

# **Roodverkleuring in witlof: invloed van mineralen- huishouding en krop- ontwikkeling**

B.W. Veen

## **ab-dlo**

## **DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO)**

AB-DLO is een moderne, marktgerichte onderzoeksorganisatie die resultaten van wetenschappelijk onderzoek vertaalt naar maatoplossingen voor klanten. Kennis van processen in plant, gewas en bodem benut AB-DLO voor het sturen van de kwaliteit van land- en tuinbouwproducten in de keten en voor het duurzaam en landschappelijk aantrekkelijk maken van plantaardige productiesystemen. Integratie van kennis in operationele modellen geeft meerwaarde aan de onderzoeksproducten van AB-DLO.

De klantenkring omvat bedrijfsleven, land- en tuinbouw, inrichters van de groene ruimte, nationale en regionale overheden, en internationale organisaties.

AB-DLO beschikt over unieke expertise op het gebied van plantenfysiologie, gewas- en productie-ecologie, bodemchemie en -ecologie en systeemanalyse.

Het instituut heeft geavanceerde faciliteiten voor onderzoek aan fysiologische processen, planten, gewassen en eco-systemen:

- goed geoutilleerde laboratoria
- verschillende typen klimaatruimten
- het 'Wageningen Phytolab'
- het 'Wageningen Rhizolab'
- Open-Top kamers
- proefbedrijven op verschillende grondsoorten

*De producten die AB-DLO op de markt brengt zijn gegroepeerd in drie productgroepen:*

### **Plantaardige productie en productkwaliteit**

- Geïntegreerde en biologische productiesystemen
- Onkruidbeheersingssystemen
- Precisielandbouw
- Groene grondstoffen en inhoudsstoffen
- Innovatie glastuinbouw
- Kwaliteit van plant, gewas en product

### **Bodem-plant-milieu**

- Bodem- en luchtkwaliteit
- Klimaatverandering
- Biodiversiteit

### **Multifunctioneel en duurzaam landgebruik**

- Nutriëntenmanagement
- Rurale ontwikkeling en voedselzekerheid
- Agro-ecologische zonerings
- Multifunctionele landbouw
- Agrarisch natuurbeheer

Adres : Bornsesteeg 65, Wageningen  
: Postbus 14, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317-475700  
Fax : 0317-423110  
E-mail : [postkamer@ab.dlo.nl](mailto:postkamer@ab.dlo.nl)  
Internet : <http://www.ab.dlo.nl>

# Inhoudsopgave

	pagina
1. Ontwikkeling van de witloftrek	1
2. Problematiek	3
3. Uitgangspunten voor het onderzoek	7
4. Materiaal en methoden	9
4.1 Oogstmethode	12
4.2 Analyses	12
5. Resultaten van de experimenten	13
5.1 Algemeen	13
5.2 Groei en ontwikkeling	13
5.2.1 Groei van afzonderlijke bladeren en de pit tijdens kropontwikkeling	13
5.2.2 Welke kropeigenschappen zijn gerelateerd aan roodverkleuring?	17
5.2.3 Invloed van trekomstandigheden op kropeigenschappen en rood	19
5.2.4 De relatie tussen kropontwikkeling en rood, mogelijke mechanismen	22
5.2.5 Toetsing van de hypothese dat herverdeling van materie binnen de krop roodverkleuring veroorzaakt	24
5.2.6 Relatieve pitlengte	26
5.3 Mineralengehalten en -transport	28
5.3.1 Gehalten aan Ca, K en Mg in de bladeren	28
5.3.2 Vormen van calcium	29
5.3.3 Transpiratie	30
5.3.4 Mineralengehalten in de bladeren en optreden van rood	31
5.3.5 Mineralengehalten in de pen en het optreden van rood	36
5.4 Anatomisch onderzoek	38
5.4.1 Rol van melksapvaten	38
5.4.2 Preciese lokalisering van rood	40
5.4.3 Weefselspanning	41
5.4.4 Lokale scheurtjes als oorzaak van rood?	43
6. Samenvatting	45
6.1 Kropontwikkeling	45
6.2 Voeding	45
6.3 Anatomie	46
7. Conclusies	47
8. Vervolgonderzoek	49
9. Dankwoord	51
10. Literatuur	53
Bijlage I: Schematisch overzicht van de uitgevoerde experimenten	4 pp

# 1.           Ontwikkeling van de witloftrek

Witlof, *Cichorium intybus* L. var. *foliosum* Hegi, behoort tot de familie der Asteraceae en is nauw verwant aan groenlof, radicchio, cichorei en andijvie. Witlof is een tweejarige plant. In het eerste jaar worden bladeren en een vlezige penwortel gevormd; na een periode van kou is de plant gevernaliseerd en gaat bloeien en zaad vormen.

De witlofteelt bestaat uit drie onderdelen: de wortelteelt, de bewaring en de trek. Voor de productie van witlof worden de wortels na het rooien bij  $-1^{\circ}\text{C}$  in koelcellen bewaard. Enerzijds is koeling nodig voor de vernalisatie, waarna uitlopen van de eindknop op de wortel mogelijk is, anderzijds maakt een langdurige bewaring van de wortels trek van witlof gedurende het gehele jaar mogelijk.

Oorspronkelijk is de witlofteelt rond 1850 in België uitgevoerd door witlofwortels direct na het rooien in te kuilen en te bedekken met een laag stro en grond. De op de wortel in het donker gegroeide en dus geëtiolerde witlofkrop werd afhankelijk van de temperatuur in het voorjaar geoogst. Later is vervroeging van de teelt bereikt door opgekuilde wortels te bedekken met broeimateriaal en later, na 1900, door de bodem te verwarmen met een door kacheltjes verwarmd buizenstelsel.

In het begin van de zestiger jaren zijn rassen ontwikkeld die geschikt zijn voor de trek zonder dekaarde, wat uiteindelijk geleid heeft tot de trek in lichtdichte trekcellen in op elkaar gestapelde trekbakken waardoorheen een voedingsoplossing wordt gecirculeerd. Door middel van een overloop in elke trekbak wordt het niveau van de voedingsoplossing op ongeveer 5 cm gehouden. Door optimalisering van de trekomstandigheden wordt in de praktijk al na 21 tot 23 dagen geoogst. Aanvankelijk werd leidingwater gebruikt, later een calciumnitraatoplossing. Onderzoek in Frankrijk, België en Nederland heeft geleid tot het gebruik van een voedingsoplossing met gebruik van enkelvoudige meststoffen.

## 2. Problematiek

Bij de witloftrek treden onregelmatig en onvoorspelbaar problemen op met betrekking tot de kwaliteit van de krop. Het betreft negatieve kwaliteitskenmerken als roodverkleuring, lange pit, bruine pit, bruinrand en losse krop. De steeds terugkerende fysiogene afwijkingen van de gewenste kwaliteit zijn reden tot zorg, zeker nu de markt geen groei meer vertoont en de concurrentie op deelmarkten steeds sterker wordt.

De in het verleden ontwikkelde hoogproductieve rassen zijn gevoelig gebleken voor bruine pit, waarvan is aangetoond dat de directe oorzaak een plaatselijk calciumgebrek is. In Nederland heeft veredeling geleid tot een vermindering van de bruine-pitgevoeligheid; daarentegen is de roodgevoeligheid toegenomen. De fysiologische oorzaak van de laatstgenoemde kwaliteitsafwijking is echter nog onbekend. Uit onderzoek blijkt dat het optreden van roodverkleuring en bruine pit vaak negatief gecorreleerd is (Claessens et al., 1995). Een oorzakelijke relatie tussen beide kwaliteitsafwijkingen is echter nog onduidelijk.

De verbetering van de witloftrek over de afgelopen decennia is vooral gestuurd vanuit de praktijk, hierin sterk ondersteund door het praktijkonderzoek. Veel van de kwantitatieve en kwalitatieve verbeteringen in de productie zijn gebaseerd op empirisch vastgestelde relaties en betreffen zowel effecten via de teelt en de bewaarcondities als de trekomstandigheden. Zodra zich bijzondere situaties voordoen die bij de vaststelling van de empirische relaties niet in beschouwing zijn genomen, kunnen onvoorziene afwijkingen optreden.

Het optreden van roodverkleuring is positief gecorreleerd met de lengte van de pit. Bruine pit treedt daarentegen in sterkere mate op bij een korte pit. Het is echter mogelijk dat de korte pit het gevolg is van de necrotische verbruining en niet de oorzaak.

Er zijn duidelijk rasverschillen in gevoeligheid voor kwaliteitsafwijkingen; het is onduidelijk welke factor (b.v. mineralenhuishouding, kropontwikkeling, groeisnelheid van krop en pit) specifiek voor die verschillen verantwoordelijk is. In een jong stadium oogsten vermindert in het algemeen het optreden van kwaliteitsafwijkingen, maar heeft een negatieve invloed op de productie.

In het in oktober 1994 verschenen AB-DLO rapport Bestaande kennis over fysiologische kwaliteitsafwijkingen bij witlof (Reerink, 1994) wordt onder andere de conclusie getrokken dat men in de praktijk goed op de hoogte is van de bestaande kennis over het optreden van kwaliteitsproblemen en de mogelijkheden die worden aangedragen om het optreden ervan te vermijden. Onder andere met betrekking tot de samenstelling van de bij de trek gebruikte voedingsoplossing zijn de gegeven adviezen echter niet eenduidig. Naar aanleiding van de in genoemd rapport verzamelde gegevens kunnen geen mogelijkheden worden aangedragen voor een directe probleembeheersing in de praktijk. Wel worden richtingen aangegeven zowel voor onderzoek aan processen die ten grondslag liggen aan de kwaliteitsproblematiek als voor onderzoek aan factoren waarmee de kwaliteit van witlof kan worden gestuurd.

Voor het geven van nieuwe impulsen aan het praktijkonderzoek is er inzichtelijke kennis nodig van de fysiologische achtergronden van kwaliteitsafwijkingen. Daarbij is de relatie met kropontwikkeling en de beschikbaarheid van nutriënten vanuit de wortel of additioneel uit de

voedingsoplossing tijdens de trek een belangrijke ingang voor onderzoek. Inzicht in de achtergronden van de kwaliteitsafwijkingen en de stuurbaarheid ervan moet het mogelijk maken de kwaliteit van het produkt witlof te optimaliseren met handhaving van een voldoende productieniveau.

Roodverkleuring van de krop is een verschijnsel dat meestal enkele dagen na de oogst optreedt, maar het kan ook bij de oogst al duidelijk aanwezig zijn. De symptomen zijn rode vlekjes aan de bovenzijde van de basale bladhelft.

Roodverkleuring treedt het meest op in de buitenste ongeveer 15 bladeren van een krop. Bij het schonen van de krop bij de oogst wordt een aantal kleinere buitenste bladeren verwijderd. In een vroeg stadium is roodverkleuring niet aan de buitenzijde van een krop zichtbaar, in een verder gevorderd stadium zijn de afzonderlijke rode vlekken groter en met elkaar versmolten. Ook dringt de rode verkleuring dieper in het bladweefsel door waardoor het ook aan de onderzijde van het blad en daarmee aan de buitenzijde van de krop zichtbaar wordt (Foto 1). De plaats van roodverkleuring is dan vaak enigszins ingedeukt.



Foto 1. Roodverkleuring aan de buiten- en binnenzijde van een blad van cv. Tabor.

Rood wordt beschouwd als een enzymatische oxydatie van fenolen die zich in het parenchymatische weefsel van het blad bevinden. Enzym en substraat zijn in intact weefsel echter door membraanstructuren van elkaar gescheiden. Na weefselbeschadiging ontstaat mogelijk een rood reactieproduct. De chemische aard van de rode kleur is echter niet opgehelderd. In de literatuur vermelde verkleuringen van plantenweefsel door oxydatie van fenolen betreft echter veelal bruinverkleuringen, uiteindelijk overgaand in donker gekleurde melanine.

Als mogelijke oorzaak van het optreden van roodverkleuring wordt het knappen van melksapvaten genoemd ( Bosma, 1992; Van Kruistum & Biesheuvel, 1992; Den Outer, 1993). Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de snelle bladstrekking tegen het eind van de trek,

waarbij de melksapvaten niet in staat zijn de snelle strekking te volgen. Ook is het mogelijk dat de hoge turgorspanning in de melksapvaten scheuring ervan veroorzaakt. In beide gevallen wordt verondersteld dat de enzymen in het melksap (fenoloxidasen, peroxydase) roodverkleuring elders in het weefsel kunnen veroorzaken. Een andere factor die een rol kan spelen bij desintegratie van celcompartimenten is lokale deficiëntie van calcium, waardoor zwakke plekken in celwanden of membraaninstabiliteit kan ontstaan ( Kirkby & Pilbeam, 1984; De Proft et al., 1991).

Reerink (1994) betwijfelt op anatomische gronden de relatie tussen rood en melksapvaten: in de bovenzijde van het blad komen geen melksapvaten voor, terwijl dat de plaats is waar roodverkleuring optreedt. Toch sluit hij roodverkleuring door oxydatie van fenolen na desintegratie van parenchymcellen niet uit.

Hoewel roodgevoeligheid van witlof afhangt van ras, rijpheid van de wortel, de forceercondities en het ontwikkelingsstadium waarin de krop is geoogst, treedt roodverkleuring in de meeste gevallen pas op tijdens uitstalling en is daarbij in sterke mate afhankelijk van de bewaar temperatuur. Om de ontwikkeling van rood zoveel mogelijk te vermijden is koeling tot ongeveer 4°C zo snel mogelijk na de oogst noodzakelijk. Ook de verpakking van witlof tijdens de bewaring beïnvloedt de ontwikkeling van rood waarschijnlijk als gevolg van gewijzigde gassamenstelling. In de verpakking neemt het zuurstofgehalte af en het koolzuurgehalte toe. Experimenteel is aangetoond dat een luchtsamenstelling met 3% O<sub>2</sub> en 4% CO<sub>2</sub> ontwikkeling van rood voorkomt (Tanaka & Langerak, 1975).

### 3.           Uitgangspunten voor het onderzoek

In het genoemde AB-DLO-rapport "Bestaande kennis over fysiologische kwaliteitsafwijkingen bij witlof" (Reerink, 1994) wordt een lokaal tekort in de nutriëntenvoorziening van de roodgevoelige delen van de krop gezien als mogelijke oorzaak van roodverkleuring. Het betreft dan vooral calcium, waarvan is vastgesteld dat het een rol speelt bij het optreden van bruine pit. Daarnaast is een sterke negatieve correlatie tussen rood en bruine pit vastgesteld. Daarentegen is door Sarrazyn (1998) een tekort aan kalium in de voedingsoplossing tegen het einde van de trek als oorzaak van roodverkleuring genoemd. De lokale gehalten van mineralen in de bladeren van de witlofkrop worden bepaald door de continuïteit van de aanvoer vanuit de wortel en de voedingsoplossing en de verdeling ervan. Vooral de verdeling van calcium is sterk gebonden aan de verdeling van water binnen de krop. Vanwege de geringe verdamping van de krop wordt de verdeling voornamelijk bepaald door de ontwikkeling van de krop, waarbij de verhouding tussen de groei van de verschillende bladeren en de pit een belangrijke rol speelt.

Het onderzoek is uitgevoerd in nauwe samenwerking met het PAV te Lelystad (ir. G. van Kruistum). Het AB-onderzoek heeft zich zoveel mogelijk bij het praktijkonderzoek aangesloten door bestudering van de invloed van dezelfde factoren tijdens de trek (voeding, temperatuur, luchtvochtigheid, trekduur) en gebruik makend van dezelfde partijen witlofwortels als gebruikt zijn bij het lopende onderzoek op het PAV. Aansluitend bij het praktijkonderzoek dat zich voornamelijk bezig houdt met onderzoek aan roodverkleuring op het niveau van een partij witlofwortels en de invloed daarop van trekomstandigheden is het accent van het AB-onderzoek gelegd op eigenschappen van individuele kroppen en de daarbij behorende wortels in relatie tot het optreden van roodverkleuring in de betreffende krop.

In eerste instantie is de nadruk gelegd op lokale mineralengehalten in de krop en op processen tijdens de kropontwikkeling die lokale gehalten aan mineralen bepalen, zoals watertransport, transpiratie, groei van afzonderlijke bladeren en de pit, en stofredistributie. Er is ook getracht mineralengehalten in de krop te sturen door middel van de samenstelling van de voedingsoplossing.

Daarbij is zowel gekeken naar de invloed van trekomstandigheden en worteleigenschappen op eigenschappen van de krop en het optreden van roodverkleuring, als naar mogelijke verschillen in kropeigenschappen van rode en niet-rode kroppen van eenzelfde behandeling. Naast dit centrale onderzoek naar de relatie tussen mineralenhuishouding en roodverkleuring is, gebruik makend van het beschikbare materiaal, ook aandacht besteed aan anatomische aspecten van het optreden van rood, waarbij aan de orde komen de preciese lokalisering van rood, de rol van melksapvaten, weefselspanning en lokale scheuring van weefsel.

In de praktijk is de relatieve pitlengte een belangrijke parameter waarop de beslissing wordt gebaseerd witlof te oogsten met beperking van roodverkleuring. Een relatieve pitlengte van 60% moet daarbij niet worden overschreden. Het is echter onduidelijk of de relatie tussen roodverkleuring en relatieve pitlengte oorzakelijk is of louter correlatief, omdat de relatieve pitlengte een van de vele kropeigenschappen is die in de tijd veranderen.

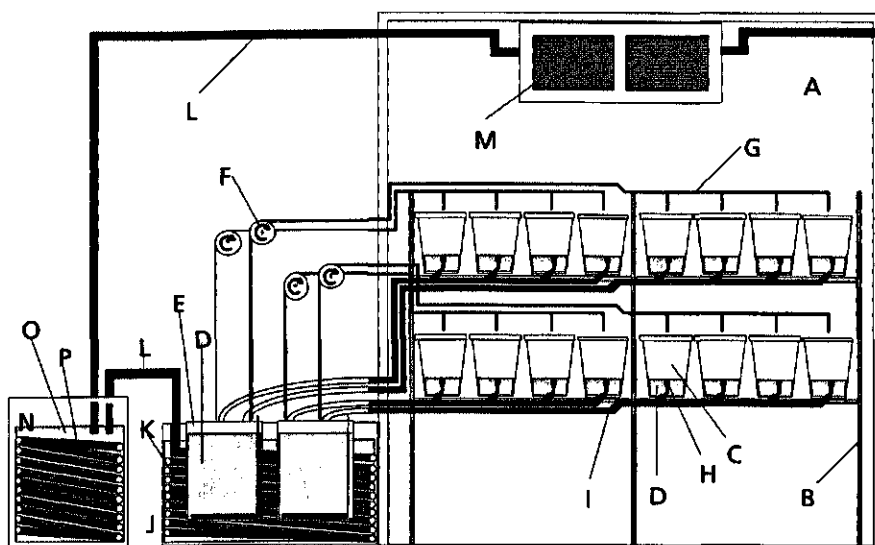


In enkele experimenten is daarom ook de relatieve pitlengte specifiek beïnvloed, bijvoorbeeld door de trektemperatuur of door plantengroeistoffen (gibberellinen) die specifiek stengelstrekking beïnvloeden.

Bij de bestudering van de effecten van trekomstandigheden op roodverkleuring is een handicap dat optreden van rood onvoorspelbaar is. Dat betekent dat de standaardbehandeling soms zoveel rood vertoont dat effecten van een behandeling niet zichtbaar zijn als die er op gericht is rood te induceren. Omgekeerd is bij het ontbreken van rood in de standaardbehandeling weinig te verwachten van behandelingen die er opgericht zijn rood te voorkomen.

## 4. Materiaal en methoden

Witlofpennen zijn zowel door het PAV geteeld als aangekocht bij witloftelers en daarna op het PAV bewaard bij  $-1^{\circ}\text{C}$ . Er is voornamelijk gewerkt met de cultivar Tabor, maar daarnaast ook met Magnum, Bea en Rumba. Magnum en Bea steeds in vergelijking met Tabor in één experiment. In een aantal gevallen is de witlof getrokken op het PAV of de Proeftuin te Zwaagdijk (Z) en volgens de praktijknorm door het PAV geoogst en beoordeeld. Een deel van het materiaal is in die gevallen door het AB bij de oogst geanalyseerd en er zijn deelmonsters voor chemische analyse verzameld. Hetzelfde is nogmaals gedaan na 7 dagen bewaring bij  $12^{\circ}\text{C}$  op het AB.



Figuur 1. Forceeropstelling voor witlof zoals die gebruikt is voor de experimenten.

- A: lichtdichte en geïsoleerde forceerruimte (2x) met verwarming en koeling (M).
- B: metalen stelling voor 4 groepen van 4 forceerbakken (C).
- D: recirculerende voedingsoplossing.
- E: reservoir voedingsoplossing (4 per cel) met aëratiesysteem.
- F en G: pomp en aanvoerleiding voor voedingsoplossing voor 4 bakken.
- H & I: overloop en afvoer voedingsoplossing.
- J: waterbak voor temperatuurregulatie voedingsoplossing met verwarming en koelspiraal (K).
- L: koelwaterleidingen.
- N: koelwaterbak.
- O: koelwater.
- P: koelspiraal.

De meeste experimenten zijn uitgevoerd op het AB waarbij gebruik gemaakt is van twee daar aanwezige kleine forceerruimten (Fig. 1) die continu geventileerd kunnen worden en waarin de temperatuur zowel van de ruimte als van de voedingsoplossingen afzonderlijk kunnen worden geregeld.



Foto 2. Trekbakken met witlof in de forceerruimte van AB-DLO.

In iedere forceeruimte zijn 16 PVC trekbakken ( $l \times b \times h = 65 \times 18 \times 25$  cm) opgesteld in 4 groepen van 4 (Foto 2), waarvan iedere groep is aangesloten op een reservoir met 40 l geaëreerde voedingsoplossing die continu wordt gerecirculeerd. In iedere bak kunnen maximaal 50 wortels worden geplaatst. Door middel van een overloop wordt in de bak een niveau van 7 cm voedingsoplossing gehandhaafd. Het systeem van reservoir, trekbak en aan- en afvoerleidingen bevat totaal 75 l voedingsoplossing die in ongeveer 15 minuten volledig wordt gerecirculeerd.

Als basis is Hoagland voedingsoplossing gebruikt met de macronutriënten:  $K^+$  6mM,  $Ca^{2+}$  5mM,  $Mg^{2+}$  2mM,  $NO_3^-$  15mM,  $SO_4^{2-}$  2mM,  $H_2PO_4^-$  1mM, met een EC van  $2mS\ cm^{-1}$ . In een aantal van de uitgevoerde experimenten is de samenstelling van de voedingsoplossing gewijzigd. In het schematisch overzicht van de experimenten zijn die wijzigingen aangegeven (Bijlage 1).

Enkele dagen voor het inzetten in de forceerbakken werden de pennen uit de bewaarcel gehaald en ontdooid. Vervolgens werden ze met koud water gewassen, waarbij de afgestorven bladresten van het eerste groeiseizoen zoveel mogelijk werden verwijderd. De pennen hadden een lengte van 15-18 cm.

Alle rotte pennen werden verwijderd. Tevens werden de pennen min of meer geselecteerd op dikte. Extremen zijn niet gebruikt.

Vervolgens werden ze zo snel mogelijk in de forceerbakken in het donker op een voedingsoplossing gezet. Vanwege de toegankelijkheid zijn steeds 25 pennen per bak opgezet. Aan het begin van het experiment werd steeds 25 g Aliette<sup>®</sup> (werkzame stof: fosethylaluminium, 80%) per reservoir aan de voedingsoplossing toegevoegd ter voorkoming van *Phytophthora*-aantasting. Direct na het inzetten werden de pennen bespoten met een 400x verdunde Ronilan<sup>®</sup>-oplossing (werkzame stof: vinchlozolin, 500 g/l) ter voorkoming van *Sclerotinia*-besmetting.

De circulerende voedingsoplossing werd, afhankelijk van de groei, meestal tweemaal gedurende de trek volledig ververs, eerst na ongeveer 14 dagen. Bij het verversen is niet opnieuw Aliette toegevoegd. Vóór de verversing en bij de eind oogst zijn ter controle monsters van de voedingsoplossing genomen.

De trektemperatuur is in het algemeen aangepast aan de bewaarduur (rijpheid) van de witlofpennen: er is een lagere luchttemperatuur ingesteld naarmate de wortels langer zijn bewaard. De watertemperatuur is ongeveer 3°C hoger aangehouden dan de luchttemperatuur.

Bij één trek is de witlof meestal op een aantal momenten geoogst, waarbij bij de verschillende oogsten een verschillende mate van rood wordt verwacht. Omdat rood zich vooral tijdens bewaring ontwikkelt, is in alle gevallen de helft van de geoogste kroppen gedurende 7 dagen bewaard bij 12°C en dan op dezelfde wijze beoordeeld en bemonsterd. In verband daarmee worden de termen oogst (1, 2, 3 etc.) en bewaar(oogst) (1, 2, 3 etc.) gebruikt.

## 4.1 Oogstmethode

De pen en de krop werden door breken gescheiden. Van de pen werd een klein monster genomen (halverwege de pen werd een plak afgesneden). Van de totale pen en het monster werd het versgewicht bepaald. De krop werd niet geschoond, maar werd blad voor blad afgepeld. Het buitenste blad is blad 1. Elk afzonderlijk blad werd gewogen en beoordeeld op de aanwezigheid van roodverkleuring. Afhankelijk van de vraagstelling zijn afzonderlijke bladeren voor analyse bewaard om een profiel van gehalten van nutriënten in de krop te kunnen vaststellen of zijn bladeren verzameld uit de zone waarin rood kan optreden. Tevens werden de pit en eventuele zijspruiten gewogen.

De afzonderlijke monsters zijn gedroogd bij 70°C, waarna het drooggewicht is bepaald. Vervolgens werd alles gemalen met een kulatti-maler (Type DFH48, Pieterman nv, Schiedam) en bewaard tot verdere analyses.

## 4.2 Analyses

De gemalen drogestof werd een nacht nagedroogd bij 105°C waarna de chemische analyses werden uitgevoerd. Van minimaal 100 mg en maximaal 250 mg werden het Ca-, K- en Mg-gehalte bepaald met behulp van Atomaire Absorbtie Spectrofotometrie (AAS). Deze mineralen werden ook in de voedingsoplossing bepaald. Het totaal N-gehalte in de monsters is bepaald volgens de Kjeldahl- methode.

## 5. Resultaten van de experimenten

### 5.1 Algemeen

De resultaten zullen zoveel mogelijk per onderwerp worden behandeld, waarbij gebruik gemaakt wordt van gegevens uit de diverse experimenten. Vanwege verschillen in uitgangsmateriaal en trekomstandigheden zal per onderwerp steeds naar desbetreffende experimenten worden verwezen.

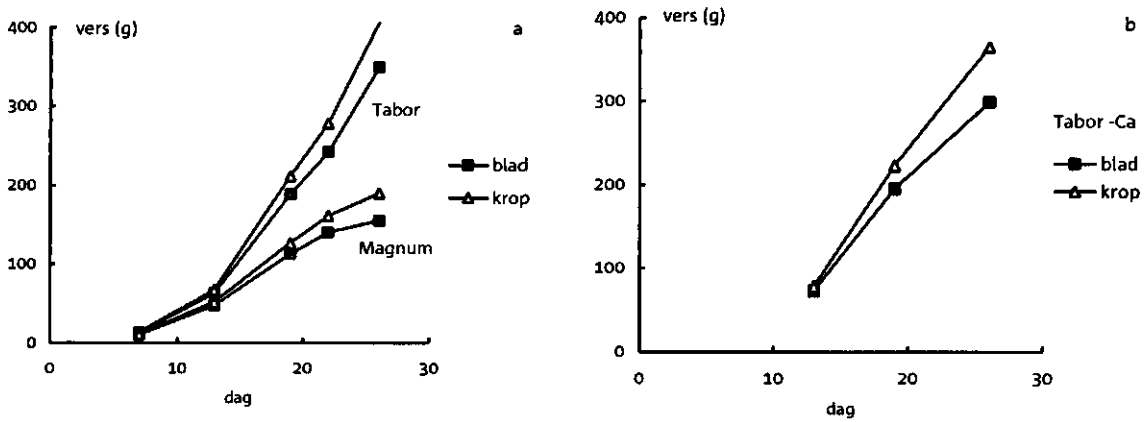
In de eerste experimenten wordt gebruik gemaakt van een roodgevoelig ras (Tabor) en een ras dat weinig gevoelig is voor roodverkleuring (Magnum). Tijdens de trek zijn de eigenschappen als bladgroei, pitontwikkeling, watertransport, ionenopname en gehalten van de verschillende ionen in blad en pen bij die twee rassen gevolgd om een aanwijzing te krijgen voor mogelijke relaties tussen kropeigenschappen en roodgevoeligheid. In de eerste experimenten is weinig rood opgetreden, ook bij Tabor.

In latere experimenten is meer de nadruk gelegd op de directe relatie tussen het optreden van roodverkleuring en kropeigenschappen. Dat was ook mogelijk omdat vanaf experiment 5 steeds roodverkleuring optrad, zij het in zeer verschillende mate. Naast vergelijking van verschillende trekomstandigheden op roodverkleuring en kropeigenschappen, is ook veel aandacht besteed aan de genoemde relatie bij vergelijking van individuele kroppen die binnen een behandeling verschillen in rood vertonen. Opvallend is dat ook bij gebruik van pennen uit eenzelfde partij en onder vergelijkbare trekomstandigheden het optreden van rood zeer verschillend kan zijn bij opeenvolgende trekexperimenten. Daarom is ook een vergelijking gemaakt tussen de verschillende experimenten van de relatie tussen kropeigenschappen en roodverkleuring.

### 5.2 Groei en ontwikkeling

#### 5.2.1 Groei van afzonderlijke bladeren en de pit tijdens kropontwikkeling

Zoals uit Figuur 2a blijkt is de groeisnelheid van Tabor aanmerkelijk groter dan van Magnum. In experiment 1 is bij de oogst na 26 dagen een krop van Tabor gemiddeld 400 g en die van Magnum ongeveer 200 g.



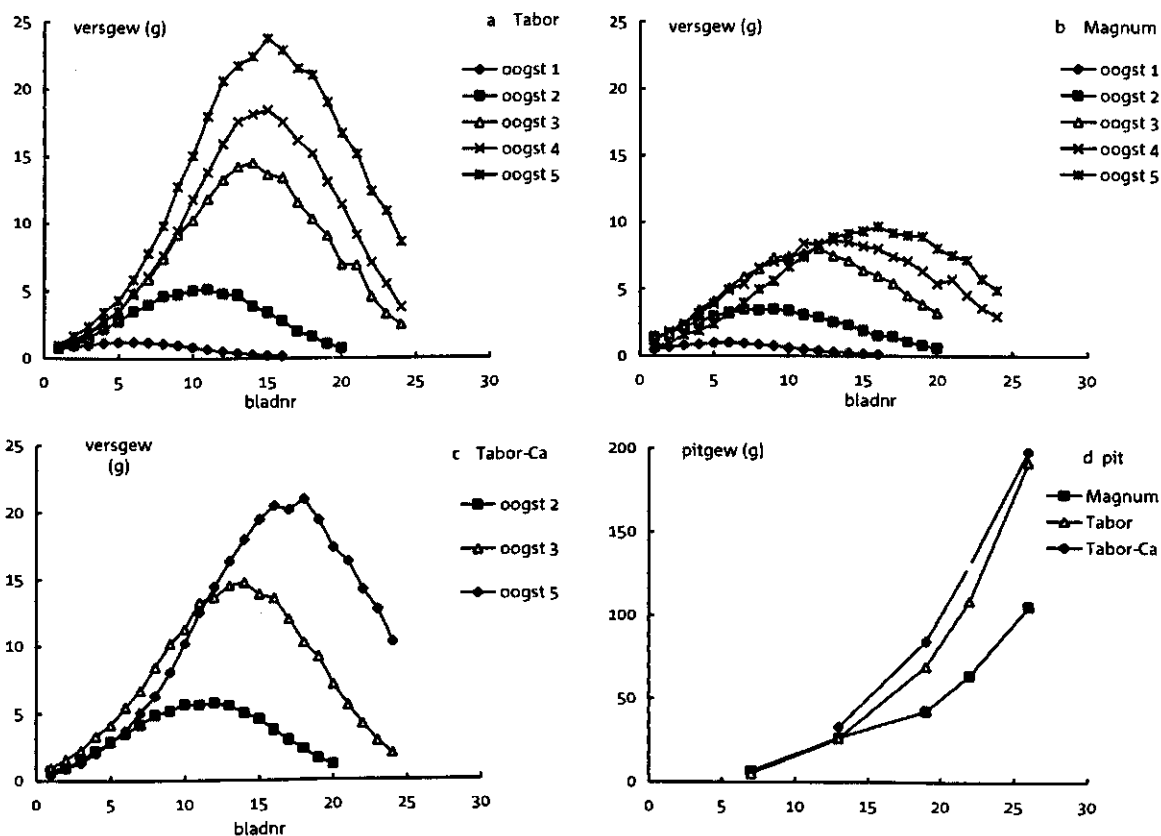
Figuur 2. Versgewichten van de totale krop en de kropbladeren in afhankelijkheid van de trekduur voor cv. Tabor en cv. Magnum op complete voedingsoplossing (a) en cv. Tabor op een voedingsoplossing zonder Ca (b). (Calciumnitraat in de voedingsoplossing is vervangen door kaliumnitraat).

De groeikromme van Magnum suggereert verder dat de eindgrootte van de krop praktisch is bereikt, terwijl Tabor ook na 26 dagen nog lineaire groei vertoont. Kropgroei bij teelt zonder Ca in de voedingsoplossing is aanvankelijk even snel als die bij de complete voeding, maar na 19 dagen blijft de groei achter (Fig. 2b). De voedingsoplossingen bij experiment 1 zijn gemaakt met leidingwater dat enig calcium bevat; samen met de voorraad in de wortel is dit kennelijk voldoende tot minstens 19 dagen. Het pitgewicht van Magnum is weliswaar kleiner dan van Tabor, maar is met betrekking tot het kropgewicht niet aantoonbaar verschillend. Hetzelfde geldt voor Tabor-Ca.

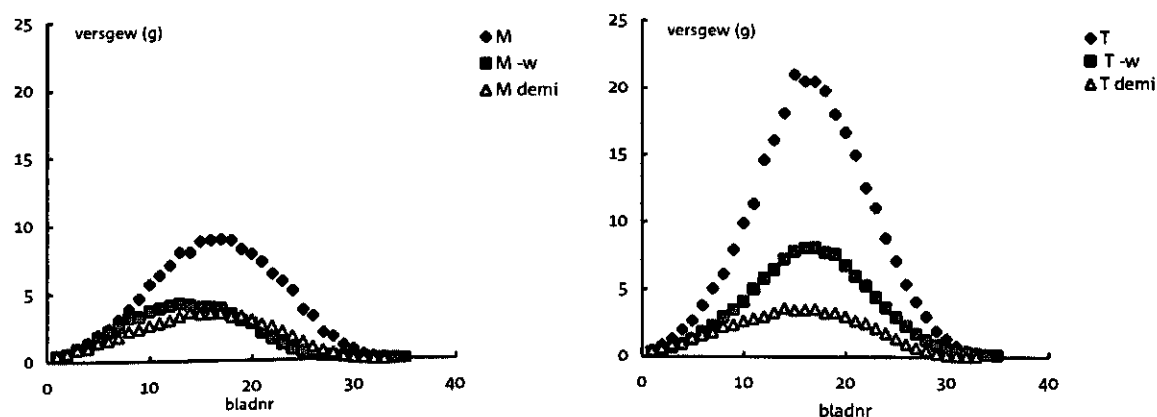
De groei van de individuele bladeren is bepaald door kroppen tijdens de trek periodiek te oogsten en het gewicht van de afzonderlijke bladeren te meten. Figuur 3 toont de meetresultaten van experiment 1.

Bij Tabor, waarvan de groei van de gehele krop op dag 26 (oogst 5) nog maximaal is (zie Fig. 2), nemen alle bladeren tussen de oogsten nog in gewicht toe. Magnum, die een reeds afnemende kropgroei vertoont na 26 dagen (Fig. 2), laat zien dat de binnenste bladeren, vanaf blad 13, nog steeds groeien. De buitenste bladeren tot blad 13 zijn na oogst 3 (19 d) niet meer gegroeid en zijn tussen 22 en 26 dagen zelfs in gewicht afgenomen. Datzelfde is het geval bij Tabor-Ca, die net als Magnum tussen 19 en 26 dagen een afnemende groei te zien geeft. Ook hier is het gewicht van de buitenste 11 bladeren tussen 19 en 26 dagen verminderd, terwijl de binnenste bladeren in die tijd aanmerkelijk in gewicht zijn toegenomen.

In een tweede experiment is het effect van de mineralenvoorziening op kropontwikkeling nogmaals bestudeerd. Naast de standaard trekcondities is in plaats van een volledige voedingsoplossing gedemineraliseerd (demi) water gegeven; in een derde behandeling zijn regelmatig de vanuit de pen groeiende fijne wortels verwijderd, waardoor ionenopname, en misschien ook wel de wateropname wordt verminderd. In Figuur 4 a en b worden de effecten op groei van de individuele bladeren van Magnum en Tabor getoond na een trekduur van 27 dagen (oogst 5).



Figuur 3. Versgewichten van de afzonderlijke bladeren van een krop (a, b en c) en van de pit (d) op verschillende momenten gedurende de trek. De waarden zijn een gemiddelde van 9 kroppen. De 5 oogsten zijn na 7, 13, 19, 22 en 26 dagen trek. Bij Tabor-Ca is Ca in de voedingsoplossing vervangen door K.



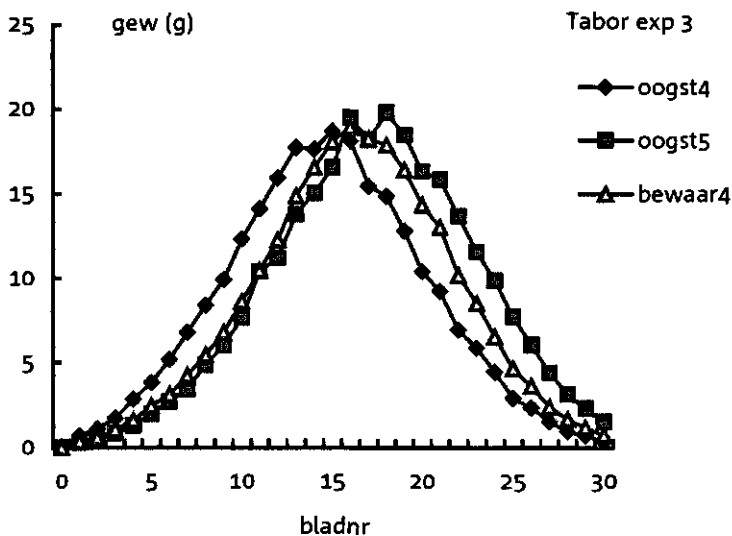
Figuur 4. Versgewichten van de individuele kropbladeren van cv. Magnum (M) en Tabor (T) na 27 trek-dagen op een complete voedingsoplossing, op gedestilleerd water (demi) of waarbij regelmatig de fijne wortels van de pen zijn verwijderd (-w).



Zowel het weglaten van mineralen als het verwijderen van de wortels leidt tot een aanmerkelijke reductie van de bladgroei, bij Magnum in dezelfde mate, bij Tabor is de bladgroei op demi gehalveerd ten opzichte van wortelknippen. Wortelknippen alleen reduceert de bladgroei tot minder dan de helft.

In Fig. 3b is bij cv. Magnum de bladontwikkeling op verschillende oogstmomenten vergeleken. Na oogst 3 nemen de buitenste bladeren in gewicht af, terwijl de binnenste bladeren en de pit in gewicht blijven toenemen. De groei van de binnenste bladeren en de pit is mogelijk door wateropname en stoftransport vanuit de pen en de gewichtsafname van de buitenste bladeren is mogelijk het gevolg van verdamping en ademhaling, maar ook mogelijk veroorzaakt door watertransport van buiten naar binnen. De gewichtstoename van de binnenste bladeren en de gewichtsafname van de buitenste bladeren blijken echter geen onafhankelijke processen te zijn. In experiment 3 is het ras Tabor na 21 (oogst 4) en 25 (oogst 5) trekdagen geoogst. Tevens is een deel van de kroppen van oogst 4 gedurende 4 dagen bij 12°C bewaard (bewaar 4).

De kroppen van oogst 5 en bewaar 4 zijn dus even oud. De kroppen van oogst 5, die steeds op de pen hebben gestaan, zijn slechts weinig zwaarder dan de kroppen van oogst 4. De buitenste ongeveer 15 bladeren van de kroppen van oogst 5 en bewaar 4 hebben echter een geringer gewicht dan die van oogst 4 (Fig. 5). Conclusie: de buitenste bladeren nemen nadat ze volgroeid zijn weer in gewicht af, onafhankelijk van contact met de pen.

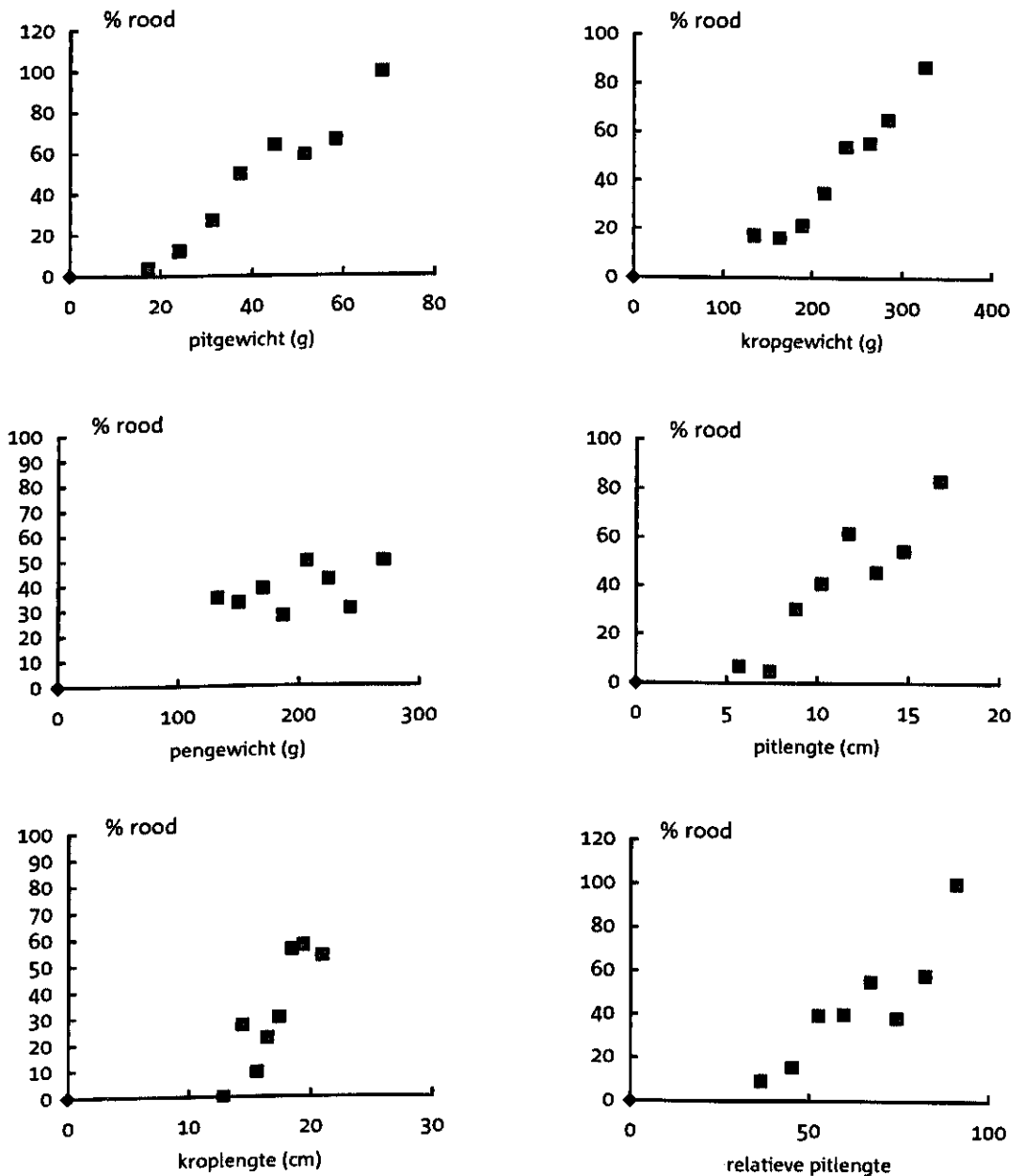


Figuur 5. Vergewichten van de afzonderlijke kropbladeren van cv.Tabor na 21 trekdagen (oogst 4), na 25 trekdagen (oogst 5) en na 4 dagen bewaring van kroppen van oogst 4 (bewaar 4).

De binnenste bladeren en ook de pit nemen tussen dag 21 en dag 25 nog aanmerkelijk toe, zij het bij bewaar 4 in iets mindere mate dan bij oogst 5. De pitgewichten van oogst 4, bewaar 4 en oogst 5 van experiment 3 zijn respectievelijk 48, 60 en 66 gram. Een vergelijking van oogst 4 met bewaar 4 laat zien dat ook bij een afgesneden krop tijdens bewaring transport optreedt van de volgroeide bladeren naar de groeiende jonge bladeren en de pit. Deze herverdeling betreft niet alleen het versgewicht (herverdeling van water), maar ook de drogestof van de buitenste bladeren neemt af ten gunste van de jongere binnenste bladeren. De groei van de jonge bladeren en de pit is bij kroppen op de pen echter iets groter dan bij afgesneden kroppen, zodat die gedeeltelijk afhankelijk blijven van toevoer vanuit de pen.

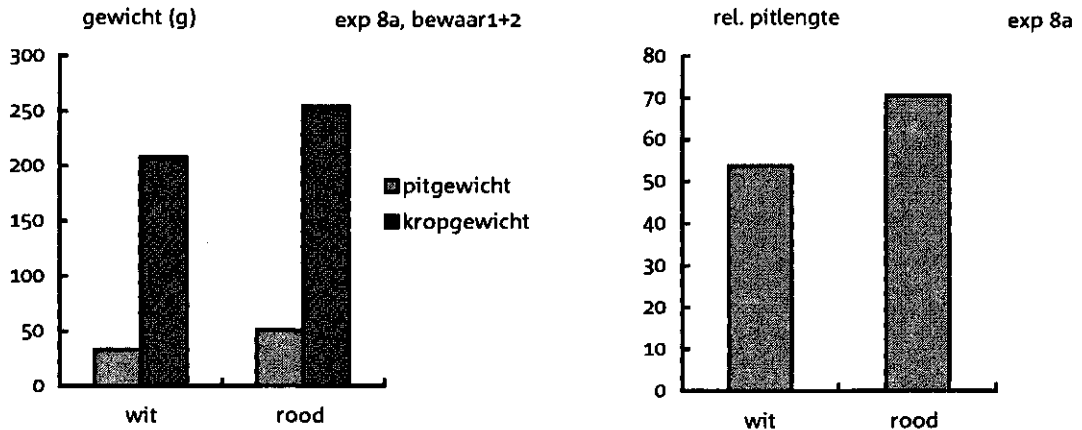
## 5.2.2 Welke kropeigenschappen zijn gerelateerd aan roodverkleuring?

In Figuur 6 wordt een overzicht gegeven van de relatie tussen kropeigenschappen en het optreden van rood. Het gaat daarbij om de kropeigenschappen pitgewicht, kroggewicht, pitlengte, krolengte en relatieve pitlengte. Het geogoste materiaal van exp. 10 is gesorteerd in acht groepen met toenemende waarde van de betreffende kropeigenschap.



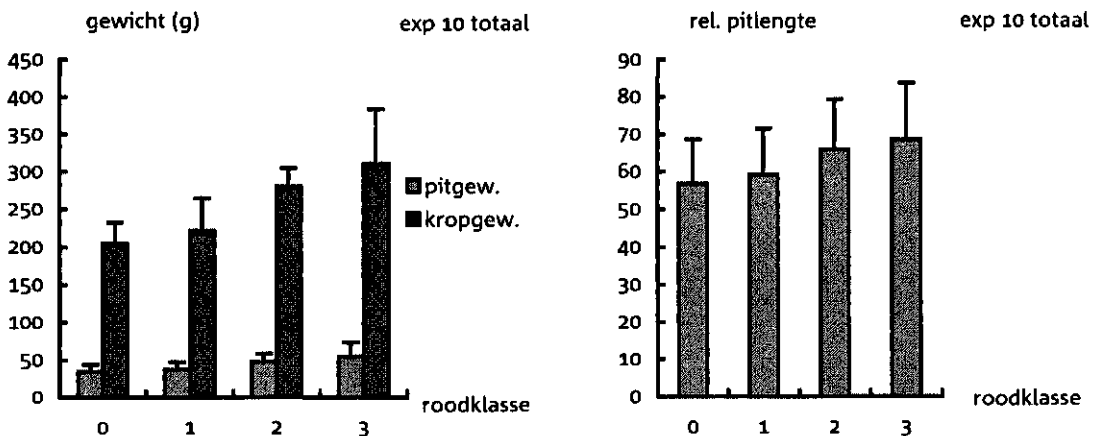
Figuur 6. Relatie tussen het % kroppen met roodverkleuring (%rood) en een aantal kropeigenschappen en het pengewicht.

In alle gevallen is er een positieve relatie tussen de waarde van de kropeigenschap en het percentage rood. Met het gewicht van de pen is in experiment 10 geen relatie met rood gevonden, in experiment 8a echter wel. Ook het omgekeerde gaat op: kropen van een experiment die roodverkleuring vertonen hebben gemiddeld ook een groter krop- en pitgewicht en een grotere relatieve pitlengte (Fig. 7).



Figuur 7. Gemiddeld kropgewicht, pitgewicht en relatieve pitlengte van kropen met en zonder roodverkleuring.

In experiment 10 is de mate van rood in 4 klassen weergegeven: klasse 0 = geen rood; klasse 1 = lichte roodverkleuring, 1 of 2 bladeren met rood; klasse 2 = matige roodverkleuring, 3 of 4 bladeren met rood; klasse 3 = sterke roodverkleuring, meer dan 4 bladeren met rood. Ook hier blijkt een relatie met kropontwikkeling (Fig. 8).



Figuur 8. Gemiddeld kropgewicht, pitgewicht en relatieve pitlengte van kropen met verschillende mate van roodverkleuring.

De variatie is echter zo groot dat de kropeigenschappen van beide groepen een grote mate van overlap vertonen.

## 5.2.3 Invloed van trekomstandigheden op kropeigenschappen en rood

Tabel 1 geeft een overzicht van de invloed van de in de experimenten toegepaste factoren op de verschillende kropeigenschappen.

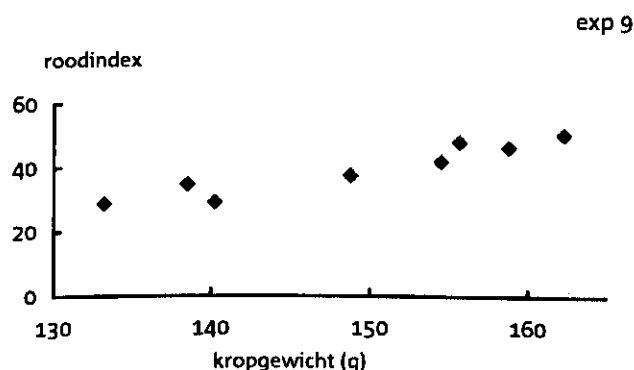
Tabel 1. Invloed van proeffactoren op de verschillende kropeigenschappen.

	Krop gew	Pit lengte	Krop lengte	Rel. pitlengte	Roodindex
RV	+++	+++	+++	+++	+++
Voeding					
EC			+		
Worteltemp.					
Trekduur	+++	+++	+++		+++
Bewaring		+++	+++	+++	+++
Herkomst		+	++	++	

Voeding (d.w.z. verschillende K/Ca-verhoudingen in de voedingsoplossing of, in een ander experiment, wel of geen  $\text{NH}_4$  als stikstofbron), de EC van de voedingsoplossing en de worteltemperatuur hebben geen invloed op de kropontwikkeling, noch op roodverkleuring.

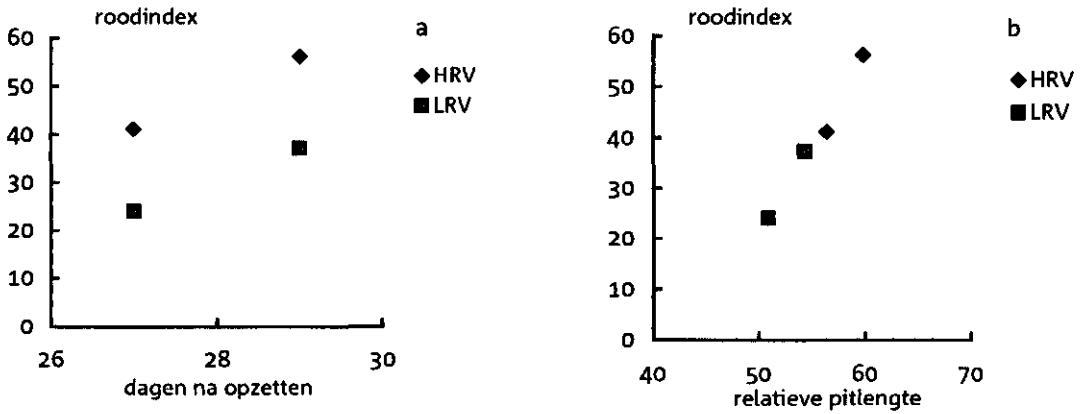
De EC had een gering significante negatieve invloed op de lengte van de krop. Aan tijd gerelateerde factoren als trekduur en bewaring beïnvloeden de kropontwikkeling, zowel als de ontwikkeling van rood. Pennen van twee herkomsten met verschillend stikstofgehalte zijn beperkt significant verschillend met betrekking tot pitlengte, kroplengte en relatieve pitlengte. Dat verschil is zo gering omdat beide herkomsten zijn geoogst bij een ongeveer gelijke relatieve pitlengte en niet op hetzelfde moment. In Figuur 9 is de relatie tussen roodindex en gemiddeld kroggewicht van de beide herkomsten, elk geteeld op 4 voedingsoplossingen, afzonderlijk weergegeven.

Ook hier blijkt dat, hoewel er verschillen in roodindex zijn tussen de verschillende groepen, de roodindex positief gecorreleerd is met het kroggewicht. Hetzelfde geldt voor de relatie tussen rood en pitlengte, kroplengte, relatieve pitlengte en pitgewicht.



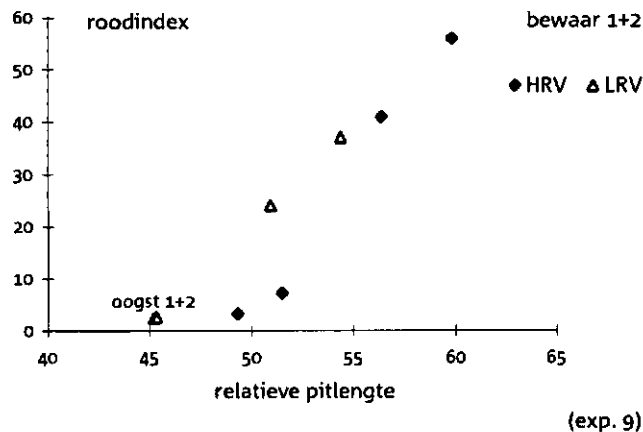
Figuur 9. Relatie tussen kroggewicht en roodindex. Verschillende kroggewichten zijn verkregen door gebruik van pennen met hoog en laag N-gehalte, verschillende K/Ca-verhouding in de voedingsoplossing en wel of geen  $\text{NH}_4$ -voeding.

De relatieve luchtvochtigheid tijdens de trek is sterk positief gecorreleerd met zowel verschillende aspecten van de kropontwikkeling als met de roodindex. Figuur 10a laat zien dat zowel bij de eerste als de tweede bewaarogst de kropen die bij een hogere relatieve luchtvochtigheid (HRV) zijn getrokken aanmerkelijk meer rood vertonen.



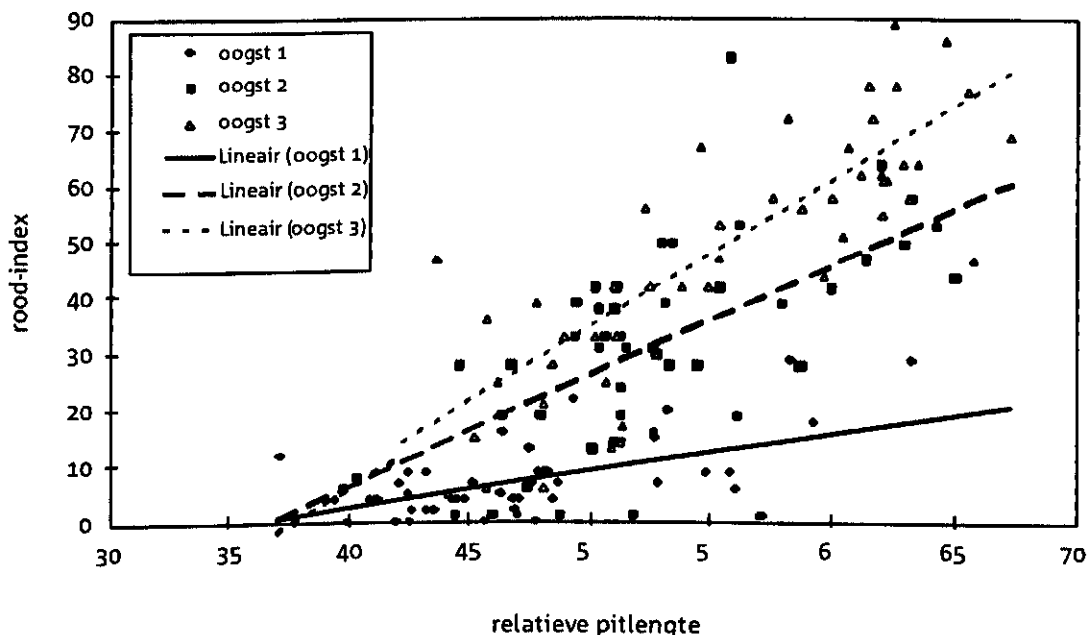
Figuur 10. a. Roodindex na 21 en 22 dagen trek bij hoge en lage relatieve luchtvochtigheid en daarna 7 dagen bewaring. b. Relatie tussen relatieve pitlengte en de roodindex van dezelfde kropen als bij a.

De invloed van de relatieve luchtvochtigheid op rood is echter volledig te verklaren door het effect op de ontwikkeling van de krop. Wordt de roodindex van HRV- en LRV-kropen gerelateerd aan de relatieve pitlengte dan blijken verschillen in roodindex volledig te verklaren door verschillen in relatieve pitlengte (Fig. 10b). Die conclusie is geldig als alleen naar de bewaarde kropen van experiment 10 wordt gekeken. Worden ook de kropen van oogst 1 en oogst 2 (vóór de bewaring) erbij betrokken dan blijken de relatieve pitlengtes van oogst 1 en 2 van de bij hoge relatieve luchtvochtigheid geteelde kropen dezelfde te zijn als die van bewaar 1 van de lage luchtvochtigheid (d.i. oogst 1 na 6 dagen bewaring bij 12°C (Fig. 11).



Figuur 11. Relatie tussen relatieve pitlengte en roodindex bij twee oogstmomenten en na 7 dagen bewaring (HRV, LRV = hoge en lage relatieve vochtigheid).

Toch is de roodindex van oogst 2 aanmerkelijk lager dan van bewaar 1, ondanks de gelijke relatieve pitlengte. Dat houdt in dat naast mogelijke effecten van kropontwikkeling op rood een aan tijd gerelateerde factor een rol speelt. Die suggestie wordt bevestigd door een op het PAV te Lelystad uitgevoerd experiment met het ras Rinof. Van een partij wortels is op drie momenten uit verschillende bakken geoogst en de mate van rood (roodindex) per monster uitgezet tegen de relatieve pitlengte ervan (Fig. 12).



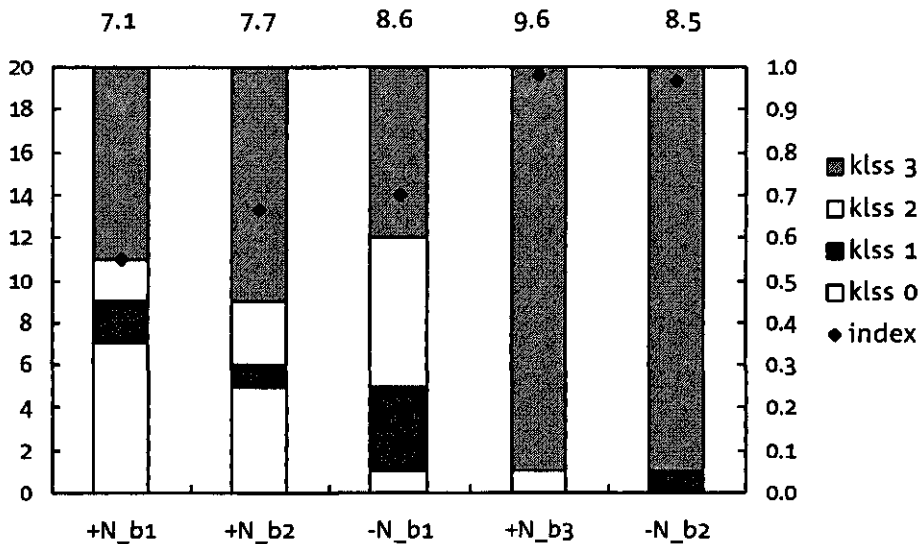
Figuur 12. Lineaire regressies van de relatie tussen de relatieve pitlengte en de roodindex op drie oogstmomenten van één trek van cv. Rinof.

Geconcludeerd kan worden dat hoewel er een lineair verband is tussen roodindex en relatieve pitlengte, dat verband verschillend is voor de verschillende oogstmomenten.

In experiment 14 zij de relaties tussen rood, kropontwikkeling en oogstmoment verder uitgewerkt. Er zijn twee partijen Tabor-wortels gebruikt met verschillend N-gehalte (resp. 1 en 1.5 %), en daardoor een verschillende ontwikkelingsnelheid. De kroppen zijn zodanig geoogst dat zowel gelijke oogstmomenten als gelijke ontwikkelingsstadia (rel. pitlengte) aanwezig zijn.

In Figuur 13 is het aantal kroppen per roodklasse (0 t/m 3) zowel als de roodindex van de verschillende behandelingen weergegeven (+N = hoog N, -N = laag N; b1, b2 en b3 zijn bewaar oogsten 1, 2 en 3). +N\_b1 is na 20 dagen geoogst, +N\_b2 en -N\_b1 na 22 dagen, en +N\_b3 en -N\_b2 na 24 dagen. Boven de kolommen is de pitlengte aangegeven van de verschillende behandelingen. De roodindex na 7 dagen bewaring blijkt af te hangen van het oogstmoment en bij -N niet van de pitlengte.

frequentie van roodklassen (linker as) en daarmee berekende roodindex (rechter as)

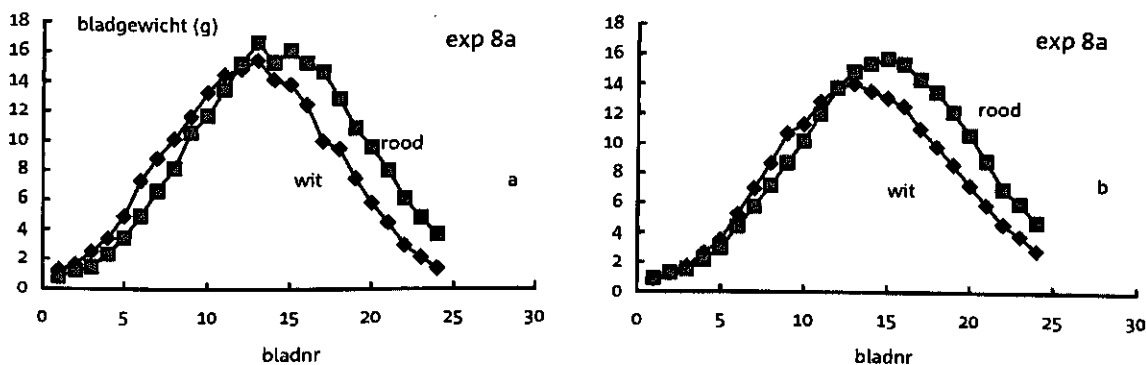


Figuur 13. Aantallen kropen verdeeld over 4 roodklassen (linker as) en de daarmee berekende roodindex (rechter as). Boven de kolommen is de gemiddelde pitlengte (cm) per behandeling weergegeven.

## 5.2.4 De relatie tussen kropontwikkeling en rood, mogelijke mechanismen

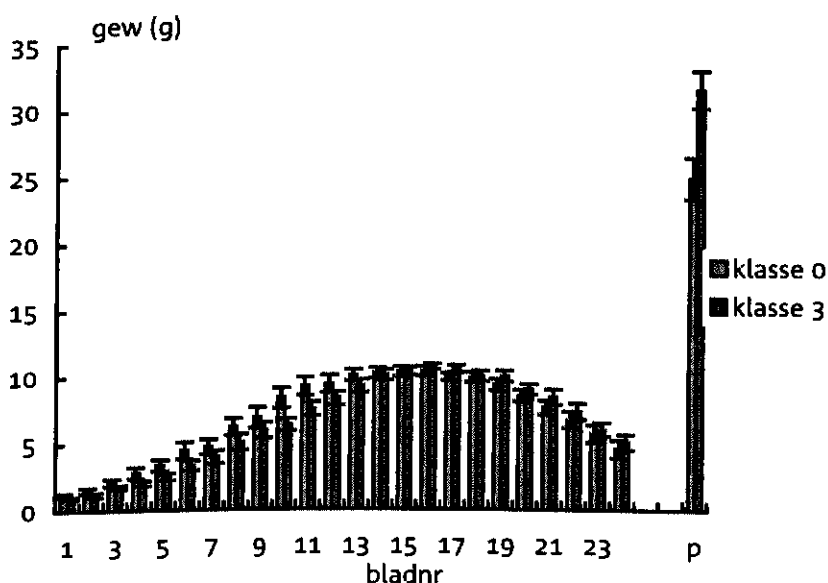
Uit de experimenten blijkt dat er een relatie bestaat tussen een kropeigenschap die kenmerkend is voor de ontwikkeling van de krop en de mate van roodverkleuring. Omdat veel van die eigenschappen, zoals kropplengte, kropgewicht, pitlengte, pitgewicht, relatieve pitlengte een sterke correlatie met elkaar vertonen zowel als met het optreden van rood is een oorzakelijkheid tussen rood en een kropeigenschap moeilijk aan te geven. Periodieke meting van het gewicht van de individuele bladeren en de pit tijdens de trek laat zien dat vóór de oogst en ook tijdens de bewaring de volgroeide bladeren in gewicht afnemen en de binnenste jongste bladeren en de pit in gewicht toenemen (Fig. 3b, 5).

De groei van het binnenste deel van de krop gaat daarbij ten koste van de volgroeide bladeren, die tevens het meest gevoelig blijken voor roodverkleuring. Deze herverdeling van materie, die ook tijdens de bewaring van de afgesneden krop doorgaat, is een mogelijke oorzaak van rood maar kan ook worden gezien als een algemene eigenschap van groeiende kropen, dus als een aspect van kropontwikkeling. Rode kropen vertonen echter wel een sterkere herverdeling van bladgewicht dan witte kropen van eenzelfde behandeling, wat blijkt uit Figuur 14.



Figuur 14. Gemiddelde versgewichten van de afzonderlijke bladeren van kroppen van cv. Tabor met of zonder roodverkleuring direct bij de oogst (a) en na 7 dagen bewaring bij 12°C (b).

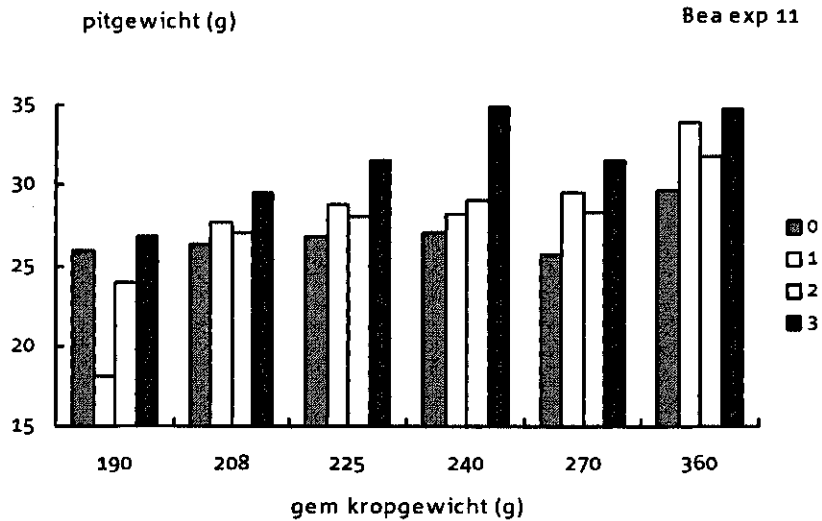
Van de 10 kroppen van oogst 2 van stikstofrijke pennen die gegroeid zijn bij hoge relatieve vochtigheid hebben de 5 rode kroppen lichtere buitenste bladeren en zwaardere binnenste bladeren (Fig. 14a). Datzelfde blijkt bij de 30 rode en 30 witte kroppen van bewaar 2 (Fig. 14b). Ook blijkt dat uit Figuur 15 waar roodklasse 0 (wit) en roodklasse 3 (sterk rood) worden vergeleken van cv. Bea na 7 dagen bewaring (exp. 11).



Figuur 15. Gemiddelde versgewichten van de afzonderlijke bladeren en van de pit van cv. Bea. Een onderscheid is gemaakt tussen kroppen met veel roodverkleuring (klasse 3) en kroppen zonder roodverkleuring (klasse 0), die overigens onder dezelfde omstandigheden zijn getrokken.



Niet alleen het gewicht van de binnenstebbladeren, maar ook het pitgewicht van de rode krop-  
pen is significant groter dan van de witte. De relatie tussen het pitgewicht en de mate van rood  
is in experiment 11 nader uitgewerkt. Omdat pitgewicht en kropgewicht samenhangen zijn alle  
kroppen van exp. 11 op grond van hun gewicht ingedeeld in evengrote groepen met  
gemiddelde gewichten van 190, 208, 225, 240, 270 en 360 gram. Binnen elke groep van kroppen  
blijkt een sterke relatie tussen pitgewicht en mate van rood (klasse 0,1,2 en 3), Figuur 16.

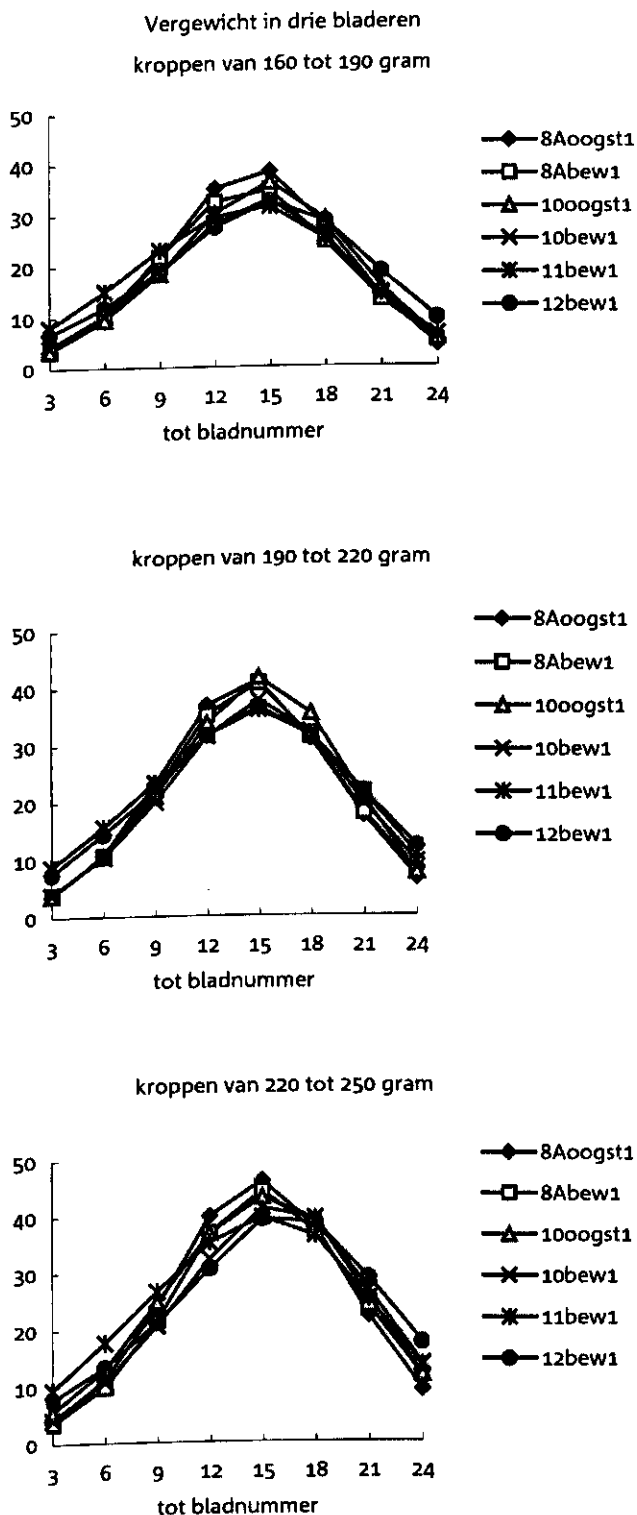


Figuur 16. Pitgewicht in afhankelijkheid van de mate van roodverkleuring (roodklasse 0 t/m 3). De kroppen zijn op grond van hun gewicht ingedeeld in groepen waarvan het gemiddelde gewicht op de x-as is aangegeven.

## 5.2.5 Toetsing van de hypothese dat herverdeling van materie binnen de krop roodverkleuring veroorzaakt

Uit het voorgaande blijkt een sterke correlatie tussen herverdeling van materie en het optreden van rood. Anderzijds zijn grote verschillen in roodverkleuring geconstateerd tussen de verschillende experimenten, ondanks vergelijkbare trekomstandigheden en de oogststadi. Een vergelijking van het ras Tabor laat zien dat in de eerste experimenten geen of weinig rood is opgetreden; in experimenten 8, 8a, 9, en 10 waren rode en witte kroppen in ongeveer gelijke aantallen aanwezig, terwijl in de experimenten 11, 12, 13 en 14 de roodverkleuring zo ernstig was dat de gebruikelijke klasse-indeling niet mogelijk was.

Toch is er bij die verschillende experimenten op vergelijkbare momenten of ontwikkelingsstadi (relatieve pitlengte) geogost. Hieruit mag geconcludeerd worden dat hoewel binnen één experiment ontwikkelingsstadium en rood gecorreleerd zijn, dat dit voor een vergelijking tussen experimenten niet opgaat.



Figuur 17. Bladgewichten van kroppen van experimenten 8a, 10, 11 en 12. De kroppen zijn ingedeeld in drie gewichtsklassen. Bij exp. 8a en 10 trad weinig roodverkleuring op, kroppen van exp. 11 en 12 vertoonden veel roodverkleuring.

In Figuur 17 is een overzicht gegeven van de versgewichten van de bladeren van kroppen van de vroege oogst en bewaring van exp. 8a en 10, waar zeer weinig rood in aanwezig was en van exp. 11 en 12 met zeer sterke roodverkleuring. De som van drie opeenvolgende bladeren is daarbij de eenheid. Om tot een betere vergelijking van de verdeling van het kroggewicht over de diverse bladeren te komen zijn de kroppen verdeeld in 3 groepen met een gelijk gewichtsinterval. Kroppen van het ras Tabor van verschillende experimenten behorend tot eenzelfde gewichtsgroep vertonen eenzelfde verdeling van het gewicht over de bladeren, ondanks grote verschillen in roodindex.

De binnen één experiment gevonden relatie tussen herverdeling van materie en mate van rood is kennelijk sterk afhankelijk van het trekmoment (dus de bewaarduur) en de omstandigheden waaronder de wortels zijn geteeld.

In exp. 12 is een vergelijking gemaakt tussen bewaring van afzonderlijke kroppen en intacte wortel/krop-combinaties, beide gedurende 7 dagen bij 12°C. Bij de intacte plant zijn de binnenste bladeren en de pit voor hun groei minder afhankelijk van de oudere bladeren, omdat ze water en bouwstoffen ook uit de wortel kunnen halen. Deze bewaring "op de pen" leidde tot minder rood (Tabel 2), wat een ondersteuning is voor de hypothese dat herverdeling rood veroorzaakt.

Tabel 2. Invloed van bewaring op rood en pitlengte.

Tabor		Rood	Pitlengte	Bea		Rood	Pitlengte
28 april	normaal	9.35	7.5	29 april	normaal	2.8	7.2
	op pen	7.65	7.9		op pen	1.7	6.1
	folie	6.6	7.15		folie	1.75	7.15
1 mei	normaal	16.55	9.5	2 mei	normaal	5.7	10.4
	op pen	7.15	9		op pen	4.6	11.7
	folie	9.35	7.95		folie	1.55	10.2

## 5.2.6 Relatieve pitlengte

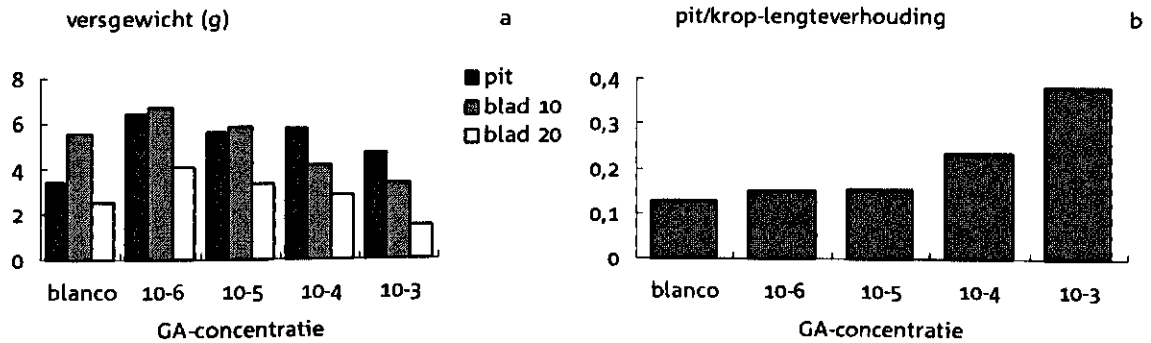
In de praktijk speelt de relatieve pitlengte (dat is de verhouding tussen de pitlengte en de krop-lengte) een belangrijke rol bij de bepaling van het oogstmoment. In het verleden is een relatieve pitlengte van 50% als een veilige grens beschouwd, waarbij echter op de productie moest worden ingeleverd. Omdat roodverkleuring vooral na bewaring optreedt en door aangepaste bewaartechnieken het optreden van rood enigzins is teruggedrongen, wordt nu een relatieve pitlengte van 60% aanvaardbaar geacht.

Het is echter niet duidelijk of de relatie tussen relatieve pitlengte en rood oorzakelijk is, of dat rood een ontwikkelingsfenomeen is en daardoor samenhangt met een groot aantal krop-eigenschappen die ontwikkelingsafhankelijk zijn, waaronder de (relatieve) pitlengte.

Giberellinen (GA's) zijn een groep plantenhormonen die chemisch sterk verwant zijn en in volgorde van hun ontdekking zijn genummerd. GA's spelen onder andere een rol bij de stengelstrekking, of in witloftermen op de pitstrekking. Door toepassing van een mengsel van GA4 en GA7 is in experiment 5 en 6 de getracht de ontwikkeling van de krop en daarmee het optreden

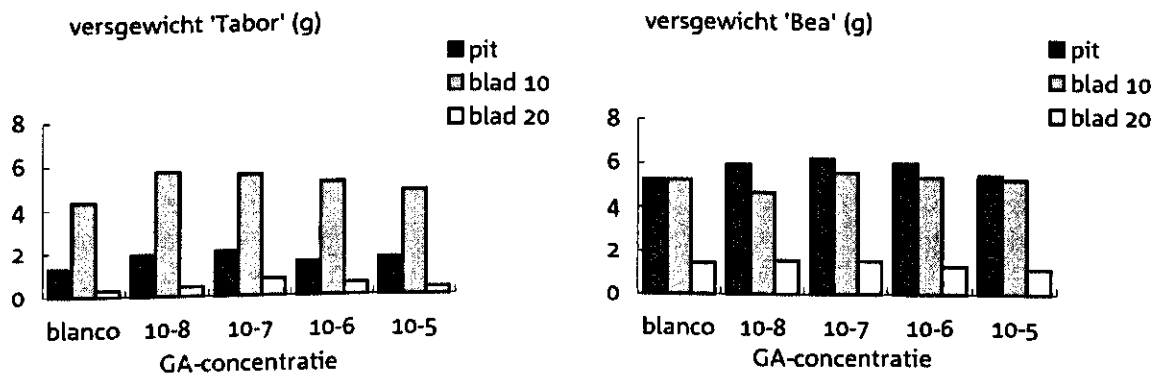
van rood te beïnvloeden. Aan 6 pennen per behandeling is in experiment 5 bij het ras Magnum na 12 dagen trek 0,  $10^{-3}$ M,  $10^{-4}$ M,  $10^{-5}$ M en  $10^{-6}$ M GA4/7 toegevoegd aan de voedingsoplossing. Na 21 dagen trek is geoogst.

Toediening van GA stimuleert zowel de groei van de bladeren als van de pit (Fig. 18a), maar de invloed op de pitgroei is groter.



Figuur 18. a. Invloed van de concentratie GA4/7 in de voedingsoplossing op het versgewicht van bladeren en de pit. b. Invloed van de concentratie GA4/7 in de voedingsoplossing op de relatieve pitlengte.

Het optimum voor het kroggewicht is bij  $10^{-6}$ M GA4/7. Ter illustratie daarvan zijn in Figuur 18a de gewichten van blad 10, blad 20 en van de pit gegeven. De grootste relatieve pitlengte werd gemeten bij  $10^{-3}$ M GA4/7. Ondanks een aanmerkelijke stimulering van de relatieve pitlengte (Fig. 18b) trad geen roodverkleuring op. Omdat bij experiment 5 bij de laagste concentratie GA4/7 het hoogste kroggewicht is gemeten, zijn in experiment 6 bij de rassen Bea en Tabor nog lagere concentraties toegediend. Naast een blanco zijn  $10^{-5}$ M,  $10^{-6}$ M,  $10^{-7}$ M en  $10^{-8}$ M GA4/7 toegevoegd aan de voedingsoplossing. Per behandeling en per ras zijn 6 wortels opgezet. Zowel bij Bea als bij Tabor wordt bij de oogst na 22 trekdagen het hoogste kroggewicht bereikt bij toevoeging van  $10^{-7}$ M GA 4/7 in de voedingsoplossing (Fig. 19).



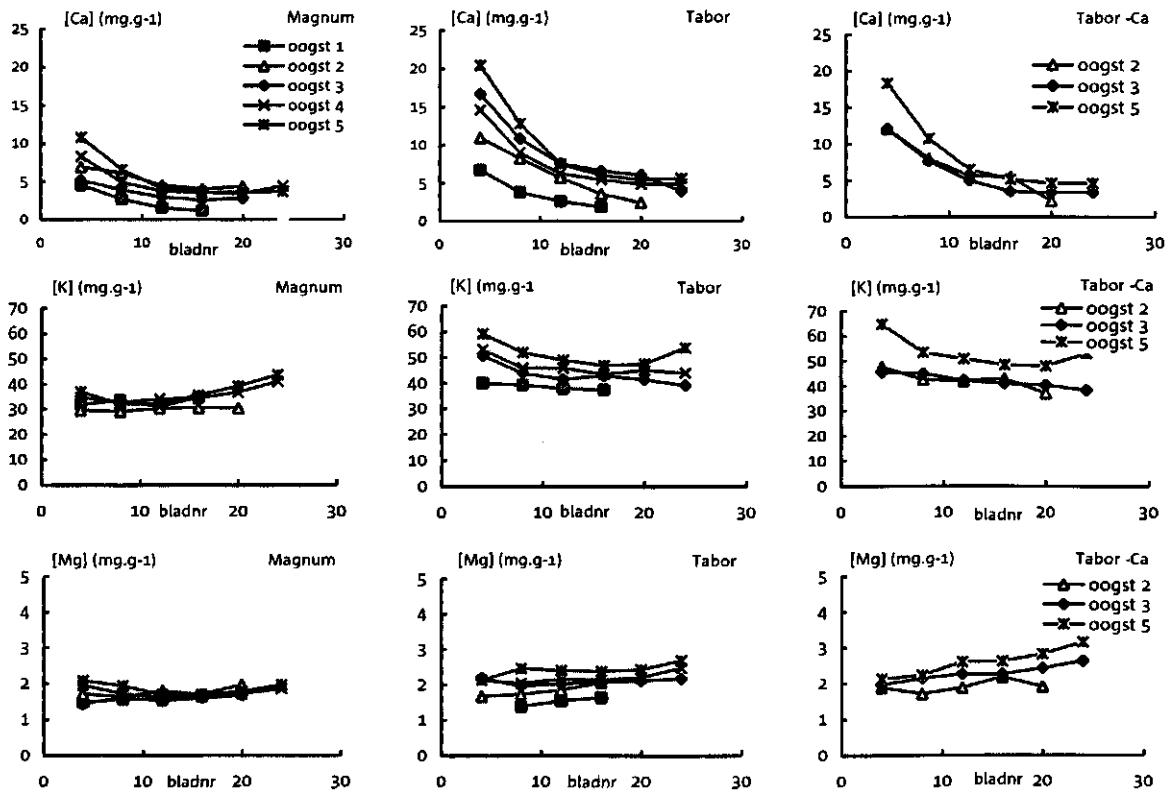
Figuur 19. Invloed van het toedienen van GA4/7 aan de voedingsoplossing op het versgewicht van bladeren en de pit van cv. Tabor (a) en Bea (b).

Ook het pitgewicht is het grootst bij de groep met  $10^{-7}$ M GA 4/7. De pitontwikkeling was bij Bea aanmerkelijk groter dan bij Tabor. Ook bij experiment 6 is geen roodverkleuring opgetreden.

## 5.3 Mineralengehalten en -transport

### 5.3.1 Gehalten aan Ca, K en Mg in de bladeren

Van het geoogste materiaal van experiment 1 zijn in bladnummers 4, 8, 12, 16, 20 en 24 analyses uitgevoerd. Een overzicht van de K-, Ca- en Mg-gehalten in de verschillende bladeren bij de verschillende oogsten en zowel voor Magnum als voor Tabor wordt gegeven in Figuur 20.



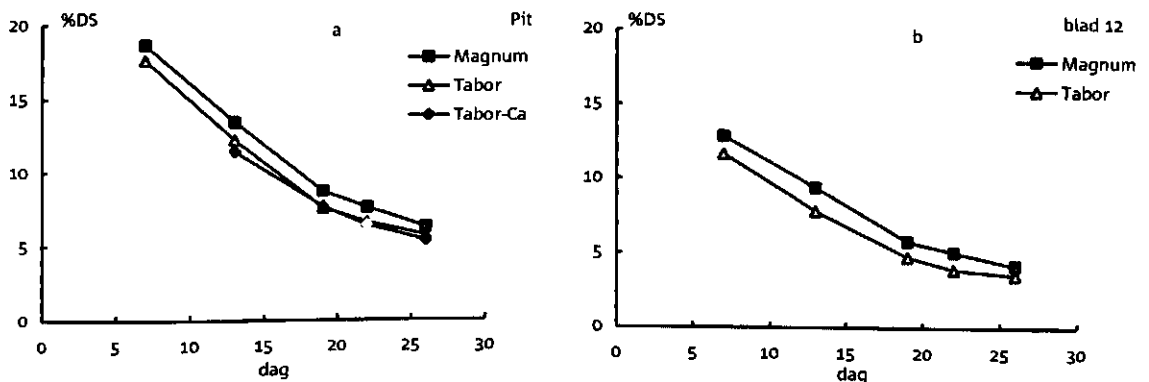
Figuur 20. Ca, K- en Mg-concentraties (mg g droog-1) in de verschillende krop- bladeren op verschillende momenten tijdens de trek. De oogsten 1, 2, 3, 4 en 5 zijn na resp. 7, 13, 19, 23 en 27 dagen trek.

De calciumgehalten in de bladeren zijn bij Tabor iets hoger dan bij Magnum, de calciumgehalten in bladeren van Tabor-Ca zijn enkel bij oogst 5 (dag 26) een fractie lager dan bij de goed van calcium voorziene Tabor. De calciumgehalten in de drogestof nemen in het algemeen toe tijdens de trek, het meest echter in de buitenste bladeren. De opname van calcium uit de voedingsoplossing wordt bepaald door de ontwikkeling van nieuwe wortels aan de pen, een ontwikkeling die pas na een week goed op gang komt. Vandaar dat de calciumconcentratie in de weefsels na de eerste week toeneemt. Transport van calcium in de plant heeft voornamelijk plaats via het xyleem, herverdeling van calcium via het floeem is nauwelijks mogelijk vanwege de geringe calciumconcentratie in het floeemsap. De verdeling van calcium binnen een plant via het xyleem is daarmee sterk afhankelijk van de verdeling van water. Watertransport naar de niet verdampende binnenste bladeren is enkel bepaald door de volumetoename door groei.

De binnenste bladeren hebben op één oogstmoment dan ook identieke gehalten. De buitenste bladeren verdampen water, waardoor ook al is er geen groei meer de aanvoer van calcium door blijft gaan. Vandaar dat de buitenste bladeren een hoger calciumgehalte hebben dat in de tijd blijft stijgen, omdat calcium binnen de plant niet kan worden herverdeeld (Fig. 20).

Zowel kalium als magnesium zijn vrij gelijkmatig verdeeld over de krop. Vooral bij Tabor neemt het gehalte in de krop toe tijdens de trek.

In Figuur 20 zijn de gehalten van Ca, K en Mg in de drogestof weergegeven. Zoals blijkt uit Figuur 21 neemt het % drogestof van zowel blad als pit aanmerkelijk af.



Figuur 21. Drogestofgehalten van de pit (a) en van een blad (b) van cv. Tabor en Magnum op verschillende momenten tijdens de trek.

Toename van de gehalten in de drogestof tijdens de trek is te verklaren uit gelijkblijvende gehalten op basis van versgewicht en verlaging van het percentage drogestof.

### 5.3.2 Vormen van calcium

Analyse van calcium heeft plaats na extractie van het gedroogd en gemalen materiaal. Calcium komt zowel in gebonden vorm (uitwisselingsplaatsen aan celwanden, gebonden aan pectines, kristallijn als calciumzouten van organische zuren) als in de vorm van het vrij ion. Fysiologisch is waarschijnlijk enkel het vrije calcium van belang. Het aan pectines gebonden calcium is in belangrijke mate bepalend voor de mechanische celwandeigenschappen. De hoeveelheid vrij calcium is gemeten na uitpersen van bladeren en vergeleken met de totale hoeveelheid calcium in hetzelfde monster. Hetzelfde is gedaan voor kalium en magnesium.

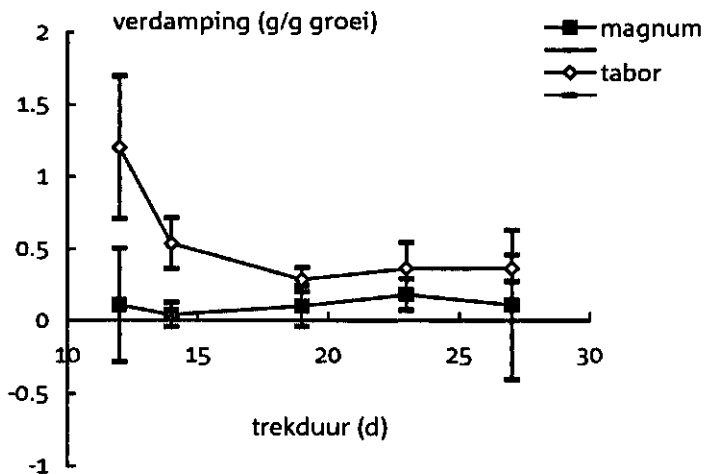
In Tabel 3 is het percentage vrij K, Mg en Ca gegeven in pit en bladeren van verschillende ouderdom bij het ras Magnum dat is getrokken met en zonder calcium in de voedingsoplossing. Vrij calcium neemt af met de bladleeftijd en is ook in verhouding tot het totaal minder aanwezig in bladeren van kropen die zonder calcium in de voedingsoplossing zijn gegroeid.

Tabel 3. Percentage vrij K, Mg en Ca in diverse onderdelen van cv. Magnum geteeld met (Magnum + Ca) en zonder (Magnum - Ca) Ca in de voedingsoplossing.

Magnum + Ca	K	Mg	Ca
pit	68.4	60.3	30.6
blad 8	57.0	59.1	32.5
blad 14	55.8	64.5	51.0
blad 20	56.8	64.0	67.01
Magnum - Ca			
pit	69.4	65.0	36.5
blad 8	55.9	53.8	16.6
blad 14	61.8	69.8	23.5
blad 20	49.0	57.6	40.7

### 5.3.3 Transpiratie

Acht dagen na begin van de trek bij experiment 2 zijn 32 pennen in de trekcel op afzonderlijke maatbekers gezet. Door periodieke weging is zowel de gewichtsgroei van pen+krop als de wateropname bepaald.

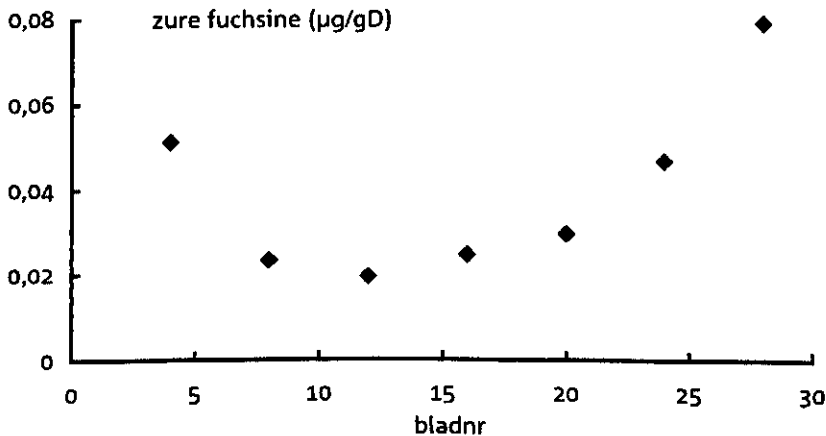


Figuur 22. Verdamping per gram versgewichttoename voor de rassen Tabor en Magnum op verschillende momenten gedurende de trek. De grote standaardafwijking na 7 dagen trek ontstaat door de geringe groei en verdamping in dat stadium.

Daarmee kan een onderscheid gemaakt worden tussen wateropname voor volumegroei en wateropname voor verdamping. In Figuur 22 is de verdamping per gram groei weergegeven voor de rassen Tabor en Magnum, die op dit punt sterk verschillen. De nauwkeurigheid van de getallen wordt sterk bepaald door de snelheid van groei en verdamping en is gering aan het begin van het experiment door de geringe verdamping en aan het eind door de geringe groei-

snelheid van Magnum. Duidelijk is dat de transpiratie per gram groei bij Tabor aanmerkelijk groter is dan voor Magnum, en ongeveer 0.4 g/g bedraagt, terwijl Magnum minder dan de helft daarvan verdampt.

De verdeling van watertransport naar de verschillende bladeren is gekwantificeerd door gedurende drie dagen (dag 22-dag 25 na opzetten) een aantal pennen in de trekcel te plaatsen in bekeerglazen waarin een oplossing met 1 g/l zure fuchsine. Van de onderzijde van de pen is een plakje afgesneden om de opname te vergemakkelijken.



Figuur 23. Concentratie van de kleurstof zure fuchsine in de verschillende bladeren van witlofkroppen na 3 dagen opname uit een oplossing met 1mg/l zure fuchsine.

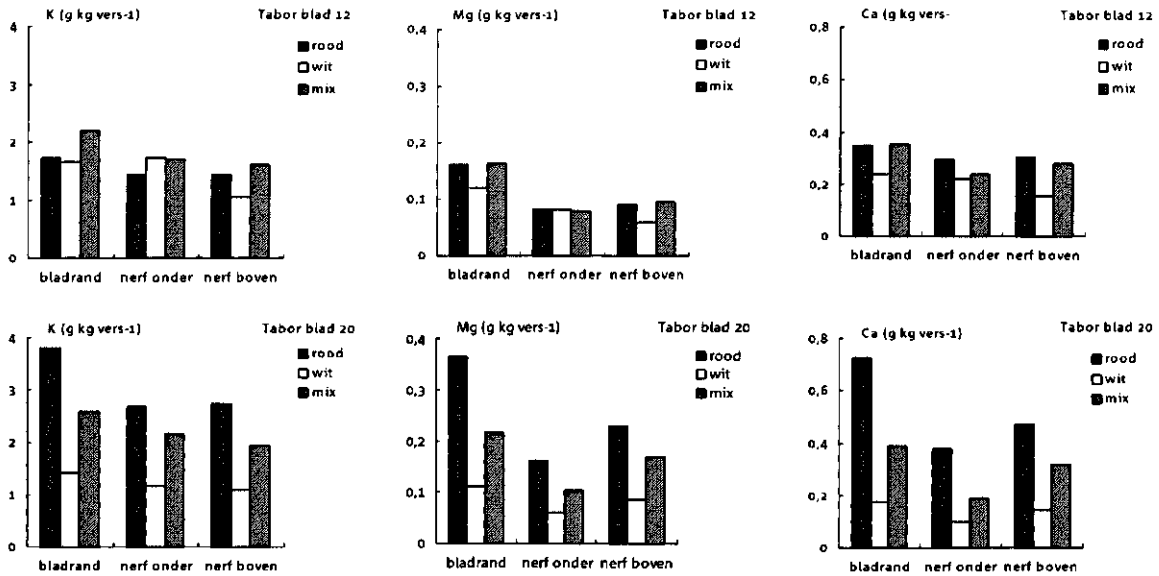
Zure fuchsine is onschadelijk voor de plant en hecht zich nauwelijks aan vaatwanden en gaat dus onbelemmerd met de waterstroom mee naar de verschillende bladeren. In Figuur 23 is de concentratie zure fuchsine in de diverse bladeren weergegeven als maat voor de hoeveelheid water die in die drie dagen door het blad wordt opgenomen. Omdat de relatieve volumetoename van de jongste bladeren groter is neemt de concentratie toe met het bladnummer vanaf blad 12. Bladeren ouder dan blad 12 groeien niet maar hebben toch een hoger gehalte aan zure fuchsine vanwege hun verdamping. De waarnemingen met zure fuchsine ondersteunen de verklaring die gegeven is voor de hogere calciumgehalten in de buitenste bladeren.

### 5.3.4 Mineralengehalten in de bladeren en optreden van rood

Bij exp. 4 trad bij de derde oogst, na 26 trekdagen, bij een aantal kroppen van Tabor roodverkleuring op. Getracht is een verband te leggen tussen optreden van rood en lokale mineralengehalten. Daartoe zijn de gehalten aan K, Ca en Mg bepaald in bladnummers 4, 8, 12, 16 en 20 van drie kroppen met duidelijk rood, van drie kroppen zonder rood en van drie kroppen met slechts een geringe mate van rood. Omdat rood vooral optreedt in het basale deel van de bladnerf, zijn de bladeren voor analyse gesplitst in drie delen: de bladrand en het bovenste en onderste deel van de nerf.

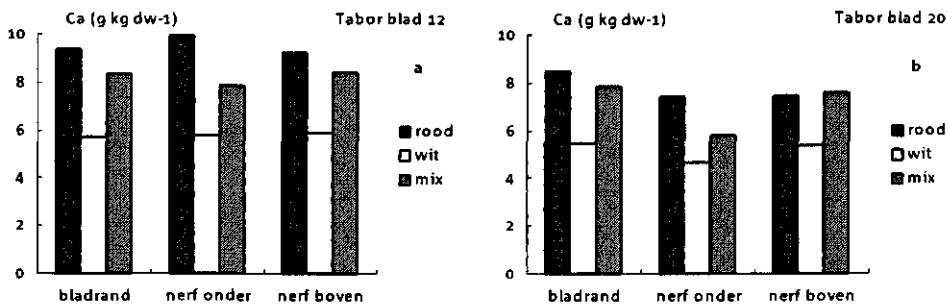
De gehalten aan K, Ca en Mg zijn zowel in vers als in droog materiaal hoger in de sterk en gering rode kroppen. Dat geldt voor alle geanalyseerde bladnummers.





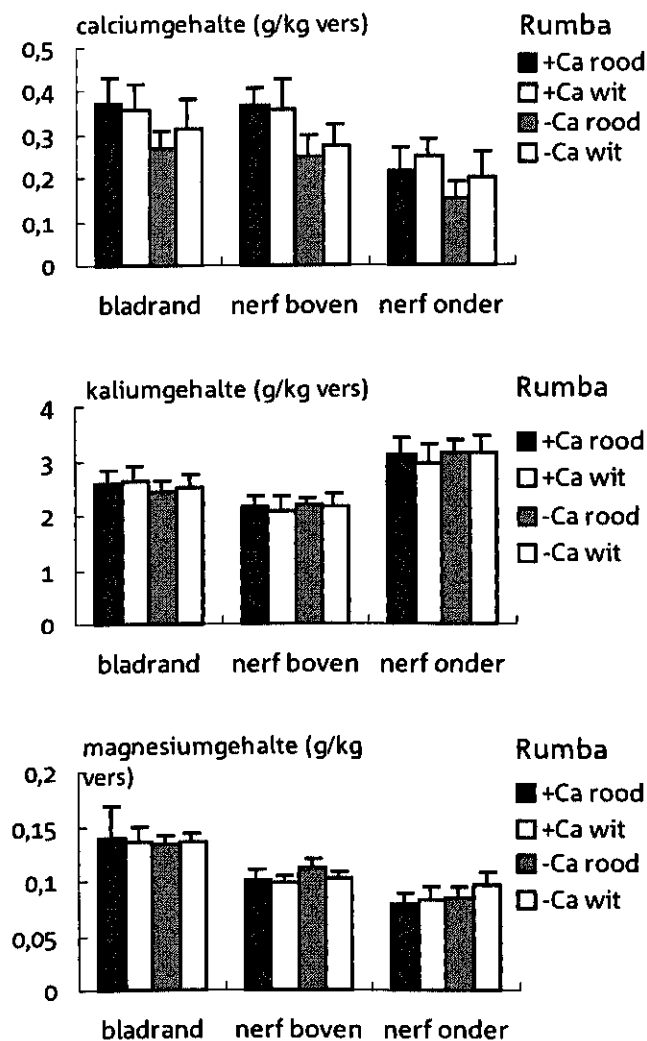
Figuur 24. Concentratie van Ca, K en Mg in delen van het blad van kroppen met en zonder roodverkleuring en van kroppen met geringe roodverkleuring (mix). Roodverkleuring treedt op in bladnummer 12, ook in de kroppen met roodverkleuring is blad 20 vrij van rood.

Figuur 24 geeft de analyses van blad 12, waarin roodverkleuring optreedt en blad 20 waarin ook bij de kroppen met rood, geen roodverkleuring te zien is. De gehalten in het versgewicht zijn in blad 20 ongeveer 2x zo hoog als in blad 12. Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in drogestofgehalte (hoger bij toenemend bladnummer). De gehalten in het drooggewicht zijn in de verschillende bladeren van een krop ongeveer gelijk (Fig. 25).



Figuur 25. Ca-concentraties in de drogestof in delen van blad 12 (a) en blad 20 (b) bij kroppen van cv. Tabor met, zonder en met geringe (mix) roodverkleuring.

Van een trekexperiment met het ras Rumba op het PAV te Lelystad zijn bij een aantal behandelingen bladeren verzameld van kroppen met roodverkleuring en van witte kroppen. In het experiment waarin effecten op natrot centraal stond zijn pennen met hoog en laag stikstofgehalte gebruikt. Tevens zijn de pennen voor de trek wel of niet gedompeld in een 3% oplossing van  $\text{CaCl}_2$ . Van een aantal rode en witte kroppen per behandeling is het 12e blad verzameld. De bladeren zijn verdeeld in bladrand en de top- en basale deel van de vleziges bladnerf. In Figuur 26 zijn de analysesresultaten weergegeven van de kroppen van de wortels met laag stikstofgehalte.



Figuur 26. Ca-, K- en Mg-gehalten in delen van het 12e blad van kroppen van cv. Rumba die wel of niet roodverkleuring vertonen. De pennen zijn voor de trek wel (+Ca) of niet (-Ca) gedompeld in een 3% oplossing van calciumchloride.

Behandeling van de wortels met  $\text{CaCl}_2$  heeft een hoger Ca-gehalte in blad 12 van de krop tot gevolg, maar er was geen verschil tussen kroppen met en zonder roodverkleuring. Er was eveneens geen eenduidige relatie tussen rood en gehalte K of Mg. Het gehalte aan Ca was het laagst in het basale deel van de nerf, dat daarentegen het hoogste K-gehalte had (Fig. 26). Ook bij de experimenten 8a, 9 en 10 zijn gehalten bepaald aan N, K, Mg en Ca in bladeren van rode en witte kroppen.

Bij exp. 8a, uitgevoerd in de trekcellen op het AB-DLO zijn kroppen met en zonder rood onderscheiden, zonder dat een gradatie in de mate van rood is aangebracht. Van de 10 per behandeling geoogste kroppen zijn van drie rode en drie witte kroppen de bladnummers 11, 12 en 13 als één monster verzameld voor chemische analyse.

De bladeren 11, 12 en 13 zijn gevoelig voor rood. In Tabel 4 zijn de gemiddelde gehalten aan N, K, Mg en Ca gegeven van rode en witte kroppen van bewaarooft 2.

Tabel 4. Gemiddelde gehalten in blad 11, 12 en 13 van witte en rode kroppen. in exp. 8a.

Oogst	N	Rood/wit	Anal.	Gehalte g kg <sup>-1</sup>	sd
B2		W	N - tot	43.09	2.61
B2		R	N - tot	39.73	4.79
B2		W	K	52.05	7.04
B2		R	K	54.77	4.51
B2		W	Mg	2.42	0.13
B2		R	Mg	2.48	0.38
B2		W	Ca	6.20	1.11
B2		R	Ca	6.08	0.82
Oogst					
B2	R	W	N - tot	42.05	2.05
B2	R	R	N - tot	39.17	3.53
B2	R	W	K	51.27	7.98
B2	R	R	K	58.10	3.41
B2	R	W	Mg	2.37	0.10
B2	R	R	Mg	2.45	0.32
B2	R	W	Ca	5.98	1.11
B2	R	R	Ca	6.05	0.49
Oogst					
B2	A	W	N - tot	46.20	0.85
B2	A	R	N - tot	40.30	6.11
B2	A	W	K	54.40	3.68
B2	A	R	K	51.43	2.55
B2	A	W	Mg	2.58	0.06
B2	A	R	Mg	2.51	0.46
B2	A	W	Ca	6.87	1.17
B2	A	R	Ca	6.11	1.12

In de beide onderste delen van de tabel zijn de beide partijen met een hoog (R) of een laag (A) stikstof-(N)-gehalte onderscheiden. Er blijken geen significante verschillen in gehalten tussen witte en rode kroppen, ook niet in de stikstofrijke of stikstofarme groep afzonderlijk.

Bij de oogsten van experiment 9 en 10 zijn vier intensiteiten van roodverkleuring van een individuele krop onderscheiden: klasse 0 = geen rood; klasse 1 = lichte roodverkleuring, 1 of 2 bladeren met rood; klasse 2 = matige roodverkleuring, 3 of 4 bladeren met rood; klasse 3 = sterke roodverkleuring, meer dan 4 bladeren met rood. Bij de oogst is per krop de roodklasse bepaald en het 10e blad chemisch geanalyseerd. Een overzicht van de bladanalyses van de be- waaroogst 2 van experiment 9 is gegeven in Tabel 5.

Tabel 5. Gemiddelde gehalten in blad 10 van witte en rode kroppen, exp. 9.

N	Oogst	Klasse	Anal	Gem. gehalte (g kg <sup>-1</sup> )	Sd
A	B2	0	N- tot	33.58	3.12
A	B2	1	N- tot	38.48	3.36
A	B2	2	N- tot	39.12	5.70
A	B2	3	N- tot	40.70	2.42
A	B2	0	K	51.60	6.45
A	B2	1	K	52.78	3.00
A	B2	2	K	54.96	3.36
A	B2	3	K	53.20	3.83
A	B2	0	Mg	1.70	0.21
A	B2	1	Mg	1.86	0.05
A	B2	2	Mg	1.89	0.24
A	B2	3	Mg	2.05	0.08
A	B2	0	Ca	5.99	1.49
A	B2	1	Ca	8.31	1.78
A	B2	2	Ca	8.23	3.71
A	B2	3	Ca	6.86	1.89
R	B2	0	N- tot	36.03	4.70
R	B2	1	N- tot	38.98	3.42
R	B2	2	N- tot	38.35	3.70
R	B2	3	N- tot	37.90	4.67
R	B2	0	K	56.33	5.54
R	B2	1	K	54.83	4.67
R	B2	2	K	58.18	6.02
R	B2	3	K	53.70	6.00
R	B2	0	Mg	1.75	0.21
R	B2	1	Mg	1.91	0.08
R	B2	2	Mg	1.95	0.21
R	B2	3	Mg	1.80	0.16
R	B2	0	Ca	6.12	2.40
R	B2	1	Ca	6.38	2.09
R	B2	2	Ca	6.74	1.86
R	B2	3	Ca	5.53	0.84

Er zijn geen duidelijke verschillen in mineralgehalten tussen de verschillende roodklassen. Alleen bij de N-arme pennen lijkt het N-gehalte van het blad toe te nemen met de mate van rood, bij de N-rijke groep is dat niet het geval. Mogelijk leidt een hoger N-gehalte in de N-arme groep, waar N de groei mogelijk beperkt, tot sterkere groei en daarmee tot vergroting van de roodgevoeligheid. Die conclusie wordt gesteund door analyse van experiment 10, zoals die zijn samengevat in Tabel 6.

Tabel 6. Gemiddelde gehalten in blad 10, 11 en 12 van rode en witte kroppen, exp. 10.

Oogst	Klasse	Anal.	Gem. gehalte (g kg <sup>-1</sup> )	sd
B2	0	N- tot	48.43	2.46
B2	1	N- tot	50.93	2.33
B2	2	N- tot	51.20	2.57
B2	3	N- tot	52.50	2.97
B2	0	K	50.61	5.01
B2	1	K	53.63	4.23
B2	2	K	52.85	6.62
B2	3	K	58.30	3.25
B2	0	Mg	2.55	0.31
B2	1	Mg	2.64	0.22
B2	2	Mg	2.73	0.34
B2	3	Mg	2.58	0.23
B2	0	Ca	7.67	1.30
B2	1	Ca	9.22	2.26
B2	2	Ca	8.76	2.02
B2	3	Ca	6.85	0.35

Er blijkt een tendens tot meer rood bij hogere N-gehalten, hoewel het effect niet significant is. De stikstofrijke en stikstofarme partijen zijn met betrekking tot dit punt niet verschillend.

### 5.3.5. Mineralengehalten in de pen en het optreden van rood

Bij de experimenten 8a en 10 die zijn uitgevoerd in de trekcellen van AB-DLO zijn van de afzonderlijk geoogste kroppen, penmonsters genomen in de vorm van een schijf halverwege de pen.

Tabel 7. Gemiddelde gehalten in de pen van witte en rode kroppen, exp. 8a.

Oogst	Rood/wit	N	Anal.	Gehalte (g kg <sup>-1</sup> )	Sd
B2	W	-	N-tot	9.04	4.14
B2	R	-	N-tot	7.80	3.45
B2	W	-	K	38.18	4.62
B2	R	-	K	34.26	5.92
B2	W	-	Mg	1.69	0.34
B2	R	-	Mg	1.44	0.28
B2	W	-	Ca	4.36	0.84
B2	R	-	Ca	4.13	0.63
B2	W	R	N-tot	10.33	4.02
B2	R	R	N-tot	9.97	3.75
B2	W	R	K	4.27	2.95
B2	R	R	K	37.40	6.70
B2	W	R	Mg	1.79	0.32
B2	R	R	Mg	1.58	0.31
B2	W	R	Ca	4.58	0.87
B2	R	R	Ca	4.26	0.70
B2	W	A	N-tot	5.20	0.28
B2	R	A	N-tot	5.64	0.93
B2	W	A	K	31.90	0.85
B2	R	A	K	31.12	2.91
B2	W	A	Mg	1.39	0.24
B2	R	A	Mg	1.30	0.16
B2	W	A	Ca	3.69	0.01
B2	R	A	Ca	4.00	0.59

Uit de analyses van experiment 8a, zoals weergegeven in Tabel 7 blijkt er geen verschil tussen de N-, K-, Mg- en Ca-gehalten in de pen van witte en rode kroppen; ook niet als de pennen van de N-rijke en de N-arme partijen worden onderscheiden.

Tabel 8. Gemiddelde gehalten in de pen van witte en rode kroppen, exp. 10, bewaar 2.

N	Klasse	Anal.	Gehalte (g kg <sup>-1</sup> )	Sd
-	0	N-tot	7.20	3.97
-	1	N-tot	8.86	4.38
-	2	N-tot	9.61	4.33
-	3	N-tot	10.08	4.16
-	0	K	37.38	9.37
-	1	K	39.19	7.37
-	2	K	41.08	7.19
-	3	K	37.45	9.91
-	0	Mg	1.69	0.46
-	1	Mg	1.86	0.50
-	2	Mg	1.91	0.46
-	3	Mg	1.76	0.43
-	0	Ca	4.95	0.86
-	1	Ca	5.35	0.98
-	2	Ca	5.72	1.02
-	3	Ca	5.39	1.14

Bij de bewaarooft 2 van experiment 10 is er, evenals dat voor de kroppen het geval is, een tendens van een hoger N-gehalte in de pen naarmate de roodverkleuring van de krop sterker is (Tabel 8). De verschillen zijn echter statistisch niet significant. Ook hier is het waarschijnlijk dat de relatie tussen het N-gehalte van de pen en roodverkleuring indirect is via invloed van het N-gehalte op de groeisnelheid (zie ook Reerink, 1993).

## 5.4 Anatomisch onderzoek

### 5.4.1 Rol van melksapvaten

Omdat in de literatuur is gesuggereerd dat roodverkleuring ontstaat door lokale scheuring van melksapvaten en daaropvolgende enzymatische reacties, is anatomisch gekeken naar de posities van melksapvaten en roodverkleuring in het blad. Een dwarsdoorsnede van een blad laat zien dat een blad voornamelijk bestaat uit parenchymatisch weefsel begrensd door een epidermis aan de onder- en de bovenzijde van het blad. Midden tussen beide epidermissen bevinden zich verdeeld over de breedte van het blad een aantal vaatbundels met centraal een aantal houtvaten (Foto 3).

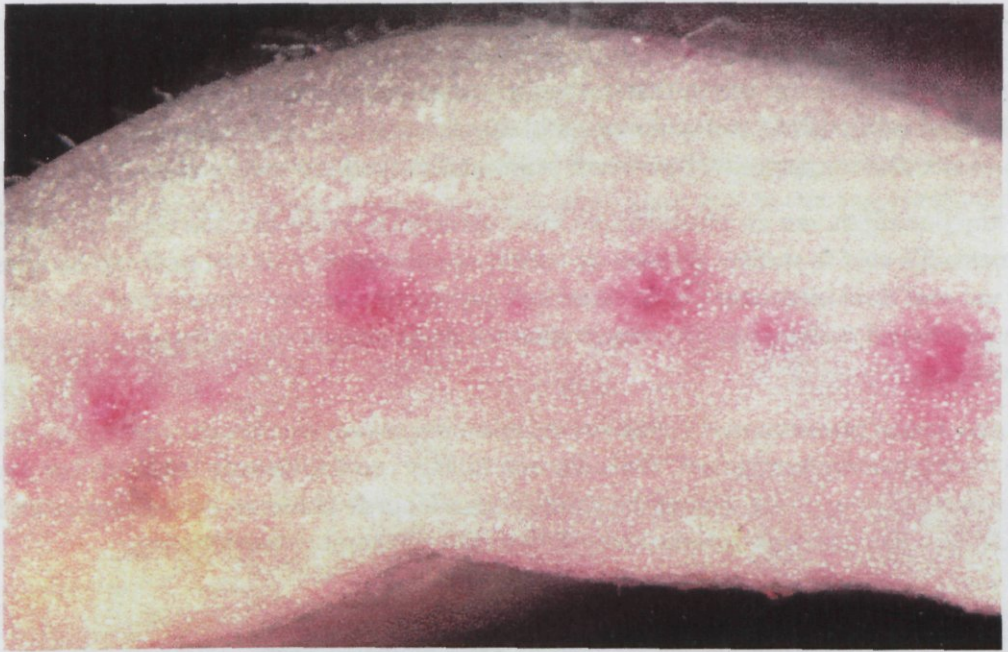


Foto 3. Dwarsdoorsnede door een witlofblad. Door opname van zure fuchsine zijn de vaatbundels gemarkeerd.

De bundel houtvaten is zowel aan de boven als aan de onderzijde voorzien van een floeembundel. Voornamelijk aan de onderzijde is het floeem begrensd door een rij melksapvaten (Foto 4).

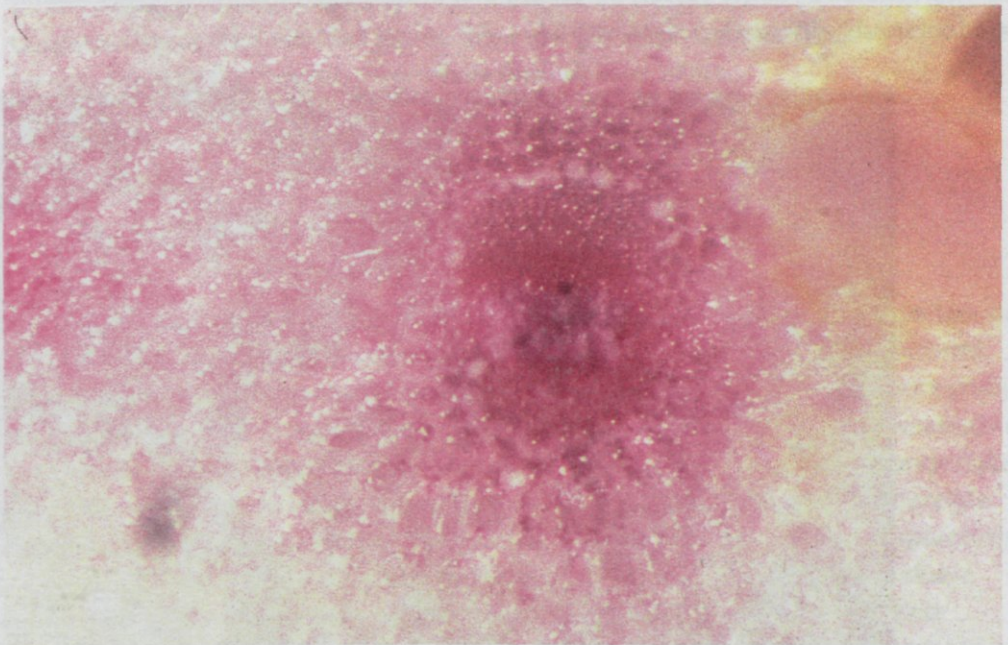


Foto 4. Detailopname van een dwarsdoorsnede van een met zure fuchsine gekleurde vaatbundel in een witlofblad. Centraal het xyleem, daarboven en onder een floeemkap die ook enigszins rood is gekleurd. Melksap dat uit de vaten treedt markeren de melksapvaten in de floeemkappen.



Beginnende roodverkleuring is zichtbaar als helder rode vlekjes tussen parenchymcellen nabij de bovenepidermis van het blad, dus niet in de nabijheid van melksapvaten. Het lijkt daarom onwaarschijnlijk dat er een verband is tussen roodverkleuring en gescheurde melksapvaten. Melksapvaten bevatten een witte vloeistof die daarin onder druk aanwezig is. Als een blad dwars wordt doorgesneden dan treedt onmiddellijk melksap uit de open vaten.

De functionaliteit van de afzonderlijke melksapvaten is onder een 10x vergrotend binoculair gemakkelijk vast te stellen. Hoewel de vooraf opgebouwde druk het melksap na aansnijden van het vat snel doet uitstromen is de capaciteit gering: binnen een minuut stopt de melksapstroom. Een gescheurd melksapvat lijkt niet in staat tot drukopbouw van melksap en uitstroom ervan na aansnijden.

Als een aantal bladeren met sterke roodverkleuring dwars worden doorgesneden dan blijken alle melksapvaten functioneel, zoals dat ook bij niet roodverkleurde bladeren het geval is. Deze waarneming suggereert dat ook bij sterk roodverkleurde bladeren de melksapvaten intact zijn en dat gescheurde melksapvaten niet de oorzaak zijn van roodverkleuring.

#### 5.4.2 Preciese lokalisering van rood

De eerste tekenen van roodverkleuring zijn zichtbaar aan de bovenzijde van de basale helft van het blad als kleine rode vlekjes. Naarmate rood in ernst toeneemt wordt een groter deel van de bladbreedte aangetast, totdat het rood ook aan de onderzijde van het blad (buitenzijde van de krop) zichtbaar wordt. Ook een dwarsdoorsnede van een blad met beginnend rood vertoont zeer lokaal rode vlekjes aan de bovenzijde nabij de epidermis. In de nabijheid van roodverkleuring zijn vaak scheuren in het weefsel zichtbaar. De rode kleurstof is geconcentreerd aanwezig in de intercellulaire ruimte tussen de cellen, die, omdat daar drie cellen aan elkaar grenzen op dwarsdoorsnede, driehoekig zijn (Foto 5).

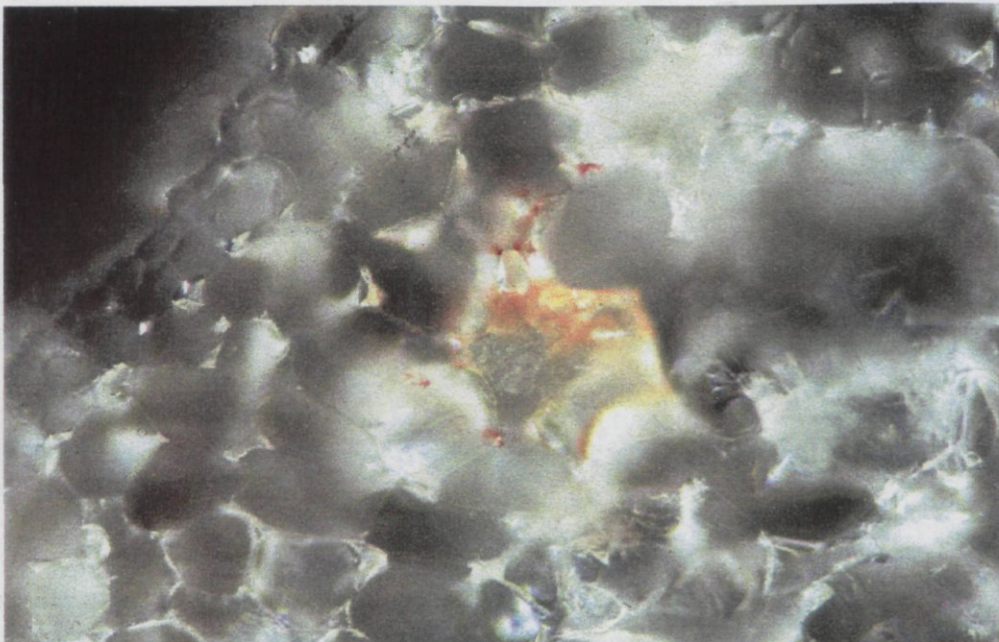


Foto 5. Dwarsdoorsnede door een blad van cv. Tabor met geringe roodverkleuring. De rode kleurstof lijkt geconcentreerd in de intercellulaire ruimte.

Een lengtedoorsnede door een gebied met beginnend rood toont strengen rood materiaal, kennelijk in intercellularen (Foto 6). Bij uitbreiding van de roodverkleuring is sprake van een veel diffuser aanwezigheid van een kleur die in een anatomische coupe een oranje indruk maakt. Het lijkt alsof de aanvankelijk geconcentreerde kleurstof zich over een groter oppervlak heeft verdeeld. De cellen die zich in het gekleurde gebied bevinden lijken een wazige en korrelige celinhoud te hebben, hoewel het onduidelijk is of de kleur zich in dan wel rondom de cel bevindt.

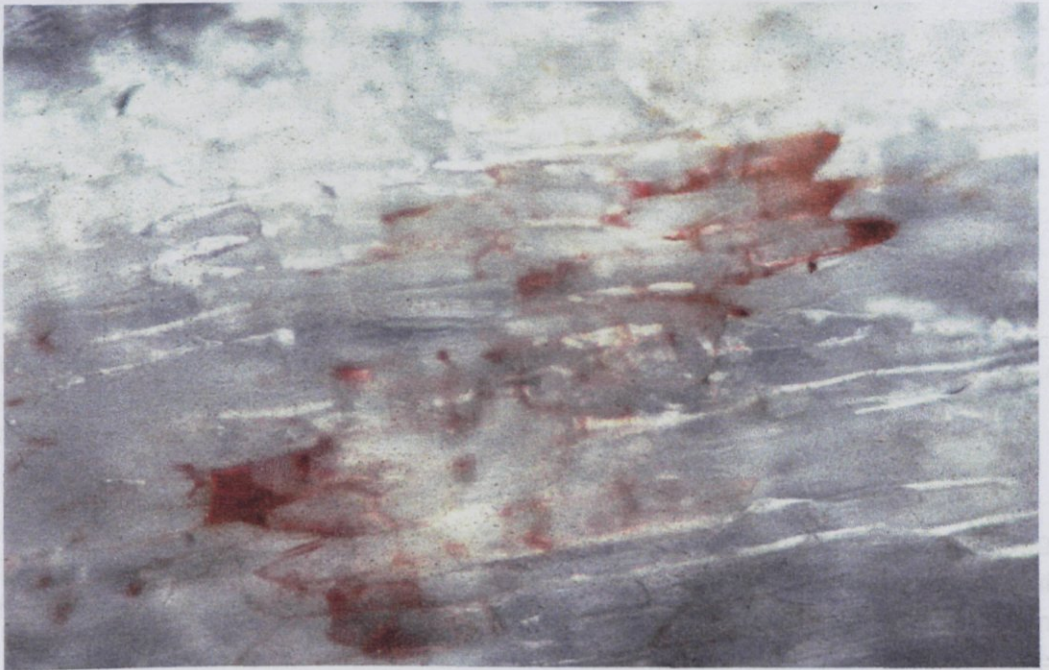


Foto 6. Lengtedoorsnede door een blad van cv. Tabor met geringe roodverkleuring. De rode kleurstof lijkt geconcentreerd in de intercellulaire ruimte.

### 5.4.3 Weefselspanning

Opvallend is dat de eerste rode vlekjes aan de bovenzijde van het basale bladeel optreden, daar waar het parenchymatisch weefsel vlak onder de epidermis hier en daar scheuren vertoont. Rode vlekjes treden op in de nabijheid van die weefselscheuren. Mogelijk is er een oorzakelijk verband. Scheuring van weefsel is mogelijk als door ongelijke potentiële groei van weefsellagen spanning tussen die lagen ontstaat. Witlof is veredeld op een gesloten krop. De afzonderlijke bladeren hebben daarom sterk de neiging naar de as van de krop te groeien: de onderzijde moet sneller groeien dan de bovenzijde van het blad. De aanwezigheid van weefselspanning kan zichtbaar gemaakt worden door de onderlinge samenhang van weefsels in een stukje bladmateriaal te verbreken en het weefsel in water te dompelen. De mechanisch meest geremde weefsels zullen meer water opnemen nu ze daarin niet meer worden belemmerd en enige lengtegroei vertonen.

Als een rechthoekig bladsegment midden tussen boven- en onderepidermis wordt ingesneden en daarna in water gelegd dan krommen beide helften naar buiten, het bovendeel echter meer dan de onderzijde (Foto 7).

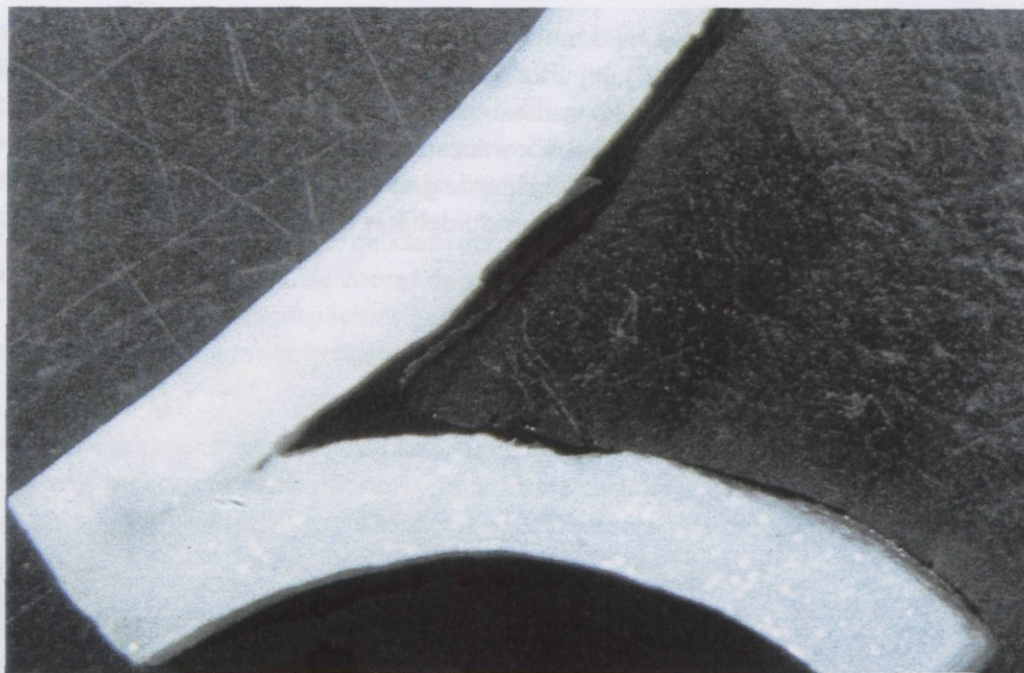
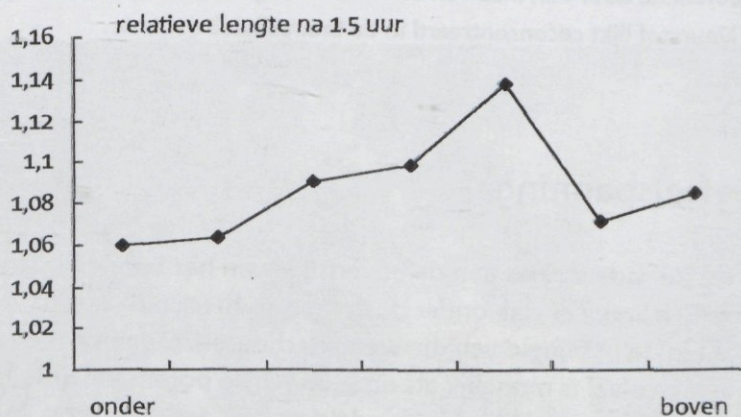


Foto 7. Kromming van boven- en onderzijde van een langwerpig bladsegment dat overlangs gedeeltelijk is ingesneden en in water gelegd. De bovenzijde vertoont de sterkste kromming.

Dat wijst erop dat strekking van het weefsel binnen in het blad wordt geremd door de buitenste lagen, aan de bovenzijde echter sterker dan aan de onderzijde. Dit wordt bevestigd door metingen aan de lengtetoename van afzonderlijke cellagen die door lengtecoupes door de dikte van het blad worden verkregen.



Figuur 27. Lengtetoeename van afzonderlijke weefsellagen van het centrale deel van een witlofblad na 1.5 uur in water.

De strekking van die cellagen na 1.5 uur in leidingwater is weergegeven in Figuur 27. De blad-dikte is daarbij gedeeld in 7 afzonderlijke cellagen. Waar twee naastgelegen cellagen het grootste verschil in strekking vertonen is de weefselspanning het grootst. Uit de figuur blijkt dat de grootste weefselspanning heerst nabij de bovenepidermis, daar waar in volgroeide bladeren scheurtjes worden aangetroffen.

#### 5.4.4 Lokale scheurtjes als oorzaak van rood?

In de literatuur is gesuggereerd dat de roodverkleuring het resultaat is van een enzymatisch oxydatief proces, dat op gang kan komen als door het kapot gaan van cellen die daarin aanwezige oxydasen (enzymen die oxydaties katalyseren) in contact komen met een substraat. Onze hypothese is dat bij het ontstaan van weefselscheurtjes in de meeste gevallen de scheuring tussen de cellen optreedt, waarbij de aanliggende cellen intact blijven. In een aantal gevallen echter worden één of meer cellen stuk getrokken, waarbij de celinhoud vrij komt en de daarin aanwezige enzymen een reactie in de omgeving, en wel in de ruimte tussen de cellen, op gang kunnen brengen. Deze verklaring wordt ondersteund door de waarneming in experiment 12 dat bewaring van kroppen in folie die weinig gas-doorlatend is, een sterke vermindering geeft van roodverkleuring in vergelijking met de normale bewaring (Tabel 2).

Door de beperkte gaswisseling door de folie stijgt het koolzuurgehalte en daalt het zuurstofgehalte rond de krop. Daardoor worden oxydatieve processen geremd, waaronder roodverkleuring. Vanwege de sterke roodverkleuring in experiment 12, vooral bij cv. Tabor is in Tabel 2 als maat voor rood het aantal blaadjes weergegeven dat gemiddeld per krop rood vertoont. Zowel Tabor als Bea heeft minder rood indien bewaard in folie. De pitlengte is echter in de meeste gevallen niet kleiner.

## 6. Samenvatting

### 6.1 Kropontwikkeling

Binnen één experiment is een positieve correlatie aangetoond tussen kropontwikkeling en de mate van roodverkleuring. Zowel een langere trekduur als bewaring stimuleren het optreden van roodverkleuring, maar ook de ontwikkeling van de krop (kropgewicht, kroplengte, pitgewicht, pitlengte, relatieve pitlengte) nemen in de tijd toe. Tijdens de bewaring groeien pit en binnenste bladeren verder ten koste van het gewicht van de ongeveer 15 buitenste volgroeide bladeren. Dit zijn ook de bladeren waarin roodverkleuring kan optreden. Deze herverdeling van materie is binnen één experiment sterker bij kroppen die roodverkleuring vertonen dan bij kroppen zonder rood. Kropontwikkeling en roodverkleuring zijn beide tijdafhankelijk, daarom is de oorzakelijkheid van de relatie moeilijk aan te geven. Getracht is daarom kropontwikkeling en tijd te ontkoppelen. Dat is in een aantal experimenten op verschillende wijze gedaan:

- 1) Bij vergelijking van verschillende oogstmomenten binnen één proef blijkt dat bij eenzelfde relatieve pitlengte (als maat voor de kropontwikkeling) een zeer verschillende mate van rood voorkomt, afhankelijk van het oogstmoment.
- 2) Wortels met een hoog stikstofgehalte hebben een snellere kropontwikkeling dan wortels met een laag stikstofgehalte en een iets grotere neiging tot roodverkleuring. De roodverkleuring is echter meer afhankelijk van het oogstmoment dan van de pitontwikkeling.
- 3) De verschillende experimenten die gedurende het project zijn uitgevoerd geven zeer grote verschillen te zien in roodverkleuring, ondanks dat bij vergelijkbare ontwikkelingsstadia is geoogst. Zowel de relatie tussen roodverkleuring en herverdeling als die tussen roodverkleuring en kropontwikkeling die binnen één experiment zijn aangetoond, is sterk verschillend als verschillende experimenten worden vergeleken.
- 4) Toediening van giberelline (GA4/7) aan de voedingsoplossing stimuleert de relatieve pitlengte (optimum 10-3M) en het kropgewicht (optimum 10-7M). In twee experimenten waarin GA aan de voedingsoplossing is gegeven is ondanks stimulering van de kropontwikkeling geen inductie van roodverkleuring gevonden.
- 5) De relatieve luchtvochtigheid tijdens de trek bevordert roodverkleuring zowel als de kropontwikkeling.

Deze laatste waarneming duidt op een oorzakelijk verband tussen kropontwikkeling en roodgevoeligheid. De eerste 4 punten zijn daarmee echter niet in overeenstemming. Waarnemingen 1-4 maken het onwaarschijnlijk dat kropontwikkeling op zich roodverkleuring beïnvloedt. Binnen één experiment zijn kropontwikkeling en roodverkleuring gecorreleerd, maar de oorzakelijkheid van die relatie moet worden betwijfeld.

### 6.2 Voeding

Bij dit onderzoek naar de achtergronden van het ontstaan van roodverkleuring bij witlof is uitgegaan van de werkhypothese dat distributie van mineralen, met name calcium, een rol speelt bij het optreden van rood. Op verschillende manieren is die hypothese getoetst.

1. Door vergelijking van twee rassen met verschillende gevoeligheid voor het optreden van roodverkleuring met betrekking tot lokale mineralengehalten (K, Ca en Mg) in de kropbladeren.
2. Door beïnvloeding van het calciumgehalte in de krop via de calciumvoorziening in de voedingsoplossing of calciumopname via de wortelontwikkeling.
3. Door kwantificering van calciumtransport naar verschillende delen van de krop en van de invloed van groei en transpiratie op de verdeling van calcium.
4. Door vergelijking van lokale mineralengehalten (K, Ca, Mg en N) in bladeren van kroppen die wel of geen rood vertonen.
5. Vergelijking van mineralengehalten in wortels bij de eind oogst in relatie tot optreden van roodverkleuring.

Met betrekking tot geen der punten 1 - 5 is een relatie gevonden tussen mineralengehalten en optreden van roodverkleuring. Wel is een positieve relatie gevonden tussen het stikstofgehalte zowel in de pen als in de krop en de mate van roodverkleuring na 7 dagen bewaring bij 12°C. Verondersteld wordt echter dat dit effect van stikstof indirect is via stimulering van de ontwikkelingsnelheid van de krop.

## 6.3 Anatomie

Roodverkleuring treedt in het algemeen op in een of meer van de 15 buitenste bladeren, aanvankelijk als kleine vlekjes, in een verder gevorderd stadium als grotere zones die niet scherp zijn begrensd en de gehele bladdikte kunnen omvatten. Het betreft in het algemeen het basale deel van het blad. Beginnende roodverkleuring is microscopisch zichtbaar als een rode kleurstof in de intercellulaire ruimte tussen de cellen nabij de bovenepidermis van het blad. De afstand tot melksapvaten is te groot om een relatie tussen gescheurde melksapvaten en roodverkleuring te veronderstellen. Wel worden in de omgeving van roodverkleuring weefselscheurtjes waargenomen, waarbij mogelijk de vrijkomende celinhoud oxydatie van stoffen buiten de cellen veroorzaakt. Bewaring van kroppen bij een lage zuurstofconcentratie of bij een lage temperatuur remt de ontwikkeling van roodverkleuring, wat de veronderstelling dat oxydatieve enzymen een rol spelen ondersteunt.

Scheuring van weefsel ontstaat door lokale weefselspanning die wordt veroorzaakt doordat verschillende weefsellagen in het blad een verschillende potentiële groeisnelheid hebben. Enerzijds leidt dit tot een gesloten krop, anderzijds tot spanning in het weefsel. De scheuring kan optreden doordat cellen van elkaar los worden getrokken, maar ook kan de celwand scheuren, waardoor enzymen vrij komen.

Weerstand van celwanden tegen scheuring is afhankelijk van hun chemische samenstelling. Vooral meerwaardige kationen in de celwand spelen een rol. Toch vertonen bladeren met roodverkleuring geen afwijkende gehalten van K, Ca en Mg.

## 7. Conclusies

Roodverkleuring begint als accumulatie van een rode kleurstof in de intercellulaire ruimte rond slechts een beperkt aantal cellen en lijkt gerelateerd aan het ontstaan van lokale scheurtjes in het weefsel. Weefselscheuring kan optreden door weefselspanning die ontstaat doordat verschillende bladcellagen een verschillende potentiële groeisnelheid hebben. Dit leidt tot de gewenste gesloten krop; anderzijds kan bij hoge bladgroeisnelheid weefselspanning te hoog oplopen.

Enzymen die vrijkomen door scheuring van celwanden zijn mogelijk oorzaak van lokale oxydatieve omzettingen met een rode kleur. De chemische samenstelling van de rode kleurstof is onbekend.

De afstand van de eerste roodverkleuring tot melksapvaten is te groot om een verband met uitgetreden melksap te veronderstellen. Ook bij sterk roodverkleurde bladeren zijn alle melksapvaten functioneel en is scheuring van melksapvaten onwaarschijnlijk.

Calciumtransport naar kropbladeren is afhankelijk van watertransport. De niet verdampende binnenste bladeren zijn voor hun calciumimport afhankelijk van volumegroei; de buitenste bladeren importeren calcium ook via verdamping. Verdamping van cv. Tabor is per gram groei ongeveer 0.5 gram; cv. Magnum verdampt per gram groei minder dan de helft.

Er is geen verband gevonden tussen het optreden van rood en gehalten aan K, Ca en Mg in de kropbladeren, noch met gehalten in de wortel. De relatie tussen roodverkleuring en de stikstofgehalten in krop en wortel kunnen worden verklaard door een indirect effect op de kropontwikkeling.

Er is binnen één experiment een sterke correlatie tussen de mate van roodverkleuring en parameters voor kropontwikkeling, kroggewicht, kroplengte, pitgewicht, pitlengte, relatieve pitlengte en herverdeling van stoffen van de buitenste naar de binnenste bladeren en de pit. De oorzakelijkheid van die correlatie moet worden betwijfeld omdat tussen experimenten zeer grote verschillen in roodindex kunnen voorkomen, ook bij vergelijkbare kropontwikkeling.

## 8. Vervolgonderzoek

- a) Verondersteld wordt dat roodverkleuring ontstaat doordat bij scheuring van het weefsel cellen kapot getrokken worden en enzymen van de celinhoud omzettingen veroorzaken. Bij scheuring van het weefsel worden zowel cellen van elkaar los getrokken als cellen kapot getrokken. Wat van beide de overhand krijgt hangt af van de stevigheid van de celwand en van de weerstand van de plaklaag (pectine) tussen de cellen. Mineralen als Ca, K, Si, B spelen een rol bij mechanische eigenschappen van celstructuren. Hoewel in dit onderzoek geen relatie tussen Ca, K en Mg en roodverkleuring is gevonden, zijn recent gevonden effecten van B veelbelovend (Sarrazijn, 1998; Veen & Van Kruistum, 1999). Inzicht in de achtergrond van dit effect leidt tot een betere beheersbaarheid van roodverkleuring.
- b) Uit dit onderzoek blijkt binnen één experiment een sterke correlatie tussen ontwikkeling van de krop en gevoeligheid voor roodverkleuring. Hoewel de relatieve pitlengte in de praktijk mede bepalend is voor het oogstmoment, in verband met roodgevoeligheid, blijken tussen experimenten grote verschillen in roodverkleuring, ook bij eenzelfde relatieve pitlengte. Omdat weefselspanning mogelijk een rol speelt bij het ontstaan van roodverkleuring, en weefselspanning mede afhankelijk is van de groeisnelheid is onderzoek naar de relatie tussen roodverkleuring en groeisnelheid relevant. Omdat roodverkleuring optreedt in bladeren die reeds zijn volgroeid gaat het om de groeisnelheid van die bladeren op het moment van hun maximale groei. Groeisnelheid van bladeren kan worden afgeleid uit gewichtstoename van de krop die door periodieke meting van de intacte plant kan worden bepaald. De groei moet niet-destructief worden gemeten omdat het verband met een later optredende roodverkleuring moet worden vastgesteld. In dit verband bieden niet-destructieve scantechieken als NMR en CT goede mogelijkheden.
- c) Analyse van de aard van de rode kleurstof geeft mogelijk inzicht in de mechanismen die leiden tot het ontstaan ervan.
- d) Uit het onderzoek komt naar voren dat binnen één trek een aantal wetmatigheden met betrekking tot roodverkleuring kan worden vastgesteld. Het percentage rood is echter zeer verschillend op verschillende trekmomenten, zelfs als het dezelfde partij wortels betreft en onder vergelijkbare trekomstandigheden. De oorzaken daarvan zijn onduidelijk. Onderzoek van de invloed van worteleigenschappen, teelt-geïnduceerd en tijd-geïnduceerd zal mogelijk bijdragen aan inzicht en beheersbaarheid van de roodproblematiek. Een werkhypothese zou kunnen zijn dat worteleigenschappen die de groeisnelheid van de krop tijdens de trek beïnvloeden ook van invloed zijn op roodverkleuring. Rijpheid van de krop is daarbij een belangrijke factor. Rijpheid wordt zowel bepaald door oogstmoment van de witlofwortels als door bewaarduur en bewaaromstandigheden. Ook het stikstofgehalte van de wortel speelt een rol. Een methode moet worden ontwikkeld om rijpheid van de wortel te karakteriseren. Mogelijke karakteristieken zijn hormoongehalten (GA's, cytokininen) of de samenstelling van de inuline.



## **9. Dankwoord**

Het in dit rapport beschreven onderzoek is mede gefinancierd door het Landbouwschap en de Hagelunie, en is in belangrijke mate ondersteund door de bestaande ervaring op het gebied van het witlofpraktijkonderzoek bij het PAV te Lelystad. Met name de intensieve contacten met ir. Gijs van Kruistum hebben het onderzoek zeer gestimuleerd.

Aan de uitvoering van het onderzoek op het AB en de uitwerking van de gegevens hebben Anita Monster en Guus Broekhuijsen een belangrijke bijdrage geleverd.

## 10. Literatuur

Bosma, K.W., 1992.

Nieuwe wortels in de startblokken. Groenten en Fruit/ Vollegrondsgroenten no. 34, augustus 1992: 14-15.

Claessens, G., Goffings, G., Degreef, J. & Baeten, L., 1995.

Productiviteit, inwendige- en bewaarkwaliteit van de praktijkkrassen. Proc. 13<sup>e</sup> Tweejaarlijkse Internationale Witlofdagen, Bovenkarspel 1995.

Kirkby, E.A. & Pilbeam, D.J., 1984.

Calcium as a plant nutrient. Plant Cell and Environment 7: 394-405.

Kruistum, G. van & Biesheuvel, A., 1992.

Smetteloos wit ligt onder vuur. Groenten en Fruit/Vollegrondsgroenten no 49, december 1992: 6-7.

Outer, R.W. den, 1993.

Association of laticifer rupture with red discoloration of witloof chicory (*Cichorium intibus* L.) Ongepubliceerd verslag.

Proft, M. de, Claessens, G., Schrevens, A. & Van Laere, A., 1991.

Invloed van de stikstofbemesting op ontwikkeling en productiviteit van de witloofplant, Tuinbouw Visie 4/10/1991; Dossier Witloof, pp. 16-24.

Reerink, J.A., 1994.

Bestaande kennis over fysiologische kwaliteitsafwijkingen bij witlof. Inventarisatie van bestaande gegevens en inzichten met betrekking tot roodverkleuring en andere fysiologische kwaliteitsafwijkingen bij witlof. AB-DLO rapport 8, 42 pp.

Reerink, J.A., 1993.

Onderzoek naar factoren en processen die de productie en kwaliteit van witlof beïnvloeden. CABO- verslag 170, 174 pp.

Sarrazyn, R., 1998.

Mix van calciumchloride en borium verbetert kwaliteit witlofkrop. Groenten en Fruit 31 juli 1998; 19.

Tanaka, Y. and Langerak, D.I., 1975.

Effects of gamma-irradiation on quality and enzyme activities of prepacked cut chicory. Journal of Food Technology 10: 415-425.

Veen B.W. & Van Kruistum, G., 1999.

Roodverkleuring niet oplosbaar, wél beheersbaar. Groenten en Fruit, 28 mei 1999: 4-5.

**Bijlage I:****Schematisch overzicht van de uitgevoerde experimenten**

## Schematisch overzicht van de uitgevoerde experimenten

Exp	Rassen	Trekduur (d)	Bewaring (d)	Temp. lucht/water	Voeding	Start trek	Extra metingen
1.	Magnum Tabor	7, 13, 19 22, 26		15/17.5	+en-Ca (Tabor)	30-03-1995	transpiratie
De verdeling van water en voedingselementen (Ca, K en Mg) in bladeren en pit bij cv. Tabor en Magnum							
2.	Magnum Tabor	7, 13, 19 23, 27	23 → 27 23 → 33	14/17	voed. opl. demi	10-05-1995	transpiratie
Invloed van beschikbaarheid van nutriënten en wortelontwikkeling op opname en verdeling van nutriënten en water							
3.	Magnum Tabor	5, 12, 18 21, 25	21 → 25	14/17 18/21	+en-Ca	22-06-1995	kleurstof transport
Invloed van de trektemperatuur en beschikbaarheid van Ca op verdeling van nutriënten en water.							
4.	Magnum Tabor	14, 21, 26		14/17		02-08-1995	kleurstof transport
Gehalten Ca, K en Mg in delen (bladrand, top midden, basis midden) van blad 4, 8, 12, 16, 20 en 24. Karakterisering waterverdeling.							
5.	Magnum	21		17/20	+en-Ca +/-GA4/7	18-10-1995	Ca-vormen
Invloed van calcium en gibberelline op verdeling van groei binnen de krop en effecten op rood en bruine pit. Bepaling van diverse vormen van calcium in kropweefsel							
6.	Bea Tabor	19, 22, 26 29	22 → 26 22 → 29	16/19	v.o. GA4/7	22-11-1995	weefselspanning anatomie
Invloed van GA4/7 op stofverdeling binnen krop. Kwantificering weefselspanning binnen blad. Anatomische localisatie van roodverkleuring.							

Exp	Rassen	Trekduur (d)	Bewaring (d)	Temp. lucht/water	Voeding	Start trek	Extra metingen
7.	Rumba N-rijk/arm	trek PAGV	7 d		dompel CaCl <sub>2</sub>		samenstelling wit en rood
Gehalten Ca,K enMg in onderdelen blad van rode en witte kroppen. Experiment PAGV dompelbehandeling wortels.							
8.	Tabor (Z) N-rijk/arm	21, 24	21 →28 24 →31	15/17 RV 95% en lager	K/Ca 8/4 en 12/2 +/- NH <sub>4</sub>	12-02-1996	bl 12 van 3 rode en 3 witte per behandeling
Invloed van N-gehalte van de pen, voeding (K/Ca en NH <sub>4</sub> ) en RV tijdens de trek op roodverkleuring en gehalten van Ca, K en Mg in blad met en zonder rood.							
8a.	Tabor N (AB) rijk/arm	21, 24	21 →28 24 →31	15/17 RV 95% en lager	K/Ca 6/5 en 12/2	27-02-1996	blad 12 gew. pit
Invloed van het N-gehalte van de pen, voeding (K/Ca) en de RV tijdens de trek op roodverkleuring en gehalten van Ca, K en Mg in blad van kroppen met en zonder rood.							
9.	Tabor N (Z) rijk/arm	21, 23	21 → 27 23 → 29	13/15, RV 95% en lager	+ en - NH <sub>4</sub> K/Ca 8/4 →0/8 K/Ca 12/2	07-05-1996	4 roodklassen
Invloed van K-beschikbaarheid op rood. Effect van NH <sub>4</sub> Effect va RV. Eén blad (8-12) per krop verzameld per roodklasse voor analyse.							
10.	Tabor N (AB) rijk/arm	21 (WT17) 23 (WT15)	21 → 27 23 → 29	13/15 13/17	EC 1.5 en 2.7	18-06-1996	10 /beh rood/wit
Invloed worteltemp. en EC op rood. Oogst WT 15 bij zelfde kroggewicht als WT 17. Verschillen in eigenschappen rode en witte kroppen.							
11.	Bea PAV Tabor	22, 24 Bea 20,23 Tab	7	16/18 RV75/95%	PAV 0.7-1.0% EC 2.0	28-01-1997	Trek PAV, Bewaring AB
Bewaarprouf met materiaal getrokken op PAV. Wortels geteeld bij twee N- en twee K-trappen, met overigens weinig effect op gehalten in de wortel. Vanwege sterke roodverkleuring is het aantal bladeren met rood per krop bepaald.							

Exp Rassen	Trekduur (d)	Bewaring (d)	Temp. lucht/water	Voeding	Start trek	Extra metingen
12. Bea PAV Tabor	24,26 Bea 23,25 Tab	7	14/16 RV75/95%	PAV 0.7-1.0% EC 2.0	29-03-1997	Trek PAV, Bewaring AB
Roodontwikkeling na normale bewaring, in folie of op de pen. Wortels geteeld bij twee N- en twee K-trappen, met overigens weinig effect op gehalten in de wortel. Vanwege sterke roodverkleuring is het aantal bladeren met rood per krop bepaald.						
13. Bea PAV Tabor	24,27	7	14/16 RV 95%	PAV 0.7-1.0% EC 2.0	29-03-1998	Trek PAV, Bewaring AB
Roodontwikkeling bij normale bewaring en op de pen. Wortels geteeld bij 2 N-trappen, wortels met hoog N-gehalte 3 dagen eerder geoogst. Zeer veel rood in alle behandelingen, vooral bij Tabor.						
14. Tabor PAV	20,22,24, 27,hoog N	7	14/16	PAV 0.7-1.0% EC 2.0	21-04-1998	Trek PAV, Bewaring AB
Rood in afhankelijkheid van de oogstmoment en pitontwikkeling. Oogst bij 40, 45, 50 en 55% pit (laag N 2-3 dagen later geoogst), beoordeling na 7 d bij 12°C.						