3
25 °C	0,335	0,262	0,4065	0,0151	98,5
28 °C	-0,428	0,189	0,5365	0,0128	99,5



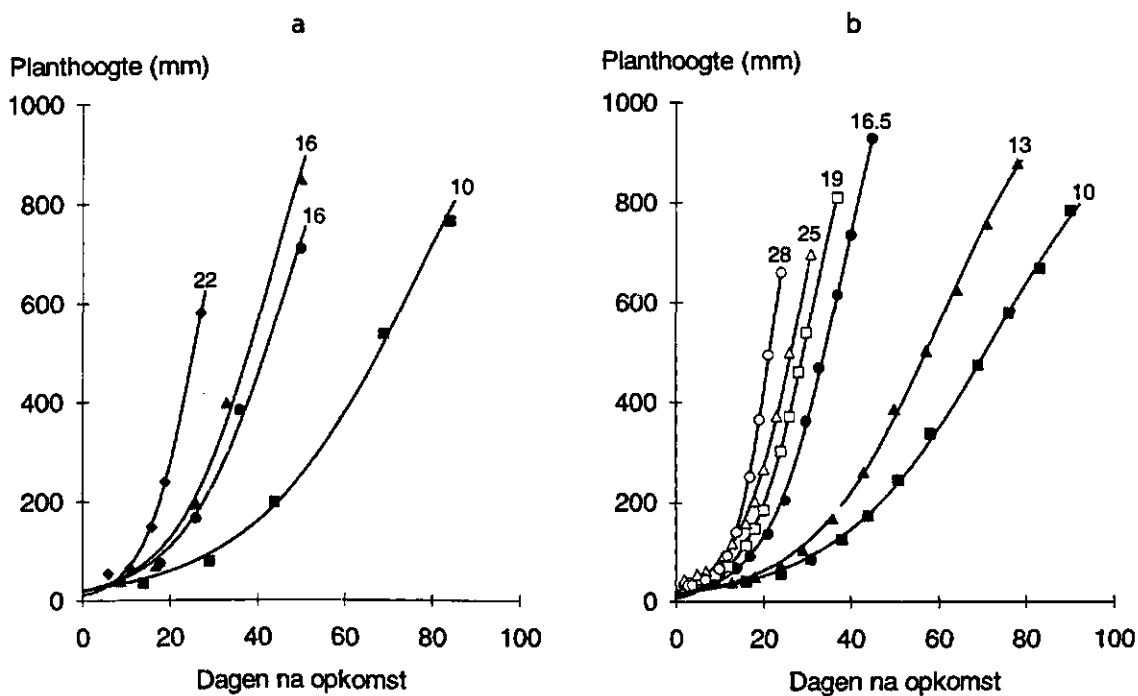
Figuur 3. De toename van het aantal bladparen in de tijd van hennepplanten  
 a. gegroeid bij vier temperaturen (proef A)  
 b. gegroeid bij zes temperaturen (proef B)



Figuur 4. Bladverschijningsnelheid (RLA) tegen de gemiddelde temperatuur.  
 Proef A: ▲, proef B: ■. Het percentage verklaarde variantie is 94,1.

### 4.1.2. Lengtegroei

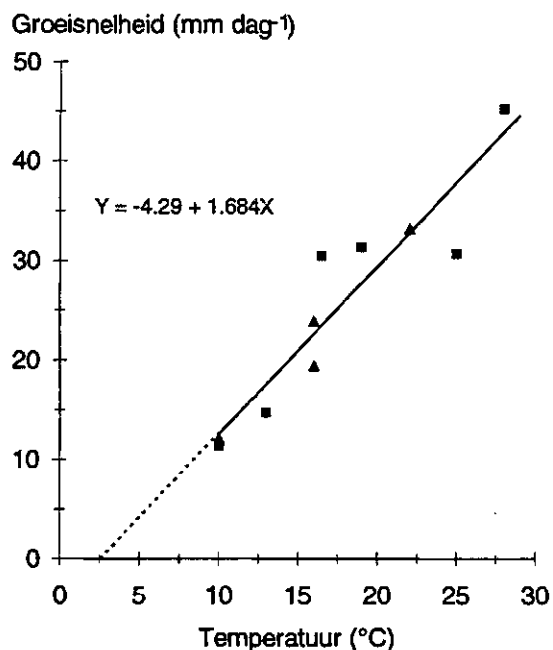
De curven van de lengtegroei van de planten vlakten bij de eind oogst nog niet af. De planten groeiden sneller naarmate de temperatuur hoger was (Fig. 5a,b).



Figuur 5. De toename van de planthoogte in de tijd van hennepplanten  
 a. gegroeid bij vier temperaturen (proef A)  
 b. gegroeid bij zes temperaturen (proef B)

Met behulp van de gemeten waarden zijn er curven gefit. In tabel 6 staan de parameters van de curven en de berekende gewogen gemiddelde groeisnelheden per temperatuur. De groeisnelheden zijn uitgezet tegen de gemiddelde temperatuur in Fig. 6. Als basistemperatuur voor de stengelgroei is 2,55 °C gevonden en het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval loopt van -3,7 tot 6,7 °C. Er zijn 6,0 graaddagen nodig per cm stengelgroei.





Figuur 6. De gewogen gemiddelde groeisnelheden van de stengel tegen de gemiddelde temperatuur. Proef A: ▲, proef B: ■. Het percentage verklaarde variantie is 85,3.

Tabel 6. De resultaten van het fitten van de planthoogte tegen de dagen na opkomst met de logistische curve  $Y = C/(1 + (e^{-b(x-m)}))$ ,  $C$  = maximum,  $b$  = begin hoek,  $x$  = dagen na opkomst en  $m$  = buigpunt. Tussen haakjes staan de bijbehorende standaardfouten. De gewogen gemiddelde groeisnelheden zijn berekend als  $\bar{A} = bp(0,5 - p/3C)$ , waarbij  $p$  de laatst gemeten waarde is.

Temperatuur (°C)	C (mm)	b	m (dagen)	p (mm)	$\bar{A}$ gewogen gemiddelde groeisnelheid (mm/dag)	% verklaarde variantie
proef A						
10 (12/6)	1039,4 (36,1)	0,06238 (0,00205)	67,71 (1,37)	763,8	12,15	100
13	905,2 (37,5)	0,11485 (0,00585)	38,81 (0,97)	708,7	19,46	99,9
16 (19/10)	973,6 (38,4)	0,1348 (0,0101)	35,91 (0,95)	846,3	23,99	99,9
22 (26/14)	1519 (1127)	0,1539 (0,0339)	30,14 (8,43)	578,9	33,23	99,4
proef B						
10 (12/6)	1067 (49)	0,05665 (0,00220)	72,75 (1,89)	786	11,34	99,9
13	1108 (36)	0,07141 (0,00244)	59,67 (1,12)	880,4	14,78	99,9
16,5 (18/12)	1341 (71)	0,12190 (0,00499)	38,33 (0,97)	928,8	30,48	99,9
19	1160 (56)	0,14486 (0,00572)	31,10 (0,75)	810,6	31,36	99,8
25	1274 (143)	0,13874 (0,00786)	29,48 (1,60)	698,4	30,74	99,7
28	1076 (126)	0,2319 (0,0173)	21,92 (1,06)	660,1	45,24	99,6

## 4.2. Zaaitijdenproeven

### 4.2.1. Zaai tot opkomst

Voor de verschillende rassen, jaren en zaaitijden zijn de dagen en de temperatuursommen ( $T_b = 0$ ) van zaai tot 50 % opkomst berekend (tabel 7). Van zaai tot opkomst waren 7 tot 16 dagen en een temperatuursom ( $T_b = 0$ ) van 68 tot 109,5 graaddagen nodig. Tussen de rassen zat geen significant verschil. De variatiecoëfficiënt zat bij de dagen rond de 30 en bij de temperatuursom rond de 15.

Tabel 7. Temperatuursommen ( $T_b = 0$ ) en dagen van zaai tot 50 % opkomst

Jaar	Zaaidatum	Dagen tot opkomst			Temperatuursommen ( $T_b = 0$ )		
		Fédrina*	HTC	Sargaszaru	Fédrina	HTC	Sargaszaru
1990	19 maart	13	12	14	97,1	87,0	109,5
1991	9 april	11	9	10	101,8	95,4	99,0
	22 mei	7	7	7	68,0	68,0	68,0
1992	25 maart	16	15	15	90,8	83,7	83,7
	21 april	9	9	10	88,0	88,0	96,4
Gemiddelde		11,2	10,4	11,2	89,1	84,4	91,3
Variatiecoëfficiënt		1,3	29,8	29,5	14,6	12,0	17,4

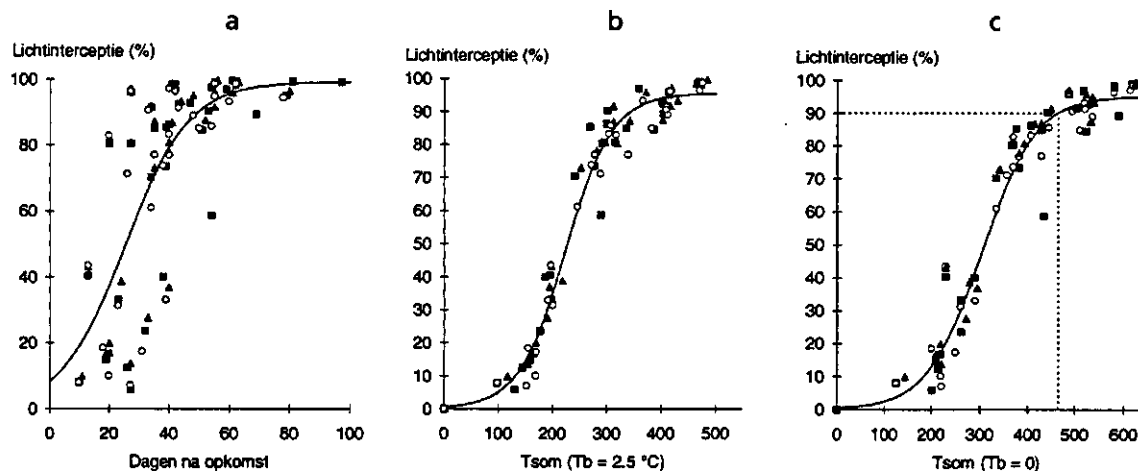
In tabel 8 staan voor verschillende basistemperaturen de uitgerekenende temperatuursommen van zaai tot opkomst. De variatiecoëfficiënten zijn uitgerekend om te bekijken welke basistemperatuur de minste variatie geeft. De basistemperaturen 0 en 1 gaven voor alle drie de rassen de minste variatie.

Tabel 8. Het effect van de verschillende basistemperaturen op de temperatuursom tussen zaai en opkomst. CV is de variatiecoëfficiënt.

Basistemperatuur $T_b$	Fédrina 74*		HTC		Sargaszaru	
	gemiddelde temperatuursom	CV	gemiddelde temperatuursom	CV	gemiddelde temperatuursom	CV
0	89,1	14,6	84,4	12,0	91,3	17,4
1	77,9	14,4	74,0	13,1	80,1	18,2
2	66,8	15,4	63,6	16,1	68,9	20,1
3	55,9	18,3	53,5	21,0	58,0	23,1
4	45,4	24,6	43,5	28,7	47,3	28,5
5	36,1	33,2	34,7	37,8	37,8	35,5

\* In 1992 is Futura 77 gebruikt in plaats van Fédrina 74.

Omdat de basistemperaturen noch de parameters van de logistische kromme significant per ras verschillen, is er één curve voor de drie rassen gefit met een basistemperatuur van 2,5 °C (Fig. 8b). Om vergelijking met eerder verkregen gegevens te kunnen maken is ook het verband tussen percentage lichtinterceptie en de temperatuursom met basistemperatuur 0 °C uitgerekend (Fig. 8c). Na een temperatuursom van 465 °C wordt een lichtinterceptie bereikt van 90 %. In Fig. 8a is het percentage lichtinterceptie uitgezet tegen de dagen na opkomst. Het verband van het percentage lichtinterceptie door het gewas met het aantal dagen na opkomst is zwak, terwijl er een zeer goed verband bestaat met de temperatuursommen na opkomst. De gegevens van de curven staan in tabel 12.



Figuur 8. % Lichtinterceptie uitgezet tegen tijd na opkomst (a), de temperatuursom vanaf 50 % opkomst met een  $T_b$  van 2,5 % (b) of de temperatuursom met een  $T_b$  van 0 (c).  
Fédrina 74: ■, Kompolti HTC: ▲, Sargaszaru: ○.

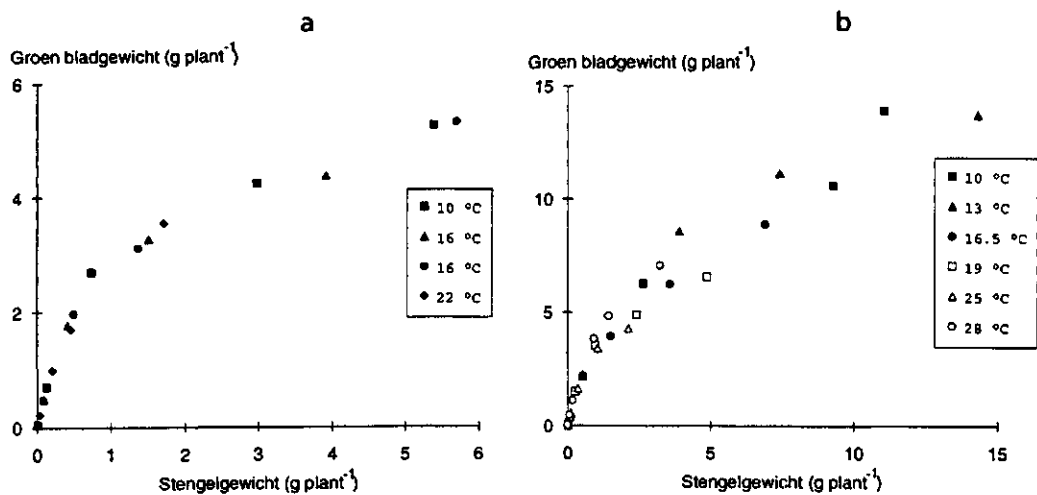
Tabel 12. De parameters van de logistische curven van het % lichtinterceptie tegen het aantal dagen na opkomst en de temperatuursom met de basistemperaturen 2,5 °C en 0 °C.  
De lijnen hebben de vergelijking  $Y = C/(1 + e^{-b(x-m)})$ . C = maximum, b = helling en m = buigpunt. Tussen haakjes staan de standaardfouten.

X	C	m	b	% verklaard
Dagen	99,26 (6,07)	25,33 (2,14)	0,0942 (0,0204)	53,5
Tsom ( $T_b = 2,5$ )	95,59 (0,78)	224,0 (2,18)	0,02318(0,000949)	98,6
Tsom ( $T_b = 0$ )	96,01 (1,03)	299,16 (3,55)	0,01796(0,000942)	97,7

### 4.3. Gewaseigenschappen

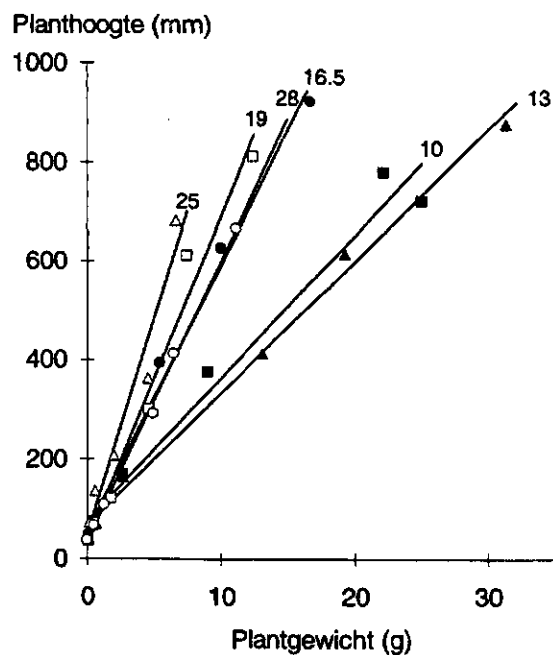
In de Fig. 9a en 9b is het drooggewicht van het groene blad uitgezet tegen het droog-gewicht van de stengel voor de gegevens van proef A en proef B. De blad/stengel-verhouding is hoog in lichte planten en neemt af naarmate de planten zwaarder wegen.

De temperatuur had in geen van beide proeven invloed op de blad/stengel-verhouding.



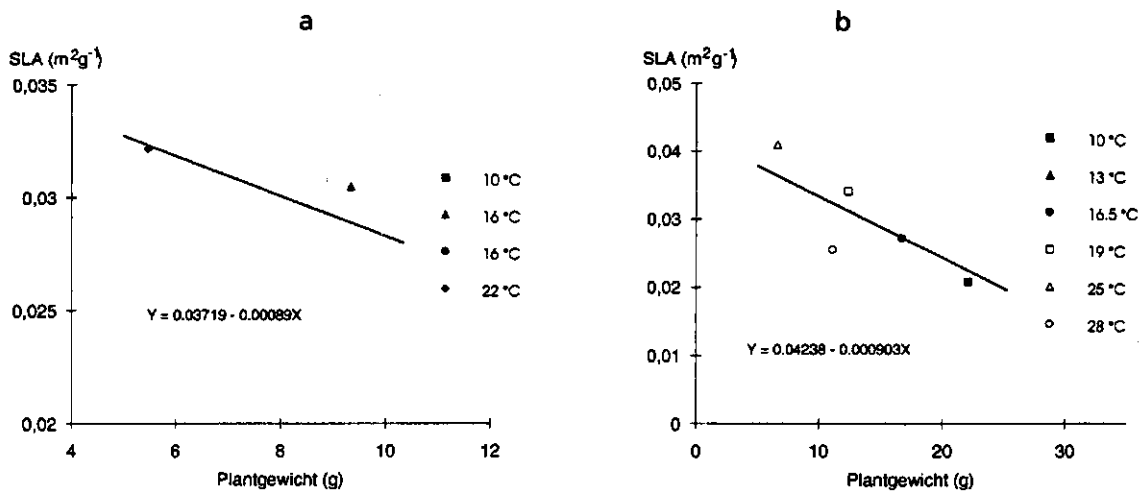
Figuur 9. Het drogestofgewicht van het groene blad uitgezet tegen het drogestofgewicht van de stengel voor de gegevens van proef A (a) en proef B (b)

In Fig. 10 is de planthoogte uitgezet tegen het plantgewicht voor de gegevens van proef B. De planten die bij 10 °C en 13 °C zijn gegroeid waren korter bij een zelfde gewicht dan de planten die temperaturen van 16 °C of meer hebben ondergaan.



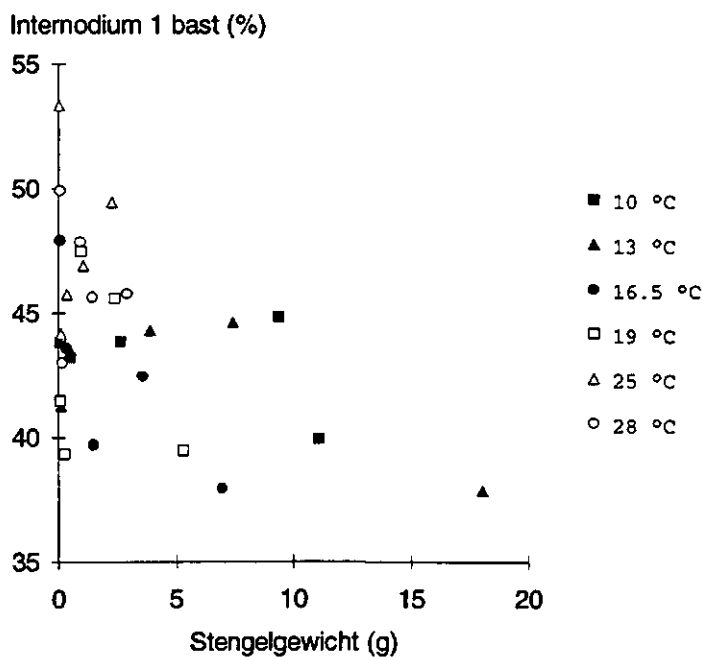
Figuur 10. De planthoogte uitgezet tegen het drooggewicht per plant van hennepplanten verbouwd bij zes temperaturen (proef B)

In Fig. 11a is de SLA uitgezet tegen het drogestofgewicht per plant voor de gegevens van de eind oogsten van proef A. In Fig. 11b is dat voor de gegevens van de eind oogsten van proef B gedaan. De verschillen in SLA tussen de temperatuurbehandeling lijken volledig het gevolg te zijn van verschillen in plantgewicht.



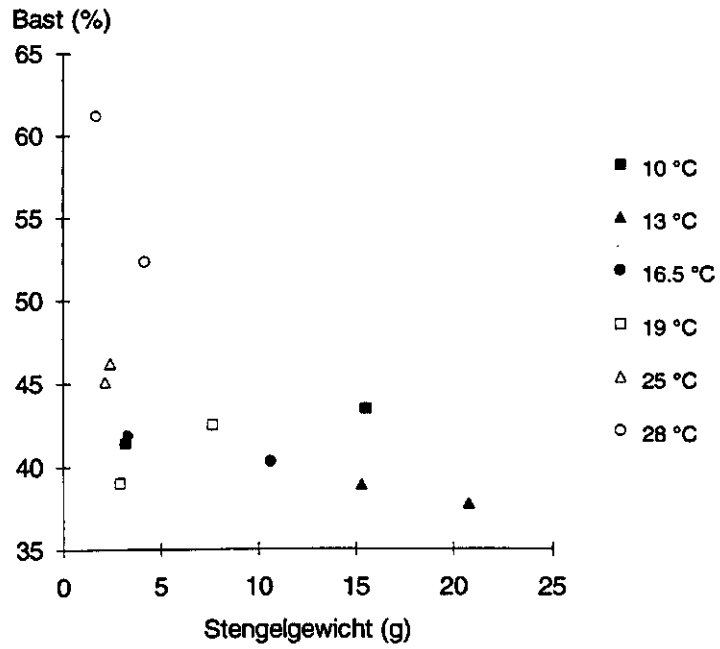
Figuur 11 Het specifieke bladgewicht uitgezet tegen het drogestofgewicht van de plant voor proef A (a) en proef B (b)

In Fig. 12 staat het percentage bast van het 1<sup>e</sup> internodium uitgezet tegen het drogestofgewicht van de stengel voor de gegevens van proef B. Er is geen effect zichtbaar van de temperatuur, wel lijkt het bastaandeel wat lager te zijn naarmate het stengelgewicht groter was.



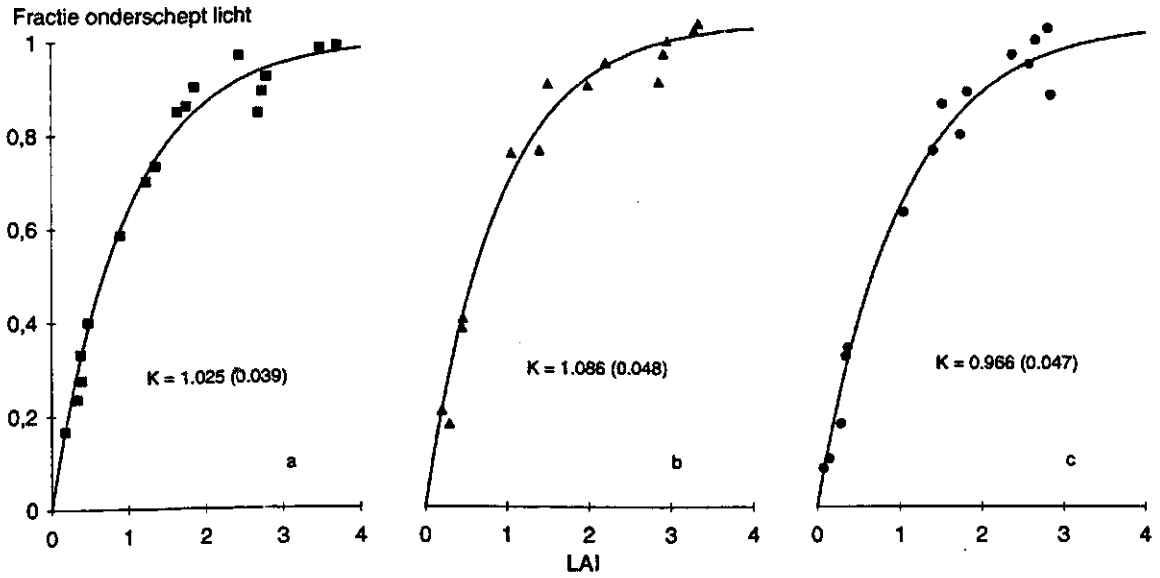
Figuur 12. Het percentage bast van het eerste internodium uitgezet tegen het drogestofgewicht van de stengel (proef B)

In Fig. 13 is het percentage bast van de gehele stengel in het twaalfde bladstadium uitgezet tegen het stengelgewicht voor de gegevens van proef B. Er is geen duidelijk temperatuur-effect zichtbaar op het bastaandeel in de stengel, ook hier was het bastaandeel wat lager naarmate het stengelgewicht hoger was.



Figuur 13. Het bastaandeel uitgezet tegen het drogestofgewicht van de stengel (proef B)

In Fig. 14a, b, c staan voor de drie rassen de fracties onderschept licht uitgezet tegen de LAI. In de Fig. staan de bijbehorende k-waardes. Voor alle drie de rassen zijn de k-waardes hoog.



Figuur 14. De fractie onderschept licht uitgezet tegen de LAI, met de extinctiecoëfficiënt k. Tussen haken staan de standaardfouten.  
a) Fédrina 74, b) Kompolti Hybrid TC, c) Kompolti Sargaszaru.

## 5. Conclusies

Voor de gegevens van de veldproeven leverde basistemperaturen van 0 en 1 °C de kleinste variatiecoëfficiënt op voor de periode van zaai tot 50 % opkomst. Deze basistemperaturen verschillen weinig van de minimum kiemtemperatuur van 1-2 °C voor hennepzaad volgens Haberlandt (in Bierhuizen, 1973). Van zaai tot 50 % opkomst waren gemiddeld 88,3 (68-109,5) graaddagen ( $T_b=0$ ) nodig. Tamm (1933) berekende dat hennep 96 graaddagen nodig had om te kiemen. De gegevens van zaai tot 50 % opkomst uit onze veldproeven komen dus vrij goed overeen met de beschikbare literatuurgegevens.

Uit de fytotronproeven werd voor bladverschijning een  $T_b$  van 5,7 °C berekend en waren er 43,8 graaddagen nodig voor het verschijnen van een bladpaar voor het ras Kompolti Hybrid TC. Bij de veldproeven werd voor bladverschijning een basistemperatuur van 1 °C berekend en waren er 70,2 graaddagen nodig voor het verschijnen van een bladpaar. Werd er voor de veldproeven ook een basistemperatuur van 5,7 °C gebruikt dan waren er 45,2 graaddagen nodig per bladpaar. Dus als dezelfde basistemperatuur genomen wordt dan komen de gegevens van de fytotronproef wat betreft de benodigde temperatuursom voor het verschijnen van een bladpaar overeen met die van de veldproeven. De berekende  $T_b$  was voor de veldproeven echter veel lager dan voor de fytotronproeven. Aangezien de relatie tussen temperatuur en ontwikkeling niet lineair maar eerder S-vormig is hangt de waarde van de berekende  $T_b$  af van de temperatuurrange die onderzocht is (Arnold, 1959). Een verschuiving van de onderzochte temperatuurrange van het lineaire middenstuk van de S-curve naar de onderkant van de curve levert een lagere  $T_b$  op (Arnold, 1959 en Angus et al., 1981). In de veldproeven werden de planten in het voorjaar meer aan lage temperaturen (<10 °C) en minder aan hoge temperaturen (>20 °C) blootgesteld dan in de fytotronproeven. Dit heeft waarschijnlijk de lagere  $T_b$  bij de veldproeven veroorzaakt. Om de ontwikkeling gedurende de gewasgroei in het koude Nederlandse voorjaarsweer te berekenen is de  $T_b$  van 1 °C het meest geschikt, omdat die meer van de variantie van de regressie van het bladstadium op de temperatuursom verklaarde dan andere basistemperaturen. De berekende basistemperatuur van de fytotronproef is niet realistisch, omdat die verkregen is door lineaire extrapolatie in een temperatuurrange waar de relatie tussen temperatuur en ontwikkelingssnelheid een kromlijng verband vertoont en geen rechtlijng verband. Voor ontwikkeling (bladverschijning) is de vergelijking tussen de fytotronproeven en de veldproeven goed mogelijk. Bij de groei is dat minder eenvoudig omdat er verschillende groeiparameters bekeken zijn (lengtegroei in het fytotron en de toename van het percentage lichtinterceptie door het gewas in het veld). Voor beide situaties is overigens wel dezelfde basistemperatuur van 2,5 °C gevonden.

Bij de fytotronproeven waren de basistemperaturen voor groei en ontwikkeling niet significant verschillend. Bij de veldproeven was de basistemperatuur voor groei (2,5 °C) significant hoger dan die voor ontwikkeling (1 °C). Dit komt overeen met de resultaten van Milford et al. (1985) die vonden voor suikerbiet een  $T_b$  van 3 °C voor bladgroei en een  $T_b$  van 1 °C voor bladverschijning. Bij de veldproeven verklaarde de temperatuursom vanaf opkomst, met de juiste  $T_b$ , 97,8 % van de variantie in het bladstadium en 98,6 % van de variantie in het percentage lichtinterceptie. De tijd uitgedrukt in dagen na opkomst, verklaarde veel minder van de variantie in het bladstadium en in de lichtonderschepping.

De temperatuursom is een eenvoudige en nauwkeurige methode om het percentage lichtinterceptie en de bladverschijning te beschrijven.

De temperatuur heeft geen invloed op de drogestofverdeling tussen blad en stengel. Er bestaat een kromlijng verband tussen het drogestofgewicht van het blad en dat van de stengel.

Hoe zwaarder de plant wordt hoe kleiner het aandeel blad wordt. Op de SLA lijkt de temperatuur ook geen invloed te hebben. Hoe zwaarder een plant is hoe kleiner de SLA. Samen levert dat op: hoe zwaarder een plant hoe kleiner het aandeel blad wordt en hoe kleiner het oppervlak per hoeveelheid bladgewicht.

De extinctiecoëfficiënt die uitgerekend is met behulp van gegevens uit de veldproeven had voor alle drie de rassen een waarde van rond de 1, wat hoog is. Deze hoge waarde wordt veroorzaakt doordat de meeste bladeren vrijwel horizontaal staan. Bij de begingroei (lage LAI) heeft een hoge extinctiecoëfficiënt een gunstige invloed op de gewasfotosynthese omdat het gewas eerder gesloten is. Dit is ook gunstig tegen onkruid. Echter gedurende het merendeel van het groeiseizoen is de LAI hoog. Bij een hoge LAI heeft een hoge extinctiecoëfficiënt een nadelige invloed op de gewasfotosynthese.



# Literatuurlijst

- Angus, J.F., R.B. Cunningham, M.W. Moncur & D.H. Mackenzie, 1981.  
Phasic development in field crops. I Thermal response in the seedling phase. *Field Crops Research* 3: 365-378.
- Arnold, C.Y., 1959.  
The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 74: 430-445.
- Bierhuizen, J.F., 1973.  
The effect of temperature on plant growth, development and yield. In: *Plant response to climatic factors. Proc. Uppsala Symp., 1970. UNESCO, Paris, 89-98.*
- Brouwer, K., 1992.  
De invloed van temperatuur op groei, ontwikkeling en drogestofverdeling van vezel-hennep. Doctoraalonderzoek Tropische plantenteelt, Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 35 pp.
- Lövenstein, H., E.A. Lantinga, R. Rabbinge & H. van Keulen, 1993.  
Principles of Theoretical Production Ecology, dictaat van de vakgroep Theoretische Productie-ecologie, Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 113 pp.
- Milford, G.J.F, T.O. Pocock & J. Riley, 1985.  
An analysis of leaf growth in sugarbeet. I Leaf appearance and expansion in relation to temperature under controlled conditions. *Annals of applied Biology* 106: 163-172.
- Milford, G.J.F. & J. Riley, 1980.  
The effects of temperature on leaf growth of sugarbeet varieties. *Annals of applied Biology* 94: 431-443.
- Monteith, J.L., 1981.  
Climatic variation and the growth of crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107: 749-774.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf, 1981.  
*Biometry, The principles and Practice of Statistics in Biological Research*, second edition, Freeman and Company, New York, 825 pp.
- Tamm, E., 1933.  
Weitere Untersuchungen über die Kiemung und das Auflaufen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Pflanzenbau* 10: 297-313.