

D 262

De Chemische Bodemvruchtbaarheid
en de

Groei van enige Rumex Soorten

Sytske de Vries

Laboratorium voor Plantenoecologie
Haren (Gn)

Doctoraalonderwerp
Begeleider: Dr. D.M. Pegtel
april 1982

Bibliotheek Biologisch Centrum
Kerklaan 30 — Postbus 14
9750 AA HAREN (Gn.)

Samenvatting

Op grond van correlatief veldonderzoek zijn reeksen van indicatoren voor graslandontwikkeling opgesteld, die geraadpleegd kunnen worden om na te gaan of verschraling of verrijking van de bodem optreedt. De verschralings/verrijkingsreeks van enige Rumex soorten is onder gecontroleerde condities getoetst. Een serie partiële onthoudingsproeven werd uitgevoerd, waarbij onder voedselarme condities werd nagegaan welke invloed de macronutriënten N, P, K en Ca op de groei van Rumex acetosella, R. acetosa en R. crispus hadden. Ook het effect van de pH werd onderzocht. Gebruik werd gemaakt van Bouwma/Janssen potten, waarbij de bovenste pot gevuld werd met katerveen. Met name fosfordeficiëntie leidde tot een afname in drooggewicht. Over de invloed van de pH kon geen uitspraak gedaan worden. Aansluitend zijn experimenten op watercultures uitgevoerd, waarbij de concentratie fosfor of de concentratie stikstof gevarieerd werd. Bij het stikstofexperiment werd ook de vorm van N (NH_4^+ of NO_3^-) gevarieerd. R. acetosella en R. acetosa reageerden niet significant op verhoging van de concentratie P; R. obtusifolius en R. crispus reageerden significant ($p < .01$). In beide stikstofexperimenten werd een significant ($p < .01$) concentratie-effect gevonden bij R. acetosella, R. acetosa en R. obtusifolius. Bij R. obtusifolius en R. acetosa werden bij de hoogste concentratie NH_4^+ toxische verschijnselen waargenomen. De onderzochte soorten hebben geen indicatorische waarde voor de macronutriënten N en P. Of dit voor kalium wel geldt zou onderzocht moeten worden.

Inhoud

Inleiding	1
Experimenteel Onderzoek	1
Langzame en Snelle Groeiers	2
Indicatoren	3
Vraagstelling	4
<hr/>	
Fosfor en Stikstof	5
Materiaal en Methode	8
Vorbereiding	8
Onthoudingsproeven	9
Watercultures	10
Gewichtsbepalingen	12
De Statistische Verwerking	13
Resultaten	13
Onthoudingsproeven	13
Watercultures	15
Fosforexperiment	15
Stikstofexperiment	20
Discussie	27
Onthoudingsproeven	27
Watercultures	28
Fosforexperiment	28
Stikstofexperiment	30
De Vorm van Stikstof	30
Beperkingen	32
Mogelijke Oecologische Betekenis	32
Literatuur	35
Bijlagen: A t/m F	

De Chemische Bodemvruchtbaarheid
en de
Groei van enige Rumex Soorten

Graslanden zijn vegetaties waarin kruidachtigen en meerjarige grassoorten domineren, soms samen met andere grasachtigen, zoals zeggen. ~~Graslanden komen voor op alle~~
grondbsoorten, zowel op voedselrijke en voedselarme, als op droge en natte gronden. Variatie in bodem en reliëf en een constant beheer in het verleden hebben geleid tot een grote verscheidenheid aan plantensoorten (RIN, 1979).

Bemesting en ontwatering kunnen echter verschuivingen van soortensamenstellingen binnen de vegetatie teweeg brengen. De ontwikkeling van de vegetatie onder invloed van bemesting is afhankelijk van abiotische factoren als bodemtype en daarmee samenhangende eigenschappen als pH, aeratie, humusgehalte, waterhuishouding en beschikbaarheid van plantenvoedende stoffen. Daarnaast spelen de soortelijke samenstelling en de hoeveelheidsverhoudingen van de afzonderlijke soorten in de uitgangssituatie een belangrijke rol (Klapp, 1965; Dirven & Neuteboom, 1975; Hoentjen, 1979).

Experimenteel Onderzoek

Experimenten ter bestudering van verschillende effecten van bemesting op de opbrengst en kwaliteit van permanent grasland zijn veelvuldig uitgevoerd (The Park Grass Experiment: Thurston, 1969). Gebleken is dat bij mengmestgiften (N-P-K-Mg) de productie in het algemeen toeneemt. Snel groeiende soorten komen tot dominantie, terwijl langzame groeiers verdrongen worden (Dirven & Neuteboom, 1975).

Ook uit experimenten onder gecontroleerde condities, waarbij de concentratie van essentiële mineralen als N, P en K gevarieerd wordt, blijkt dat verschil in groeisnelheid een belangrijke factor is bij de ontwikkeling van de

soortensamenstelling van een vegetatie onder voedselrijke of voedselarme omstandigheden (Bradshaw et al, 1960; Bradshaw et al, 1964; Rorison, 1968).

Langzame en Snelle Groeiers

Langzame en snelle groeiers kunnen op grond van fysiologische adaptatie onderscheiden worden in (Grime & Hunt, 1975; Stuart Chapin, 1980):

-
- a. Ruderale en competitieve soorten, aangepast aan een voedselrijke, doch verstoorde habitat; snel groeiende soorten.
 - b. Edafisch tolerante soorten, aangepast aan zowel een voedselrijke als een voedselarme habitat; snel groeiend onder rijke en langzaam onder arme omstandigheden.
 - c. Langzaam groeiende soorten, aangepast aan een voedselarme habitat.

Plantensoorten met een hoge relatieve groeisnelheid hebben een hoge absorptiecapaciteit van de wortel, waardoor veel nutriënten opgenomen kunnen worden, hetgeen nodig is voor de groei (Grime & Hunt, 1975; Stuart Chapin, 1980). De fotosynthese is afhankelijk van een hoge stikstofconcentratie in het blad. Afname van de stikstofconcentratie leidt tot afname van de fotosynthetische activiteit, waardoor tevens de groei geremd wordt. Slechts een blijvend hoge beschikbaarheid aan voedingsstoffen kan een snelle groei in stand houden. Als de voedingsstoffen slechts in beperkte mate beschikbaar zijn, zullen reserves uit o.a. de vacuoles aangesproken worden. De groeisnelheid en de fotosynthetische activiteit verminderen, de verhouding wortel:spruit neemt echter toe (Epstein, 1972; Stuart Chapin, 1980).

Soorten met een brede edafische tolerantie nemen een positie in tussen ruderale en competitieve soorten enerzijds en langzaam groeiende soorten anderzijds. Deze soorten kunnen zich redelijk handhaven onder relatief voedselarme omstandigheden, doch verhogen hun productie sterk bij een toename van de beschikbaarheid van voedingsstoffen.

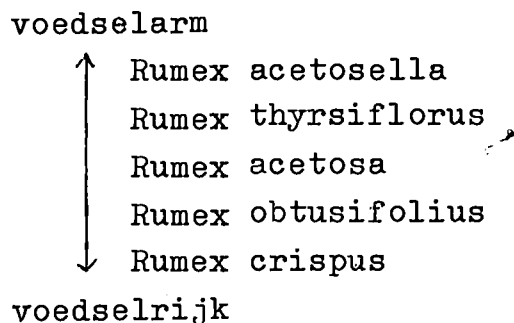
Langzaam groeiende plantensoorten zijn aangepast aan voedselarme plaatsen door een geringe fotosynthetische capaciteit. Deze soorten blijven meestal klein (Grime & Hunt, 1975; Stuart Chapin, 1980). Reeds bij een tijdelijke toename van aanbod aan voedingsstoffen kunnen langzame groeiers door zgn. "luxe consumptie", opname van voedingsstoffen boven het niveau dat noodzakelijk is voor de groei, reserves aanleggen (Clarkson, 1967; Stuart Chapin, 1980).

In situaties waarbij voedingsstoffen in beperkte mate beschikbaar zijn, kunnen de aldus aangelegde reserves aangebroken worden.

Ook snelle groeiers zijn in staat tot luxe consumptie. Het opnameniveau van voedingsstoffen dat nodig is voor de groei ligt echter hoger dan bij de langzame groeiers. Zo zal een snelle groeier bijvoorbeeld tijdens een tijdelijke toename van aanbod aan voedingsstoffen de opgenomen nutriënten in eerste instantie benutten voor de groei.

Indicatoren

Op grond van correlatief veldonderzoek zijn reeksen van indicatoren voor graslandontwikkeling opgesteld, die geraadpleegd kunnen worden om na te gaan of verschraling of verrijking van de bodem optreedt (RIN, 1979). Naast een aantal gras- en zeggesoorten is hierin een verschralings/verrijkingsreeks van enige soorten van het geslacht *Rumex* opgenomen. Deze reeks ziet er als volgt uit:



Rumex acetosella komt voor op droge tot vochthoudende, zandige tot lemige doch steeds kalkarme gronden, met

een pH tussen 3.5 en 5.0. Open plekken in droge heide, heidepadjes en bermen van zandwegen en arme, droge zandheuveltjes zijn plaatsen waar deze strikt kalkmijdende soort veelal aan te treffen is (Grime & Hodgson, 1969; Westhoff & Den Held, 1969). De maximale groeisnelheid van *R. acetosella* bedraagt 1.55 week^{-1} (Grime & Hunt, 1975).

~~Rumex acetosa is een soort van antropogene graslanden en natuurlijke of antropogene ruigtkruidengemeenschappen.~~
De vochtige tot natte bodems zijn matig tot zeer voedselrijk en kunnen uit uiteenlopende grondsoorten bestaan, al dan niet bemest (Westhoff & Van den Held, 1969). De zuurgraad van de bodem waar *R. acetosa* op voorkomt kan variëren van 3.0 tot 7.5. Deze soort met een brede edafische tolerantie wordt het meest aangetroffen bij een bodem-pH van 4 tot 4.5. De maximale groeisnelheid is 1.71 week^{-1} . (Grime & Hunt, 1975).

Rumex obtusifolius, een soort van stikstofrijke, relatief stabiele gradiëntmilieus, kan deel uit maken van verschillende plantengemeenschappen, inclusief bossen, velden en graslanden (Carvers & Harper, 1964; Westhoff & Den Held, 1969). Het bodemtype kan variëren, maar is meestal humeus en vochthoudend. De maximale groeisnelheid bedraagt 1.46 week^{-1} (Grime & Hunt, 1975).

Rumex crispus is een wijd verbreide soort, die voorkomt op bebouwde, grazige grond, met een niet al te lage zuurgraad. De nitrofiele gemeenschappen waar deze soort veelal deel van uitmaakt bestaat meestal uit hoogopschietende, overjarige plantensoorten (Carvers & Harper, 1964; Westhoff & Den Held, 1969; Heukels-van Ooststroom, 1975).

Vraagstelling

Doel van dit onderzoek is het toetsen van de verschrallings/verrijgingsreeks van de vier beschreven *Rumex* soorten.

Om het verband aan te tonen tussen het verhogen van de concentratie van bepaalde voedingsstoffen en de reactie daarop van verschillende plantensoorten is het doen van

experimenten onder gecontroleerde omstandigheden beslist noodzakelijk (Fitter & Hay, 1981). Veldexperimenten hebben het voordeel dat eventuele veranderingen onder natuurlijke omstandigheden gevolgd kunnen worden. Bij dergelijke experimenten is het echter vaak bijzonder moeilijk het verband tussen oorzaak en gevolg te leggen. Zo kan bijvoorbeeld verhoging van de P-concentratie leiden tot toename van de groei van onderzochte soorten, maar afname van de groei van de concurrenten door de toxische werking van de concentratie fosfor. Bovendien kan stikstoffixatie door leguminosen gestimuleerd worden (Fitter & Hay, 1981).

De verschravings/verrijkingsreeks is dan ook onder gecontroleerde condities getoetst, waarbij korte termijn effecten geïnterpreteerd werden. De volgende vraagstelling is geformuleerd: Zijn de begrippen voedselarm en voedselrijk te definiëren in relatie tot respectievelijk *Rumex acetosella*, *R. acetosa*, *R. obtusifolius* en *R. crispus*? Hiertoe is antwoord gezocht op de volgende deelvragen: Wat is voor genoemde soorten de invloed op de groei van: 1. de pH, 2. de concentratie van fosfor en 3. de concentratie en de vorm van stikstof.

Fosfor en Stikstof

Fosfor is in de bodem aanwezig als organisch gebonden fosfaat en als anorganisch fosfaat.

Van de totale hoeveelheid fosfor kan 20-65% organisch gebonden zijn en pas na mineralisatie door de plant opgenomen worden. De snelheid van mineralisatie is afhankelijk van de aeratie, de temperatuur, de pH en het vochtgehalte van de bodem. Anorganisch fosfaat bestaat uit geadsorbeerd fosfaat (bijvoorbeeld aan klei) en fosfaatverbindingen (mineralen).

De fosfaat beschikbaarheid is de gemiddelde toevoersnelheid van bodemfosfaat naar de plantenwortel (De Leeuw, 1980). Daar fosfor in de vorm van orthofosfaat direct opneembaar is, spelen de concentratie van orthofosfaat ionen

en de snelheid waarmee deze fractie aangevuld wordt, een belangrijke rol.

Naast een groot aantal bodemfactoren is in het veld het totale volume dat de wortel exploreert van groot belang, evenals de eigenschap bij lage concentraties toch fosfaat te kunnen absorberen.

Gebleken is dat soorten van een voedselarm milieu nauwelijks of minder sterk reageren op een hoge fosfaatgift (Bradshaw, 1960; Clarkson, 1967; Rorison, 1968). Soorten van een voedselrijk milieu zullen relatief eerder fosfor deficiëntie verschijnselen, in de vorm van vertraagde groei, donkergroen blad met rode bladrand, vertonen.

Mineraal stikstof is in de bodem aanwezig als nitraat en/of ammonium. De nitraten zijn allen opgelost in de bodemoplossing, tenzij de grond uitdroogt; het meeste ammonium is geadsorbeerd aan het uitwisselingscomplex. De totale hoeveelheid minerale stikstof in de bodem hangt af van de snelheid waarmee de stikstof verdwijnt door uitspoeling, groei van planten en groei van bodemorganismen (Pegtel, 1981). In een zure bodem met een pH lager dan 5 wordt de activiteit van Nitrosomas en Nitrobacter sterk gereduceerd, waardoor omzetting van ammonium in nitraat niet of nauwelijks plaatsvindt. Planten op een zure bodem zijn dan ook voornamelijk op ammoniak als stikstofbron aangewezen (Gigon & Rorison, 1972).

Alhoewel planten in het algemeen in staat zijn zowel ammoniak als nitraat op te nemen, is gebleken dat, afhankelijk van de soort, vaak een bepaalde voorkeur bestaat voor òf nitraat of ammoniak en nitraat als stikstofbron. Deze voorkeur hangt samen met de oecologische distributie van de soort (Gigon & Rorison, 1972; Haynes, 1978; Hurkens, 1978).

Vele zuurminnende planten groeien niet of nauwelijks met uitsluitend NO_3^- voeding. Oorzaak hiervan kan zijn de toxische werking van nitraat (geïnduceerd ijzergebrek) of gebrek aan het enzym nitraatreductase, waardoor in de plant niet voldoende nitraat gereduceerd kan worden (Hurkens, 1978).

Soorten van een alkalische bodem prefereren gemengde N-voeding of NO_3^- (Hurkens, 1978). Bij deze soorten treden toxische verschijnselen op bij relatief lage concentraties als NH_4^+ de stikstofbron is (Marthaler, 1937; Gigon & Rorison, 1972). Symptomen van NH_4^+ toxiciteit zijn vooral beperkte wortelpenetratie en een vaal groene kleur van het blad (Kirkby & Mengel, 1967; Gigon & Rorison, 1972).

Ruderale plantensoorten vertonen geen sterke voorkeur wat stikstofbron betreft. Daar deze soorten veelal op voedselrijke standplaatsen voorkomen, is een hoog N-gehalte van groter belang (Hurkens, 1978). Gebleken is dat de vorm waarin stikstof opgenomen wordt consequenties heeft voor zowel de omgeving van de plant als voor de plant zelf. Is ammoniak de stikstofbron, dan zal door uitscheiding van H^+ ionen de pH van het wortelmilieu dalen. Met nitraat als stikstofbron zal de plant echter OH^- ionen uitscheiden, waardoor de pH van het wortelmilieu stijgt (Kirkby & Mengel, 1967; Gigon & Rorison, 1972; Haynes, 1978).

In de plant zal de ionenbalans veranderen onder invloed van NH_4^+ of NO_3^- opname. NH_4^+ concurreert met de kationen Ca, Mg en K en stimuleert P opname. NO_3^- daarentegen bevordert de opname van K, Ca en Mg (Haynes, 1978). Verstoring van de ionenbalans onder NH_4^+ of NO_3^- voeding wordt opgeheven door resp. uitscheiding van H^+ ionen en een toename van vrije basische aminozuren in de plant, of uitscheiding van OH^- ionen en toename van synthese van organische zuren (Kirkby & Mengel, 1967; Haynes, 1978).

In het algemeen uit stikstofdeficiëntie zich door algehele chlorosis t.g.v. afname in fotosynthetische activiteit, achterblijven in groei en toename van de verhouding wortel: spruit (Epstein, 1972; Stuart Chapin, 1980).

Materiaal en Methode

Om tot een beter inzicht betreffende de begrippen voedselarm en voedselrijk in relatie tot *Rumex acetosella*, *R. acetosa*, *R. obtusifolius* en *R. crispus* te komen, zijn experimenten uitgevoerd op monolieten en watercultures.

De monolieten, ook wel Bouwma/Janssen potten genoemd (Muller, 1979), werden gebruikt om een serie onthoudingsproeven uit te voeren. Hiertoe werd de bovenste pot gevuld met een voedselarme grondsoort, terwijl de onderste pot een voor een bepaald mineraal deficiënte voedingsoplossing bevatte. Uit de resultaten van deze proef zou moeten blijken welke mineralen onder voedselarme omstandigheden de meeste invloed uitoefenen op de groei van genoemde soorten.

Aansluitend op de onthoudingsproeven werden twee experimenten uitgevoerd op beluchte watercultures. Om na te gaan bij welke concentraties de grootste effecten optreden, werden resp. P en N in verschillende concentraties aangeboden. De concentraties waren gebaseerd op literatuurgegevens (Bradshaw, Chadwick, Jowett, Lodge & Snaydon, 1964; Asher & Loneragan, 1967; Rorison, 1968). Bij het stikstofexperiment werd naast de concentratie tevens de vorm van stikstof gevarieerd.

Vorbereiding

Afhankelijk van de proef werd als fytometer gebruikt:

Rumex acetosella (vindplaats populierenlaantje, 4.9.'79, òf ruilverkaveling Tynaarlo, 5.9.'79)

Rumex acetosa (vijver Biologisch Centrum, 12.6.'79)

Rumex obtusifolius (Schiermonnikoog, de Monnik, 27.9.'80)

Rumex crispus (geleverd door zaadhandel Kieft, 5.'81)

Door de beperkte H₂O opname kiemden de zaden van *Rumex acetosella* en *R. obtusifolius* nauwelijks tot niet. Deze zaden werden geruwd door ze gedurende zes uur in een pot met grint te schudden (60 omwentelingen per minuut) en om te wentelen in een schudmachine.

Kiëming vond plaats in plastic kiëmbakjes bij een temperatuur van 25 °C, twaalf uur licht en twaalf uur donker (Cavers & Harper, 1964). De kiëmplantjes voor de monolieten werden opgekweekt op gewassen rivierzand en twee maal bemest met een 100% Hoagland oplossing. Voor de watercultures werden de planten opgekweekt op een mengsel van potgrond en zand, verhouding 2:1.

Na circa twintig dagen werden kiëmplanten van gelijke grootte geselecteerd en overgebracht op monoliet of waterculture.

Onthoudingsproeven

Als voedselarme grondsoort werd in eerste instantie gekozen voor C-zand met een pH van 4.8. Door de problemen die ontstonden, werd het experiment opnieuw uitgevoerd met in de bovenste pot katterveen met een pH van 2.8. Aan de hand van een vooraf geconstrueerde titratiecurve werd de pH gevarieerd m.b.v. Ca(OH)₂ en op resp. 4.8 en 5.8 gebracht. De onderste pot, met een inhoud van twaalf liter, werd gevuld met een standaard voedingsoplossing (Steiner, 1961), waaraan stikstof, fosfor, kalium of calcium onthouden werd. Tevens werd een serie met een complete voedingsoplossing ingezet (Tabel 1).

Tabel 1.

Voedingsoplossing volgens Steiner (1961)¹⁾

	M	compleet	-N	-P	-K	-Ca
K ₂ HPO ₄	1	0.67 (2)	0.83	-	-	0.61
K ₂ SO ₄	0.5	2.00	5.00	2.71	-	-
KNO ₃	1	2.00	-	2.03	-	7.27
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.01	-	-	-	37.80	-
CaSO ₄	0.01	-	375.00	-	113.30	-
Ca(NO ₃) ₂	1	3.00	-	3.05	4.53	-
MgSO ₄	1	1.33	1.67	1.36	1.51	2.12

Noten: 1. Osmotische waarde 0.48 atm. bij 20 °C
 2. Alle waarden ml l⁻¹, pH variabel.

Per tien liter voedingsoplossing werd 1 ml Fe-rexeno-
l en 1 ml sporenelementen toegevoegd (zie Bijlage A).

Fytometer bij deze proef waren Rumex acetosella (ruil-
 ver**k**aveling Tynaarlo), R. acetosa (vijver Biologisch cen-
 trum) en R. crispus (zaadhandel Kieft). Per pot werden
 vijf planten gepoot. De proef werd in duplo uitgevoerd.

Tijdens de proefperiode werd bij twintig random geko-
 zen emmers het pH verloop van het katterveen gevolgd (pH-
 meter met glazen Ag/AgCl electrode).

Watercultures

Plastic bakjes werden gevuld met 5.7 liter voedingsoplos-
 sing (Rorison, 1968; zie Hewitt, 1966, Tabel 30c). De pH
 werd dagelijks gecontroleerd en bijgesteld door toevoeging
 van 1 M H₂SO₄ of 0.1 M NaOH (pH meter met glazen Ag/AgCl
 electrode).

Bij het fosfor experiment werd 31, 3.1, 0.31,
 0.031 of 0.0031 ppm P aangeboden in de vorm van K₂HPO₄.
 Kalium tekorten werden opgeheven door toevoeging van K₂SO₄.
 Tabel 2 geeft de samenstelling van de gebruikte oplossing.

Tabel 2.

Voedingsoplossing volgens Rorison (1968),
 met resp. 31 (1), 3.1 (2), 0.31 (3), 0.031:
 (4) en 0.0031 (5) ppm P.

	M	1	2	3	4	5
Ca(NO ₃) ₂	1	2 (1)	2	2	2	2
MgSO ₄	1	1	1	1	1	1
K ₂ HPO ₄	1	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
K ₂ SO ₄	0.5		1.8	1.98	2.00	2.00

Noot: 1. Alle waarden ml l⁻¹.

Per tien liter voedingsoplossing werd toegevoegd 1 ml
 Fe-rexeno**l** en 1 ml sporenelementen. (zie Bijlage A).

De oplossingen in de bakjes werden wekelijks ververst. Het experiment werd uitgevoerd bij een pH van 4.8.

Per bakje werden acht planten ingezet. Fytometer bij dit experiment waren Rumex acetosella (ruilverkaveling Ty-naarlo), R. acetosa (vijver Biologisch centrum), R. obtusifolius (Schiermonnikoog) en R. crispus (zaadhandel Kieft).

Om concurrentie- en beschadwingseffecten tot een minimum te beperken werd geoogst na 21 dagen.

Gedurende het experiment bedroeg de gemiddelde maximum temperatuur 23 °C en de gemiddelde minimum temperatuur 18 °C. De gemiddelde luchtvochtigheid varieerde van 37% maximaal tot 27% minimaal.

Bij het stikstofexperiment werd 56.00, 11.20, 2.24, 0.45 of 0.09 ppm N aangeboden in de vorm van $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Calcium tekorten werden opgeheven door toevoeging van CaSO_4 . De Tabellen 3 en 4 geven de samenstelling van de oplossingen.

Tabel 3.

Voedingsoplossing volgens Rorison (1968), met resp. 56 (1), 11.20 (2), 2.24 (3), 0.45 (4) en 0.09 (5) ppm N in de vorm van NO_3^- .

	M	1	2	3	4	5
MgSO_4	1	1 (1)	1	1	1	1
K_2HPO_4	1	1	1	1	1	1
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1	2	0.4	0.08	0.016	0.0032
CaSO_4	0.01		160	192	198.40	199.68

Noot: 1. Alle waarden ml l^{-1} .

Per tien liter voedingsoplossing werd 1 ml Fe-rexanol en 1 ml sporenelementen toegevoegd (zie Bijlage A). De pH van de oplossing werd gebracht op 5.8. De ammoniak reeks werd twee maal per week, de nitraat reeks één maal per week ververst. Aan het einde van het experiment werd bij enkele

Tabel 4.

Voedingsoplossing volgens Rorison (1968),
met resp. 56 (1), 11.20 (2), 2.24 (3), 0.45
(4) en 0.09 (5) ppm N in de vorm van NH_4^+ .

	M	1	2	3	4	5
MgSO_4	1	1 (1)	1	1	1	1
K_2HPO_4	1	1	1	1	1	1
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1	2	0.4	0.08	0.016	0.0032
CaSO_4	0.01		160	192	198.40	199.68

Noot: 1. Alle waarden ml l^{-1} .

monsters van de voedingsoplossing van de ammoniakreeks een stikstof en een ammoniakbepaling gedaan, om na te gaan of door het beluchten omzetting van NH_4^+ in NO_3^- had plaatsgevonden.

Fytometer bij het stikstofexperiment waren *Rumex acetosella* (populierenlaantje), *R. acetosa* (vijver Biologisch centrum) en *R. obtusifolius* (Schiermonnikoog). Per bakje werden acht planten ingezet; door een tekort aan enigszins gelijke kiemplantjes werden van de soort *R. acetosella* slechts zes kiemplantjes per bakje ingezet. Na 33 dagen werd geoogst.

Gedurende het experiment bedroeg de gemiddelde maximum temperatuur 23°C en de gemiddelde minimum temperatuur 16°C . De gemiddelde luchtvochtigheid varieerde van 37% (maximaal) tot 27% (minimaal).

Gewichtsbepalingen

Na de oogst van de potproeven werd het versgewicht en het drooggewicht van de spruit bepaald.

Na de oogst van de experimenten op watercultures werd het versgewicht van de wortel en van de spruit bepaald. Voor het bepalen van de drooggewichten werd het plantenmateriaal gedurende 48 uur bij 70°C gedroogd in een droogstoof.

De Statistische Verwerking

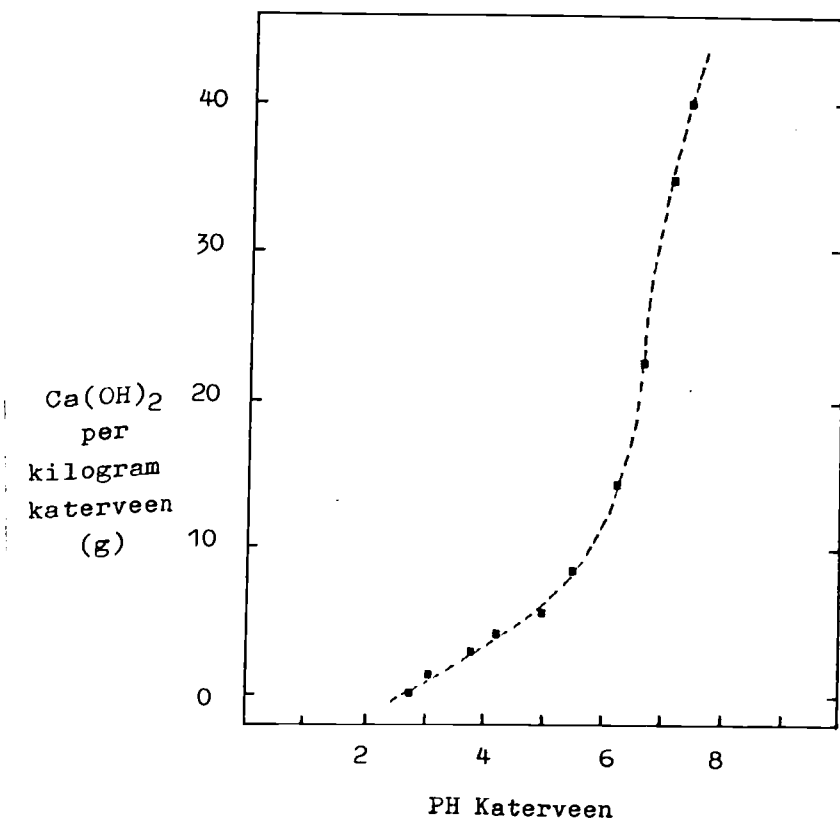
De statistische analyses van de watercultures werden uitgevoerd m.b.v. het SPSS-programma (Nie, Hadlai Hull, Jenkins, Steinbrenner, & Best, 1975). Naast een eenwegvariancie-analyse werd per experiment en per Rumex soort op getransformeerde data een Duncan multiple range test uitgevoerd. Zie ook Bijlage F.

Resultaten

Onthoudingsproeven

De resultaten van het experiment met C-zand als voedselarme grondsoort worden buiten beschouwing gelaten.

De titratiecurve van katerveen wordt weergegeven in Figuur 1. De Tabellen 5 en 6 geven een overzicht van het



Figuur 1. Titratiecurve van katerveen.

Tabel 5.

Gemiddeld Drooggewicht (g) van de Spruit van Rumex acetosella, R. acetosa en R. crispus bij een pH van Katerveen van 4.8 en bij een Voedingsoplossing die compleet of deficiënt aan P, N, K of Ca is.

Fytometer	Conditie				
	compl.	-P	-N	-K	-Ca
R. acetosella	2.43 (n=3)	0.75 (n=3½)	3.52 (n=4)	1.82 (n=4)	3.39 (n=3½)
R. acetosa	3.01 (n=3½)	0.33 (n=4)	2.21 (n=4)	2.08 (n=4)	2.17 (n=4)
R. crispus	11.03 (n=1)	0.33 (n=1)	1.33 (n=2)	2.36 (n=4)	8.86 (n=2½)

Tabel 6.

Gemiddeld Drooggewicht (g) van de Spruit van Rumex acetosella, R. acetosa en R. crispus bij een pH van Katerveen van 5.8 en bij een voedingsoplossing die compleet, of deficiënt aan P, N, K of Ca is.

Fytometer	Conditie				
	compl.	-P	-N	-K	-Ca
R. acetosella	3.68 (n=3)	1.07 (n=3)	3.65 (n=2½)	1.61 (n=2½)	2.65 (n=3½)
R. acetosa	2.48 (n=2)	0.63 (n=2½)	1.68 (n=2)	0.69 (n=1½)	1.15 (n=3)
R. crispus	4.27 (n=2)	0.71 (n=3½)	0.58 (n=1)	0.91 (n=3½)	2.43 (n=4½)

gemiddeld drooggewicht van *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. crispus* na een groeiperiode van elf weken onder verschillende condities. Zowel bij de reeks met een pH van het katterveen van 4.8 als die met een pH van het katterveen van 5.8 neemt in vergelijking tot de complete serie het gemiddeld drooggewicht van *R. acetosella*, *R. acetosa* en *R. crispus* duidelijk af onder fosfordeficiënte omstandigheden. Ook stikstof-, kalium- en calcium deficiëntie leiden onder voedselarme condities tot een afname aan drooggewicht van *R. acetosa* en *R. crispus*. Bij de reeks met pH 4.8 is het gemiddeld drooggewicht van *R. acetosella* onder stikstof- of calciumdeficiëntie iets hoger; hierbij dient echter vermeld te worden dat de spreiding onder beide condities bijzonder hoog was.

Bijlage A bevat een Tabel met het pH verloop van het katterveen dat tijdens de groeiperiode gevolgd is bij 20 emmers.

Verdere experimenten zijn uitgevoerd op watercultures. N.a.v. de in de potproeven waargenomen tendens is in eerste instantie een fosforexperiment uitgevoerd, met daarop aansluitend een stikstof experiment.

Watercultures

Tabel 7 geeft de Pearson correlatiecoëfficiënt r over alle experimenten op watercultures ($n=374$) tussen de verschillende gemeten variabelen. Uit de Tabel blijkt dat alle variabelen hoog correleren, met uitzondering van de verhouding drooggewicht wortel/drooggewicht spruit. Per experiment zal volstaan kunnen worden met het analyseren van het drooggewicht van de spruit en de verhouding drooggewicht wortel/drooggewicht spruit bij verschillende concentraties fosfor en stikstof.

Van alle figuren waarnaar in de tekst verwezen wordt zijn tabellen (gemiddelden en standaarddeviaties) in de Bijlagen opgenomen.

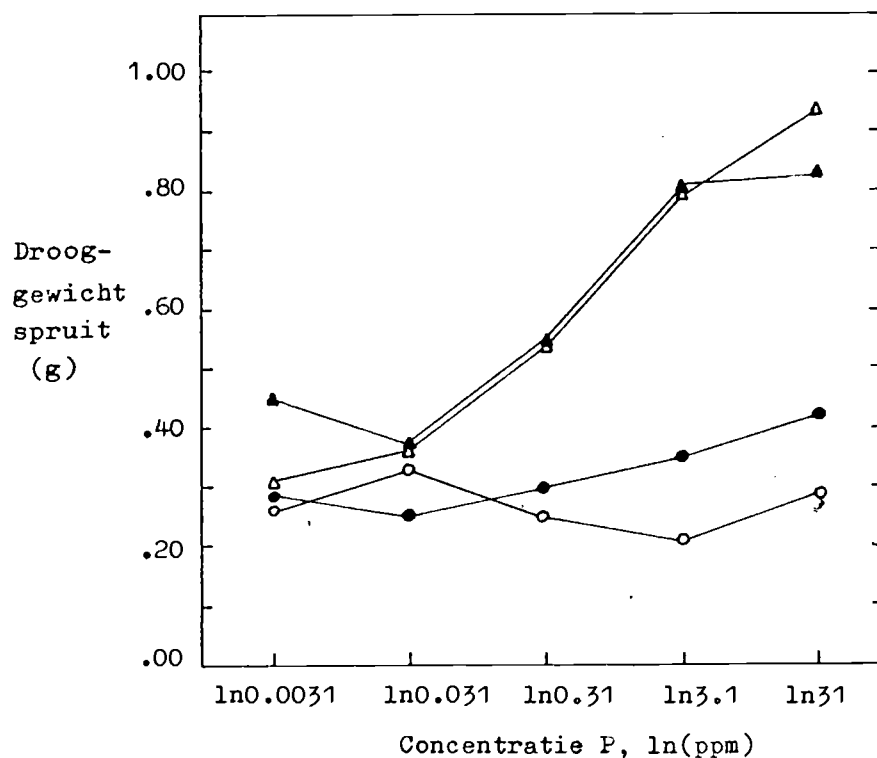
Fosforexperiment. Figuur 2 geeft het drooggewicht van de spruit van *Rumex acetosella*, *R. acetosa*, *R. obtusi-*

Tabel 7.

Pearson Correlatiecoëfficiënt tussen de verschillende Variabelen over alle Experimenten op Watercultures.

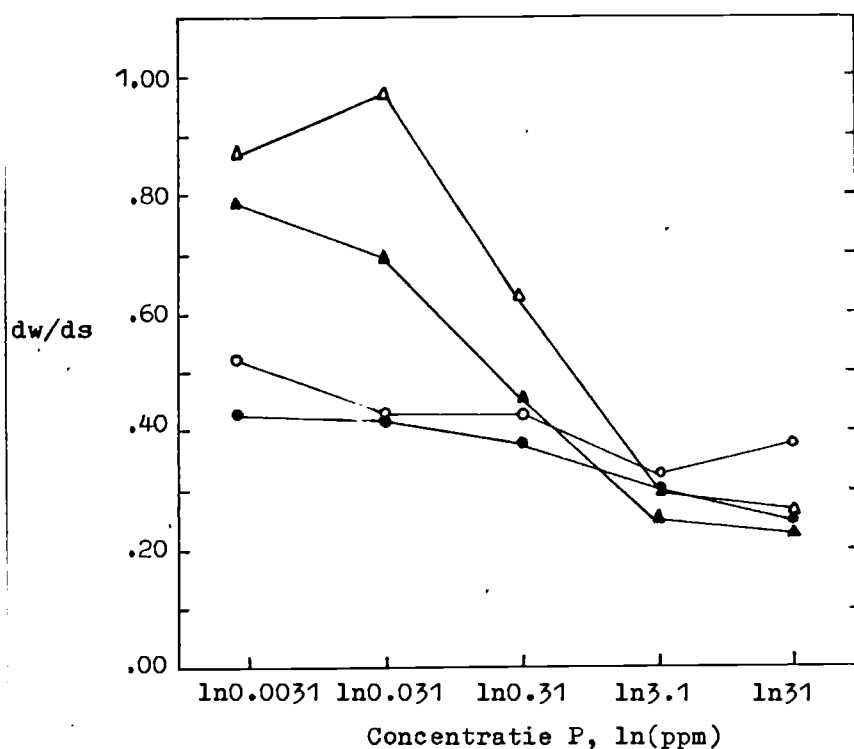
	vs	ds	vw	dw	v	d
Versgewicht Spruit						
Drooggewicht Spruit	.95					
Versgewicht Wortel	.75	.74				
Drooggewicht Wortel	.55	.64	.84			
Versgewicht Totaal	.99	.95	.85	.65		
Drooggewicht Totaal	.91	.97	.83	.80	.94	
Drooggewicht Wortel/ Drooggewicht Spruit	-.47	-.47	-.17	-.07 ^z	.29	

Noten: n=374, p<.001, bij ^z n.s.



Figuur 2. Drooggewicht spruit na 21 dagen van Rumex acetosella (●), R. acetosa (○), R. obtusifolius (▲) en R. crispus (△) bij verschillende concentraties fosfor.

folius en *R. crispus* na 21 dagen, uitgezet tegen de concentratie (ln ppm). Uit Figuur 2 blijkt dat *R. acetosella* iets toeneemt in drooggewicht van de spruit bij een toename van de fosfor concentratie. *R. acetosa* reageert niet op een verandering van de concentratie fosfor; dit in tegenstelling tot *R. obtusifolius* en *R. crispus*, die t.o.v. de lagere concentraties bij de hoogste twee fosfor concentraties sterk in drooggewicht zijn toegenomen.



Figuur 3. Drooggewicht wortel/Drooggewicht spruit (dw/ds), na 21 dagen, van *Rumex acetosella* (●), *R. acetosa* (○), *R. obtusifolius* (▲) en *R. crispus* (△) bij verschillende concentraties fosfor.

De verhouding drooggewicht wortel/drooggewicht spruit na 21 dagen van de vier soorten *Rumex* bij verschillende concentraties fosfor, is weergegeven in Figuur 3. De wortel spruit verhouding neemt voor alle vier de soorten onder lager wordende fosforconcentraties toe. De wortel spruit verhouding van *Rumex acetosella* en *R. acetosa* wordt minder

beïnvloed door de variatie van de fosforconcentratie dan deze verhouding bij *R. obtusifolius* en *R. crispus*.

De planten van *Rumex obtusifolius* en *R. crispus* vertoonden reeds bij een P-concentratie van 0.31 ppm P-gebrek. Bij *R. obtusifolius* kwam dit tot uiting door vele rode pigmenten in de bladnerf. Alleen bij de laagste concentratie vertoonde *R. acetosa* deficiëntie symptomen. De bladeren waren donkergroen van kleur en hadden een paars-rode bladrand.

Tabel 8 geeft de resultaten van de eenweg variantie analyse die uitgevoerd is per *Rumex* soort op getransformeerde data, met als factor de concentratie P (vijf niveaus). Uit deze tabel blijkt dat het drooggewicht van de

Tabel 8.

F-waarden van de eenweg-variantie-analyse's uitgevoerd voor de verschillende *Rumex* soorten met als factor de concentratie P (5 niveau's).

Soort	Variabele			
	drooggewicht spruit		wortel/spruit	
	F	p<	F	p<
<i>R. acetosella</i>	1.69	n.s.	6.09	.01
<i>R. acetosa</i>	1.08	n.s.	2.77	.05
<i>R. obtusifolius</i>	9.07	.01	71.73	.01
<i>R. crispus</i>	44.78	.01	214.34	.01

Noot: df zijn overal 35,4

spruit van *Rumex acetosella* en *R. acetosa* niet significant veranderen onder invloed van de fosfor concentratie. De verhouding drooggewicht wortel/drooggewicht spruit verandert bij zowel *R. acetosella* ($p < .01$) als *R. acetosa* ($p < .05$) significant. Bij *R. obtusifolius* en *R. crispus* verandert zowel het drooggewicht van de spruit als de verhouding wortel/spruit significant ($p < .01$) bij verschillende concentraties fosfor.

Tabel 9.

Significante ($p < .01$) Verschillen tussen Drooggewicht Spruit, en Drooggewicht Wortel/Drooggewicht Spruit bij verschillende concentraties P.¹⁾

Soort	Variabele	
	drooggewicht spruit	wortel/spruit
R. acetosella	<u>4 3 5 2 1</u> ²⁾	<u>1 2 3 4 5</u>
R. acetosa	<u>2 3 5 1 4</u>	<u>2 1 3 4 5</u>
R. obtusifolius	<u>4 5 3 2 1</u>	<u>1 2 3 4 5</u>
R. crispus	<u>5 4 3 2 1</u>	<u>1 2 3 5 4</u>

Noten: 1. De gewichten zijn steeds op grootte gerangordend.

Bij concentraties die door een ononderbroken streep met elkaar verbonden zijn, zijn de verschillen tussen de gemiddelden niet significant (Duncan's multiple range a posteriori test, Little & Hills, 1978).

2. De concentraties zijn: 1=31 ppm; 2=3.1 ppm; 3=0.31 ppm; 4=0.031 ppm; 5=0.0031 ppm.

De resultaten van Duncan's multiple range test zijn samengevat in Tabel 9.

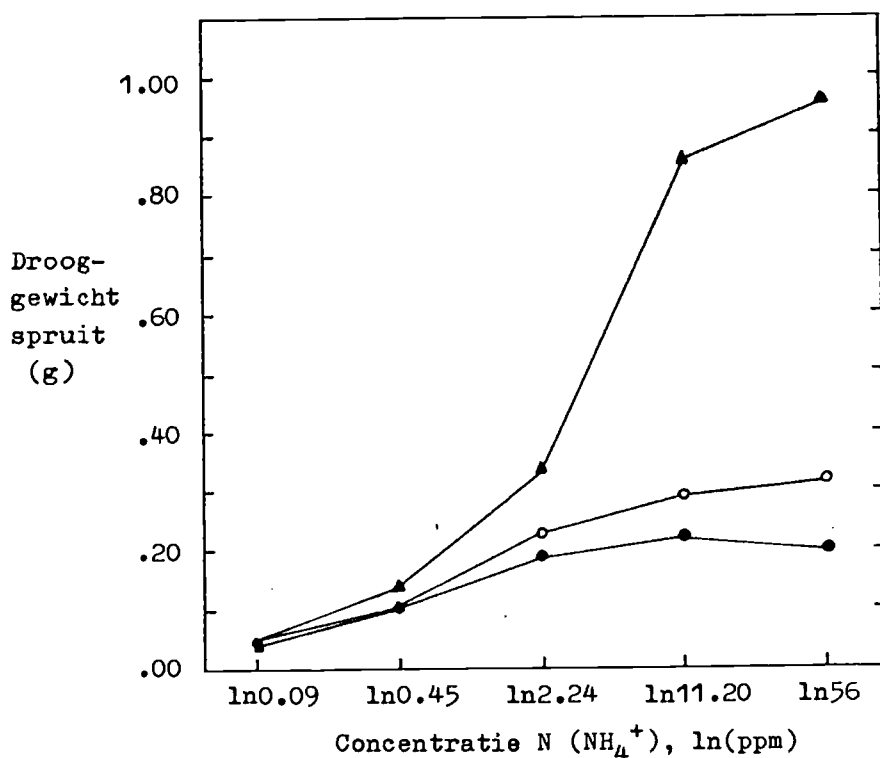
Tabel 10.

Drooggewicht Spruit uitgedrukt in % van het maximum bereikte Gewicht, voor de vier Rumex Soorten bij verschillende Concentraties Fosfor.

Soort	ppm P				
	31.00	3.1	0.31	0.031	0.0031
R. acetosella	100%	84.34%	71.37%	61.13%	68.96%
R. acetosa	87.34%	64.25%	75.30%	100%	78.34%
R. obtusifolius	100%	97.28%	66.77%	45.62%	53.78%
R. crispus	100%	84.13%	57.60%	37.99%	33.07%

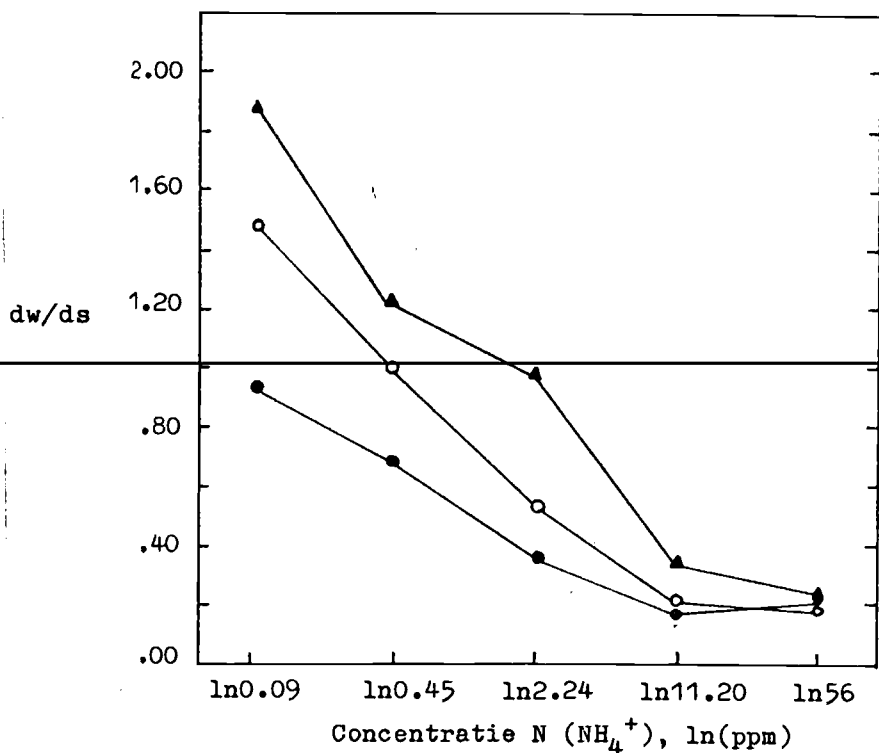
Uit Tabel 10 blijkt dat met name *Rumex crispus* bij de lagere concentraties afneemt in drooggewicht spruit ten opzichte van de hoogste concentratie.

Stikstofexperiment. Het drooggewicht (g) van de spruit en de wortel/spruit verhouding na 33 dagen van *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. obtusifolius* uitgezet tegen de concentratie NH_4^+ (ln ppm) zijn weergegeven in de Figuren 4 en 5. Uit Figuur 4 blijkt dat de onder-



Figuur 4. Drooggewicht spruit na 33 dagen van *R. acetosella* (●), *R. acetosa* (○), en *R. obtusifolius* (▲) bij verschillende concentraties stikstof, als NH_4^+ .

zochte soorten allen toenemen in drooggewicht van de spruit bij verhoging van de concentratie NH_4^+ . Vooral *R. obtusifolius* is ten opzichte van de lagere concentraties bij 11.20 ppm en 56.00 ppm N zeer sterk in drooggewicht spruit toegenomen. Figuur 5 laat zien dat de wortel/spruit verhouding sterk afneemt bij hoger worden de concentraties NH_4^+ .



Figuur 5. Drooggewicht wortel/Drooggewicht spruit (dw/ds) na 33 dagen van *Rumex acetosella* (\blacklozenge), *R. acetosa* (\circ) en *R. obtusifolius* (\blacktriangle) bij verschillende concentraties stikstof, als NH_4^+ .

Bij de oogst vertoonden de planten van *Rumex obtusifolius* bij een NH_4^+ gift van 56.00 ppm toxische verschijnselen. De bladeren hadden een vaal groene kleur en waren enigszins omgekruld, terwijl het wortelstelsel zich voornamelijk verticaal ontwikkelde had. Planten van *R. acetosa* hadden eveneens bij de hoogste concentratie een licht aangetast wortelstelsel; planten van *R. acetosella* maakten bij dezelfde concentratie bij de oogst een gezonde indruk.

De Tabellen 11 en 12 geven de resultaten van de variantie-analyse en Duncan's multiple range test; deze werden uitgevoerd op getransformeerde data. Uit Tabel 11 blijkt dat bij *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. obtusifolius* zowel het drooggewicht van de spruit als de wortel/spruit verhouding significant ($p < .01$) veranderen ten gevolge van de variatie van de NH_4^+ concentratie.

Tabel 11.

F-waarden van de éénweg-variantie-analyse's uitgevoerd voor de verschillende Rumex soorten met als factor de concentratie N (als NH_4^+ , 5 niveau's).

Soort	Variabele			
	drooggewicht spruit		wortel/spruit	
	F	p <	F	p <
R. acetosella	11.10	.01	87.71	.01
R. acetosa	85.57	.01	153.46	.01
R. obtusifolius	140.90	.01	88.86	.01

Noot: df: 35,4; voor R. acetosella 25,4.

Tabel 12.

Significante ($p < .01$) Verschillen tussen Drooggewicht Spruit, en Drooggewicht Wortel/Drooggewicht Spruit bij verschillende concentraties N (als NH_4^+).¹⁾

Soort	Variabele									
	drooggewicht spruit					wortel/spruit				
R. acetosella	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>2</u> ²⁾	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
R. acetosa	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
R. obtusifolius	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>

Noten: 1. Zie Tabel 9

2. De concentraties zijn: 1=56 ppm; 2=11.20 ppm; 3=2.24 ppm; 4=0.45 ppm; 5=0.09 ppm.

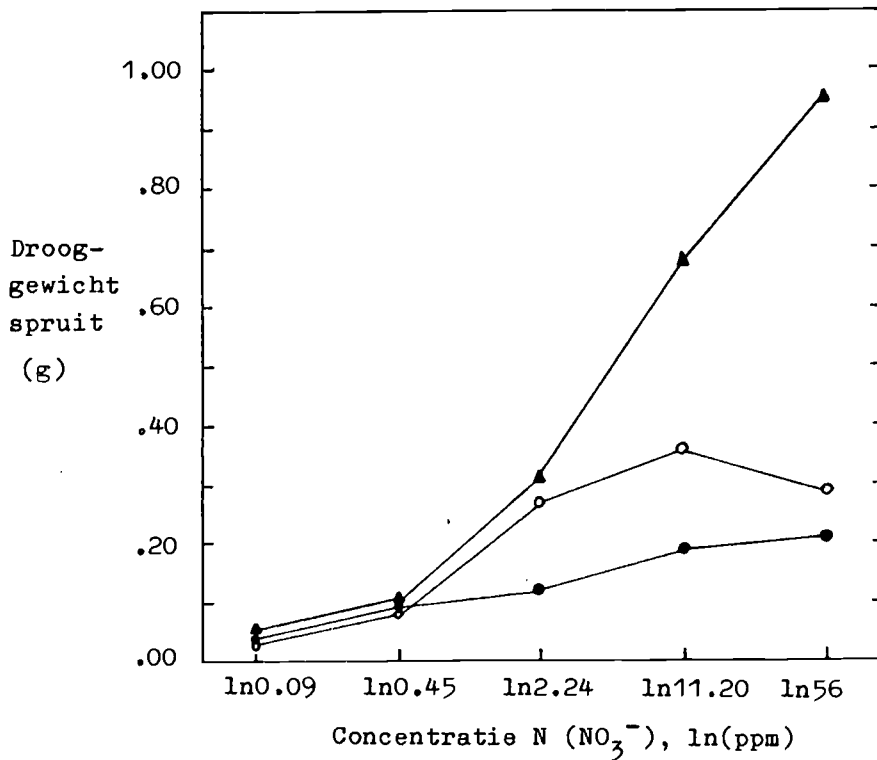
Tabel 13.

Drooggewicht Spruit uitgedrukt in % van het maximum bereikte Gewicht, voor drie Rumex soorten bij verschillende Concentraties NH_4^+ .

Soort	ppm NH_4^+				
	56.00	11.20	2.24	0.45	0.09
R. acetosella	90.84%	100%	85.52%	43.52%	16.81%
R. acetosa	100%	91.72%	72.82%	30.30%	15.34%
R. obtusifolius	100%	89.60%	36.02%	14.57%	5.51%

Uit Tabel 13 blijkt dat alle drie de soorten bij de laagste concentratie drooggewicht spruit afnemen t.o.v. de hogere concentraties NH_4^+ .

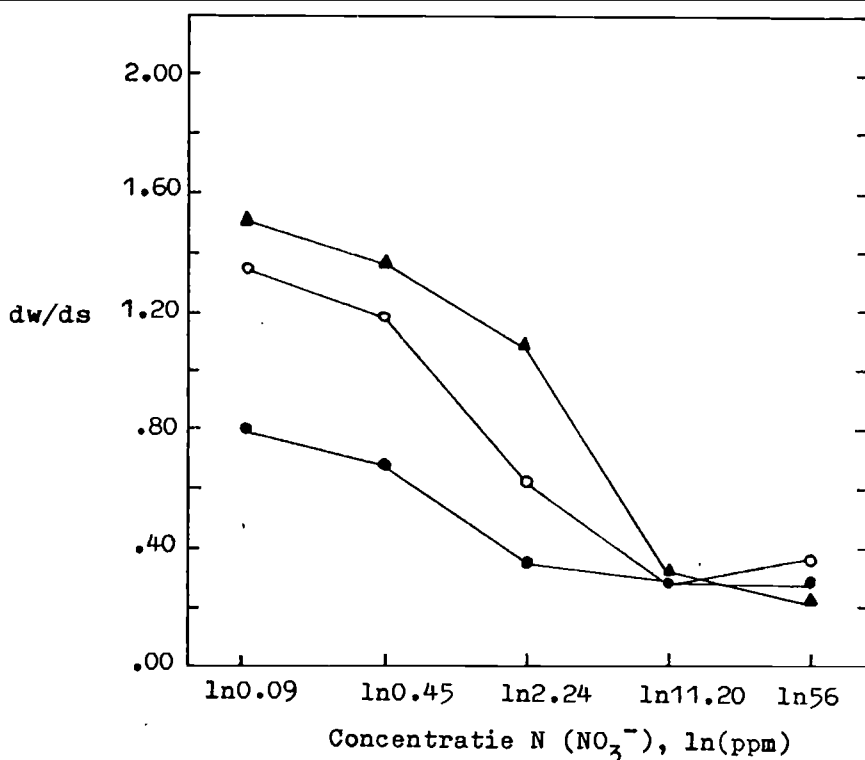
Figuur 6 geeft het drooggewicht van de spruit (g) van dezelfde Rumex soorten, echter uitgezet tegen de concentratie NO_3^- (ln ppm). Deze Figuur geeft duidelijk de toename in



Figuur 6. Drooggewicht spruit na 33 dagen van R. acetosella (●), R. acetosa (○) en R. obtusifolius (▲) bij verschillende concentraties stikstof, als NO_3^- .

drooggewicht spruit van *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en met name *R. obtusifolius* bij hoger wordende concentraties NO_3^- weer.

De verhouding drooggewicht wortel/drooggewicht spruit, uitgezet tegen de concentratie NO_3^- (ln ppm) wordt weergegeven in Figuur 7. Zie ook Bijlage D. Uit Figuur 7 blijkt



Figuur 7. Drooggewicht wortel/Drooggewicht spruit (dw/ds) na 33 dagen van *Rumex acetosella* (●), *R. acetosa* (◊) en *R. obtusifolius* (▲) bij verschillende concentraties stikstof, als NO_3^- .

dat ook bij hoger wordende concentraties NO_3^- de verhouding wortel/spruit sterk afneemt.

Bij de oogst maakten de planten van *Rumex obtusifolius*, *R. acetosa* en *R. acetosella* bij de hoogste concentratie NO_3^- allen een gezonde indruk. De wortelstelsels waren goed ontwikkeld en de bladeren normaal van kleur.

De resultaten van de éénweg-variantie-analyse met als factor de concentratie NO_3^- (vijf niveaus) en de resultaten van Duncan's multiple range test, beiden uitgevoerd per Rumex soort op getransformeerde variabelen zijn samengevat in de Tabellen 14 en 15. Evenals onder NH_4^+

Tabel 14.

F-waarden van de éénweg-variantie-analyse's uitgevoerd voor de verschillende Rumex soorten met als factor de concentratie N (als NO_3^- , 5 niveau's).

Soort	Variabele			
	drooggewicht spruit		wortel/spruit	
	F	p<	F	p<
R. acetosella	6.60	.01	15.92	.01
R. acetosa	75.45	.01	123.64	.01
R. obtusifolius	152.83	.01	105.97	.01

Noot: df: 35,4; voor R. acetosella 21,4.

Tabel 15.

Significante ($p < .01$) Verschillen tussen Drooggewicht Spruit, en Drooggewicht Wortel/Drooggewicht Spruit bij verschillende concentraties N (als NO_3^-).¹⁾

Soort	Variabele										
	drooggewicht spruit					wortel/spruit					
R. acetosella	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	2)	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
R. acetosa	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>2</u>		<u>2</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
R. obtusifolius	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>

Noten: 1. Zie Tabel 9.

2. De concentraties zijn: 1=56 ppm; 2=11.20 ppm; 3=2.24 ppm; 4=0.45 ppm; 5=0.09 ppm.

voeding, reageren volgens de variantie-analyse (Tabel 14) *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. obtusifolius* significant op verschillen in NO_3^- concentratie (p .01).

Tabel 16.

Drooggewicht Spruit uitgedrukt in % van het maximum bereikte Gewicht, voor drie *Rumex* soorten, bij verschillende Concentraties NO_3^- .

Soort	ppm NO_3^-				
	56.00	11.20	2.24	0.45	0.09
<i>R. acetosella</i>	100%	91.92%	58.06%	44.51%	17.76%
<i>R. acetosa</i>	78.90%	100%	75.08%	26.74%	9.00%
<i>R. obtusifolius</i>	100%	70.96%	32.06%	10.11%	4.73%

Uit Tabel 16 blijkt dat de drie soorten allen afnemen in drooggewicht spruit bij lager wordende stikstof (NO_3^-) concentratie.

De omzetting van NH_4^+ in NO_3^- is gemeten door het uitvoeren van een N-totaal en een NO_3^- bepaling. De omzetting is te verwaarlozen (zie Bijlage E).

Tabel 17.

pH van de Voedingsoplossingen (NH_4^+ -reeks) gemeten op de 18e Dag na Inzet van de Proef. Tussen de 13e en de 18e Dag was de pH niet gecorrigeerd.

Soort	ppm NH_4^+				
	56.00	11.20	2.24	0.45	0.09
<i>R. acetosella</i>	5.2	4.9	5.3	5.7	5.6
<i>R. acetosa</i>	4.4	4.3	4.5	5.5	5.5
<i>R. obtusifolius</i>	3.4	3.4	4.0	5.1	5.2

Tabel 18.

pH van de Voedingsoplossingen (NO_3^- -reeks) gemeten op de 18e Dag na Inzet van de Proef. Tussen de 13e en de 18e Dag was de pH niet gecorrigeerd.

Soort	ppm NO_3^-				
	56.00	11.20	2.24	0.45	0.09
R. acetosella	5.7	6.0	5.9	5.8	5.8
R. acetosa	5.8	5.9	5.8	5.7	5.6
R. obtusifolius	5.8	6.0	5.8	5.8	5.8

De pH van de voedingsoplossing met resp. NH_4^+ en NO_3^- als stikstofbron gemeten op de achttiende dag na aanvang van de proef is te vinden in de Tabellen 17 en 18. De pH werd gedurende vijf dagen niet gecorrigeerd.

Discussie

Onthoudingsproeven

Bij de potproeven zijn veel planten uitgevallen. De voorbehandeling van de planten of de eigenschappen van de schrale grondsoort (Katerveen) kunnen hiervan de oorzaak zijn geweest. De kiemplantjes zijn opgekweekt op gewassen rivierzand en daarbij tweemaal bemest. Bij de inzet van het experiment maakten de planten een redelijk gezonde indruk. De planten van Rumex acetosella zijn op Katerveen met een pH van 4.8 rechtstreeks uit het kiembakje gepoot. Ook bij deze serie zijn echter veel planten uitgevallen. Daar de fout random verdeeld is -van alle drie de soorten zijn over de hele linie planten uitgevallen- en het experiment met twee personen is ingezet, is een zgn. 'pooteffect' niet waarschijnlijk. Met name de vochtvoorziening van het katerveen is gedurende het gehele experiment een probleem geweest (zie ook De Leeuw, 1980). Door irreversibele indroging

vooraf gaande aan het experiment kan het vochtabsorberend vermogen sterk achteruit gegaan zijn. Bovendien zijn gedurende de eerste weken na de inzet in de kas hoge temperaturen gemeten. Het is dan ook het meest aannemelijk de hoge uitval te wijten aan de eigenschappen van het Katerveen.

Door de hoge uitval en de grote spreiding per pot kunnen slechts enkele conclusies getrokken worden. Onder voedselarme condities lijkt fosfordeficiëntie te leiden tot afname van het gemiddelde drooggewicht van *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. crispus*. Het gemiddelde drooggewicht van met name *R. acetosa* en *R. crispus* neemt af ten gevolge van resp. kalium, stikstof en calciumdeficiëntie. Over de invloed van de pH op de groei van de onderzochte soorten kan geen uitspraak gedaan worden. Tussen de reeks met een pH van 4.8 en die met een pH van 5.8 zijn weinig verschillen gevonden. Bovendien is de pH van het bekalkte Katerveen gedurende de groeiperiode van elf weken gedaald en zijn er tussen de potten aanzienlijke pH-verschillen gemeten. Deze zgn. secundaire pH-daling is tevens door De Leeuw (1980) waargenomen.

Watercultures

Fosforexperiment. De groei van *Rumex acetosella* en *R. acetosa* wordt in het P-experiment niet significant beïnvloed door de concentratie van fosfor. Wat betreft *R. acetosa* is dit in tegenspraak met de resultaten van eerder uitgevoerde experimenten (Rorison, 1968). Een mogelijke verklaring voor deze afwijkende reactie zou kunnen zijn, dat binnen een soort standplaatsverschillen leiden tot aanzienlijke variatie in reactie op bepaalde nutriënten (Bradshaw et al, 1960b; Gigon & Rorison, 1972; Atkinson & Davison, 1973). Echter ook het feit dat *R. acetosa* tweehuizig is, zou kunnen leiden tot verschil in reactie op de fosforconcentratie (Van den Berg, 1982).

De reactie van *Rumex obtusifolius* komt overeen met gegevens uit de literatuur. Het drooggewicht van de spruit was bij 0.0031 ppm P 54% van het maximum (bij 31

ppm P) en de wortel/spruit verhouding veranderde significant ($p < .01$). Atkinson en Davison (1973) toonden aan dat de concentratie fosfor vooral grote invloed uitoefent op de verhouding wortel/spruit van *R. obtusifolius*. De rode pigmenten in de bladnerf, die duidelijk tot uiting kwamen bij een fosforgift van 0.31 ppm, zijn toe te schrijven aan een verhoging van de concentratie leuco-antocyanide, die gerelateerd is aan een toename van de concentratie carbohydraten, hetgeen eveneens een uiting van fosfordeficiëntie is (Atkinson, 1973).

De reactie van *Rumex crispus* is vergelijkbaar met die van *R. obtusifolius*. Bij de laagste twee fosforconcentraties waren de planten die geogst werden nauwelijks groter dan kiemplanten bij de aanvang van het experiment. Bij een concentratie van 0.0031 ppm P was het drooggewicht van de spruit slechts 33% van het maximum, dat bij 31 ppm P bereikt werd. Evenals de planten van *R. obtusifolius* vertoonde *R. crispus* bij 0.31 ppm P symptomen van fosfordeficiëntie.

Clarkson (1967) voerde een vergelijkbaar fosforexperiment uit, waarbij echter de groei van enige *Agrostis* soorten bestudeerd werd. Verschil in groeisnelheid bleek de oorzaak te zijn van het feit dat de groei van de ene soort sterker dan de andere beïnvloed werd door de concentratie fosfor. Toch bereikte de snel groeiende *Agrostis stolonifera* het maximale drooggewicht bij dezelfde concentratie fosfor als *A. setacea*, een langzame groeier. Mogelijk benut *A. stolonifera* als 'opportunist' het opgenomen fosfaat direct voor de groei, terwijl *A. setacea* bij hogere fosforconcentratie d.m.v. luxe consumptie reserves aanlegt. De concentratie anorganisch fosfaat zou bij langzame groeiers dan ook hoger moeten zijn dan bij snelle groeiers. Dit werd bevestigd door Nassery (1971) voor o.a. *Rumex acetosa*, in desbetreffend onderzoek als snelle groeier beschreven, en *Deschampsia flexuosa*, een langzame groeier.

Of in dit experiment de groeisnelheid van de vier *Rumex* soorten een belangrijke rol speelt is moeilijk te

zeggen, omdat slechts gekeken werd naar het droog- en versgewicht van de planten onder verschillende condities. Daarnaast is uit verder onderzoek bekend dat de groeisnelheden van *Rumex obtusifolius*, *R. acetosa* en *R. acetosella* weinig uiteen lopend zijn. (Grime & Hunt, 1975).

Stikstofexperiment. In de NH_4^+ - en de NO_3^- -reeks wordt de groei van *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. obtusifolius* significant beïnvloed door de concentratie stikstof ($p < .01$). Bij *R. acetosella* neemt het drooggewicht van de spruit bij de laagste concentratie NH_4^+ en NO_3^- af tot resp. 17% (100% bij 11.20 ppm NH_4^+) en 18% (100% bij 56.00 ppm NO_3^-). Het drooggewicht van de spruit van *R. acetosa* is bij de laagste concentratie slechts 15% van het maximum, dat bij een gift van 56.00 ppm N bereikt wordt. In de NO_3^- -reeks is bij 0.09 ppm N het drooggewicht slechts 9% van het maximum (100% bij 11.20 ppm NO_3^-).

R. obtusifolius vertoont bij een NH_4^+ gift van 56 ppm N symptomen van toxiciteit. Het maximale drooggewicht van de spruit wordt bereikt bij 11.20 ppm NH_4^+ . Evenals bij de laagste twee NO_3^- concentraties waren bij de laagste twee NH_4^+ concentraties de geogste planten nauwelijks groter dan kiemplanten. In de reeks met NO_3^- als stikstofbron lijkt het maximale drooggewicht nog niet bereikt. Volgens Martha-ler (1937) ligt het optimum van *R. obtusifolius* bij 168 ppm N als NO_3^- de stikstofbron is; bij NH_4^+ als N-bron is het optimum over een traject verspreid, nl. van 84 tot 168 ppm N.

Om de resultaten van dit experiment te kunnen interpreteren zal naast het -geringe- verschil in groeisnelheid van de drie *Rumex*soorten als verklaring verder onderzoek gedaan moeten worden naar andere verklaringen.

De Vorm van Stikstof. De voorkeur voor NH_4^+ of NO_3^- als stikstofbron is bij *Rumex acetosella*, *R. acetosa* en *R. obtusifolius* alleen uit uiterlijke kenmerken af te leiden. De planten van *R. acetosella* maakten bij

zowel de NO_3^- - als de NH_4^+ -serie een gezonde indruk. In dit experiment lijkt bij deze soort geen voorkeur voor NO_3^- of NH_4^+ te bestaan.

Het wortelstelsel van *Rumex acetosa* had bij de hoogste NH_4^+ -concentratie een enigszins beperkte horizontale ontwikkeling, in tegenstelling tot de planten met NO_3^- als stikstofbron. Uit onderzoek is bekend dat de wortelpenetratie en het drooggewicht van *R. acetosa* bij NH_4^+ als ~~stikstofbron afnemen t.o.v. planten met NO_3^- als stik-~~ stofbron (Gigon & Rorison, 1972). Geconcludeerd kan worden dat ook in dit experiment *R. acetosa* een lichte voorkeur voor NO_3^- als stikstofbron vertoont.

Verschijnselen van NH_4^+ -toxiciteit kwamen bij *Rumex obtusifolius* tot uiting bij de hoogste- en op een na hoogste concentratie NH_4^+ . Het wortelstelsel, dat door de vele korte zijasjes sterk horizontaal ontwikkeld was, had een lichtbruine kleur. De bladrand van het vaalgroen gekleurde blad was omgekruld. Bij de hoogste concentraties NO_3^- maakten de planten een gezonde indruk. Uit de resultaten blijkt dat *R. obtusifolius* een voorkeur voor NO_3^- als stikstofbron heeft. Dit werd eveneens gevonden door Marthaler (1937).

De pH van de voedingsoplossing werd in de NH_4^+ -reeks het meest beïnvloed door *Rumex obtusifolius* en *R. acetosa*. Deze soorten zullen ter correctie van de ionenbalans relatief veel H^+ -ionen hebben uitgescheiden, waardoor de pH is gedaald (Gigon & Rorison, 1972). Bij *R. acetosa* werd een zeer geringe daling van de pH gemeten. Mogelijk heeft bij deze soort, die volgens Grime en Hodgson (1968) tot de strikt kalkmijdenden moet worden gerekend, NH_4^+ -adaptatie plaatsgevonden (Haynes, 1978).

In de NO_3^- -reeks is slechts drie á vier maal een geringe stijging van de pH o.i.v. *Rumex obtusifolius* gemeten. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat onder NO_3^- -voeding OH^- -ionen worden uitgescheiden ter correctie van de ionenbalans (Haynes, 1978).

Beperkingen

Bij de interpretatie van de resultaten van experimenten die uitgevoerd zijn op watercultures is voorzichtigheid geboden. Ondanks het feit dat de voedingsoplossing een á'tweemaal per week ververst werd, verandert de concentratie van stikstof of fosfor in de loop van de week, afhankelijk van de beginconcentratie en de opnamesnelheid van de soort. Soorten met grote kiemplanten en een hoge opnamesnelheid zijn in het nadeel, omdat met name tegen het einde van het experiment de concentratie verder afgenomen is dan bij soorten met kleine kiemplanten en een geringe opnamesnelheid (Piggott, 1971).

Ook het verschil in zaadreserve van de onderzochte soorten kan bij studies als deze de resultaten beïnvloeden (Rorison, 1969). Daarnaast kan tevens de manier waarop de planten opgekweekt zijn gedurende de eerste weken van het experiment tot verschil in reactie leiden (het najlinseffect). Een langzaam groeiende soort zou bijv. op potgrond d.m.v. luxe consumptie reserve's kunnen aanleggen, die aangesproken worden in situaties waarin bepaalde voedingsstoffen slechts beperkt beschikbaar zijn.

Een continuïng flow waterculture (zie Loneragan, 1967), waarbij pas geoogst wordt als het zaadkapitaal is uitgeput en een steady state bereikt is -na ongeveer tien weken (Rorison, 1969)- zou genoemde beperkingen kunnen verminderen. Door zowel het begin- als het eindgewicht per plant te bepalen en bovendien tussentijds enige planten te oogsten, zou per plantensoort en per conditie een groeicurve geconstrueerd kunnen worden.

In de resultaten van de experimenten⁴ zijn significante verschillen aangetoond, waardoor wel enige conclusies getrokken mogen worden.

Mogelijke Oecologische Betekenis

Uit de resultaten van de experimenten op watercultures blijkt dat de onderzochte soorten duidelijker reageren

op variatie van de stikstof concentratie dan op variatie van de fosforconcentratie. Dit is echter een algemeen verschijnsel (Bradshaw et al, 1964).

Voor planten uit een voedselarm milieu is een lage groeisnelheid -ook bij hoge beschikbaarheid van voedingsstoffen- veelal een waarborg om zich te kunnen handhaven. (Rorison, 1968). *Rumex acetosella*, een soort van zandige tot lemige gronden (Grime & Hodgson, 1969; Westhoff & Den Held, 1969) heeft echter een groeisnelheid die niet duidelijk lager is dan die van de andere *Rumex* soorten (Grime & Hunt, 1975). Een andere 'eigenschap' dan de groeisnelheid zal wellicht verantwoordelijk zijn voor het feit dat deze soort bij lage concentraties N en P relatief het minste afneemt in drooggewicht spruit. Verder onderzoek zal uit moeten wijzen welke die 'eigenschap' is en of hierbij luxe consumptie een rol speelt.

Rumex acetosa, een soort die voorkomt op matig tot zeer voedselrijke gronden, neemt met name wat stikstof betreft een tussenpositie in in reactie op verandering van de N en P concentratie. Alhoewel lagere concentraties stikstof en fosfor verdragen worden, is uit eerder onderzoek bekend dat deze soort met een brede edafische tolerantie zich als een opportunist gedraagt, hetgeen wil zeggen dat de opgenomen voedingsstoffen direct voor de groei benut worden (Nassery, 1971).

Rumex obtusifolius en *R. crispus* zijn beide soorten van een ruderales, veelal stikstofrijke standplaats. De groei van deze soorten wordt in de N en P reeks sterker beïnvloed door lagere concentraties dan de groei van de reeds beschreven soorten. Desalniettemin is de tendens bij de vier qua standplaats duidelijk verschillende soorten gelijk: bij lagere concentraties fosfor en stikstof neemt het drooggewicht van de spruit af. Het is mogelijk dat evenals *Agrostis stolonifera* en *A. setacea* (Clarkson, 1967) de vier *Rumex* soorten het maximale drooggewicht bij ongeveer dezelfde concentraties fosfor en stikstof bereiken. Dit zou betekenen dat aan *R. obtusifolius*, *R. acetosa* en *R. acetosella* geen indicatorische waarde voor de macro-

nutriënten N en P toegekend kan worden. *Rumex crispus* bezit geen indicatorische waarde voor P.

Dit onderzoek is er in geslaagd enig inzicht te geven in de begrippen voedselrijk en voedselarm in relatie tot *Rumex acetosella*, *R. acetosa*, *R. obtusifolius* en *R. crispus*. Echter ook Kalium en wellicht Calcium en Magnesium zouden een belangrijke rol kunnen spelen bij het wel of niet voorkomen van een van de vier *Rumex* soorten. De verschravings/verrijkingssreeks van de *Rumex* soorten zal dan ook verder getoetst moeten worden. In eerste instantie wordt gedacht aan experimenten waarbij de concentratie K gevarieerd wordt. Als blijkt dat de onderzochte soorten ook voor Kalium geen indicatorische waarde hebben, zouden verschillende macronutriënten in combinatie gevarieerd kunnen worden. Daarnaast zouden experimenten waarbij concurrentieverschijnselen bestudeerd worden wellicht kunnen leiden tot een definitieve uitspraak over de in dit onderzoek getoetste verschravings/verrijkingssreeks van *Rumex acetosella*, *R. acetosa*, *R. obtusifolius* en *R. crispus*.

Literatuur

- Asher, C.J., & Loneragan, J.F. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. I: growth and phosphorus content. Soil Sci., 1967, 103, 225-233.
- Atkinson, D. Some general effects of phosphorus deficiency on growth and development. New. Phytol., 1973, 72, 101-111.
-
- Atkinson, D., & Davison, A.W. The effects of phosphorus deficiency on water content and response to drought. New. Phytol., 1973, 72, 307-313.
- Berg, B.M. van den. De invloed van maaien op de fenologie van Ranunculus repens en Rumex acetosa. Niet gepubliceerd doctoraal verslag, Haren: Laboratorium voor Plantenoecologie, 1982.
- Boer, W. de. Vergelijking van enkele aspecten van de autoecologie van een aantal (blauw)graslanden. Niet gepubliceerd doctoraal verslag, Haren: Laboratorium voor Plantenoecologie, 1981.
- Bradshaw, A.D., Lodge, R.W., Jowett, D., & Chadwick, M.J. Experimental investigations into the mineral nutrition of several grass species. I: calcium level. J. Ecol., 1958, 46, 749-757.
- Bradshaw, A.D., Lodge, R.W., Jowett, D., & Chadwick, M.J. Experimental investigations into the mineral nutrition of several grass species. II: pH and Ca-level. J. Ecol., 1960a, 48, 143-150.
- Bradshaw, A.D., Chadwick, M.J., Jowett, D., Lodge, R.W., & Snaydon, R.W. Experimental investigations into the mineral nutrition of several grass species. III: Phosphate level. J. Ecol., 1960b, 48, 631-637.
- Bradshaw, A.D., Chadwick, M.J., Jowett, D., & Snaydon, R.W. Experimental investigations into the mineral nutrition of several grass species. IV: nitrogen level. J. Ecol., 1964, 52, 665-676.
- Cavers, P.B., & Harper, J.L. Biological flora of the british isles: *Rumex obtusifolius* and *Rumex crispus*. J. Ecol., 1964, 52, 737-766.

- Clarkson, D.T. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrostis* L. J. Ecol., 1967, 55, 11-118.
- Dirven, J.G.P., & Neuteboom, J.H. Bemesting en plantkundige samenstelling van grasland. Stikstof, 1975, 80, 224-231.
- Epstein, E. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. New York: Wiley, 1972.
- Fitter, A.H., & Hay, R.K.M. Environmental physiology of plants. London: Academic Press, 1981.
- Gigon, A., & Rorison, I.M. The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and to ammonium nitrogen. J. Ecol., 1972, 60, 93-102.
- Grime, J.P., & Hodgson, J.G. An investigation of the ecological significance of lime-chlorosis by means of large scale comparative experiments. In I.H. Rorison (ed.), Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Oxford: Blackwell, 1969.
- Grime, J.P., & Hunt, R. Relative growth rate: its ranges and adaptive significance in local flora. J. Ecol., 1975, 63, 403-421.
- Hacket, C. Ecological aspects of the nutrition of *Deschampsia flexuosa*. III: Investigation of phosphorus requirements and response to aluminium in waterculture and a study of growth in soil. J. Ecol., 1967, 55, 831-840.
- Haynes, R.J., & Goh, K.M. Ammonium and nitrate nutrition of plants. Biol. Rev., 1978, 53, 465-510.
- Heukels-van Ooststroom. Flora van Nederland. Groningen: Wolters-Noordhoff, 1975.
- Hoentjen, B. Het effect van bemesting en bekalking op de botanische samenstelling en productiviteit van permanent grasland. Niet gepubliceerde colloquium tekst, Haren: Laboratorium voor Plantenoecologie, 1979.
- Hurkens, H. Een vergelijkend onderzoek naar de voorkeur van wilde planten voor een bepaalde vorm van stikstof. Niet gepubliceerd doctoraal verslag, Wageningen: Landbouw Hogeschool, 1978.

- Ingestad, T. Mineral nutrient requirements of *Vaccinium Vitis idaea* and *V. myrtillus*. Physiologica plantarum, 1973, 29, 239-246.
- Ingestad, T. Nitrogen and cation nutrition of three ecologically different plant species. Physiologica plantarum, 1976, 38, 29-34.
- Kirkby, E.A. Influence of ammonium and nitrate nutrition of the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. Soil Sci., 1968, 105, 133-141.
- Kirkby, E.A., & Mengel, K. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, ammonium nutrition. Pl. Physiol., 1967, 42, 6-14.
- Kruijne, A.A., Vries, D.M. de, & Mooi, H. Bijdrage tot de oecologie van de Nederlandse graslandplanten. Mededeling 338 van het I.B.S. In Verslagen landbouwkundige onderzoekingen 696. Wageningen: PUDOC, 1967.
- Leeuw, J. de. De betekenis van het fosfaat ontsluitend vermogen van de gastheerplant voor de halfparasiet *Rhinanthus Serotinus* in verschrallende graslanden. Niet gepubliceerd doctoraal verslag, Haren: Laboratorium voor Plantenoecologie, 1980.
- Little, T.M., & Hills, F.J. Agricultural experimentation, design and analysis. New York: Wiley, 1978.
- Loneragan, J.F., & Asher, C.J. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II: rate of phosphate absorption and its relation to growth. Soil Sci., 1967, 103, 311-318.
- Marthaler, H. Die Stickstoffnahrung der Ruderal-pflanzen. Jahrbücher für Wissenschaftliche Botanik, 1937, 85, 76-106.
- Muller, A. Deficiency symptoms in cacao seedlings observed in pot experiments within the Bouwma/Janssen method. Neth. J. agri. sci., 1979, 27, 211-220.
- Nassery, H. Phosphate absorption by plants from habitats of different phosphate status. New. Phytol., 1971, 70, 949-951.

- Nie, N.H., Hadlai Hull, C., Jenkins, J.G., Steinbrenner, K., & Best, D.H. SPSS, Statistical Package for the Social Sciences. New York: McGraw Hill, 1975.
- Pegtel, D.M. Verschillen tussen dicotiele planten in hun behoefte aan stikstof. In Klapper met doctoraal-onderwerpen. Haren: Laboratorium voor Plantenoecologie, 1981.
- Pigott, C.D. Analysis of the response of *Urtica dioica* to phosphate. New. Phytol., 1971, 70, 953-966.
- Rijks Instituut voor Natuurbeheer. Levensgemeenschappen. Wageningen: PUDOC, 1979.
- Rorison, I.H. The response to phosphorus of some ecologically distinct plant species. I: growth rate and phosphorus absorption. New. Phytol., 1968, 67, 577-589.
- Rorison, I.H. Ecological inferences from laboratory experiments on mineral nutrition. In I.H. Rorison (ed.), Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Oxford: Blackwell, 1969.
- Stuart Chapin III, F. The mineral nutrition of wild plants. Ann. Rev. Ecol. Syst., 1980, 11, 233-260.
- Thurston, J.M. The effect of liming and fertilizers on the botanical composition of permanent grassland and on the yield of hay. In I.H. Rorison (ed.), Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Oxford: Blackwell, 1969.
- Vries, D.M. de, & Kruijne, A.A. De invloed van stikstofbemesting op de botanische samenstelling van de grasmat. Stikstof, 1960, 4, 36-46.
- Winer, B.J. Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill, 1971.

Bijlage A

Tabel A.

Samenstelling van de Oplossing met Sporenelementen, waarvan 1 ml werd toegevoegd per 10 liter Voedingsoplossing.

Element	ppm
Mn	.6
B	.5
Zn	.08
Cu	.025
Co	.005
Mo	.035
Na	.23

Tabel B.

Bekalking van Katerveen ¹⁾

Ca(OH) ₂ (g) per kg droog Katerveen ²⁾	pH na 3 dagen
0	2.81
1.40	3.11
2.80	3.81
4.20	4.28
5.60	5.08
8.40	5.52
14.40	6.24
22.40	6.58
34.80	7.13
40.00	7.39

- Noten:
1. Zie Figuur 1
 2. De hoeveelheden zijn bepaald a.d.h. van De Leeuw (1980) en gegevens 3e jaarscursus plantenoecologie 1978.

Tabel C.

Gemiddelde en Standaarddeviatie (g) van het Drooggewicht van de Spruit van Rumex acetosella, R. acetosa en R. crispus bij een pH van Katerveen van 4.8 en bij een Voedingsoplossing die compleet of deficiënt aan P, N, K of Ca is.

Conditie		Soort					
		R. acetosella		R. acetosa		R. crispus	
0	x	1.80 ¹⁾	3.06	2.84	3.18	21.47	0.59
	sd	1.32	1.73	1.36	2.37	-	-
		n=2	n=4	n=4	n=3	n=1	n=1
-P	x	0.56	0.93	0.36	0.30	0.30	0.35
	sd	0.29	0.63	0.24	0.19	-	-
		n=4	n=3	n=4	n=4	n=1	n=1
-K	x	2.59	1.05	1.51	2.65	2.72	2.00
	sd	1.86	0.62	0.87	1.36	0.02	1.42
		n=4	n=4	n=5	n=3	n=2	n=2
-N	x	4.21	2.83	2.52	1.90	1.33	-
	sd	2.68	1.46	0.72	1.43	1.95	-
		n=2	n=4	n=4	n=4	n=4	
-Ca	x	3.45	3.32	2.78	1.56	3.84	13.91
	sd	3.26	0.92	2.54	0.78	1.57	1.29
		n=3	n=4	n=3	n=5	n=3	n=2

Noot: 1. De proef werd in duplo uitgevoerd, per bakje worden het gemiddelde (x) en de standaarddeviatie (sd) vermeld.

Tabel D.

Gemiddelde en Standaarddeviatie (g) van het Drooggewicht van de Spruit van Rumex acetosella, R. acetosa en R. crispus bij een pH van Katerveen van 5.8 en bij een voedingsoplossing die compleet of deficiënt aan P, N, K of Ca is.

Conditie		Soort					
		R. acetosella		R. acetosa		R. crispus	
O	x	3.25 ¹⁾	4.11	0.44	4.51	-	4.27
	sd	1.25	1.33	-	-	-	1.70
		n=3	n=3	n=1	n=1	-	n=2
-P	x	1.23	0.91	0.33	0.92	0.73	0.68
	sd	0.11	0.16	0.26	0.62	0.45	0.23
		n=2	n=4	n=2	n=3	n=3	n=4
-K	x	0.93	2.28	0.42	0.95	0.80	1.02
	sd	0.52	-	-	0.42	0.47	0.49
		n=4	n=1	n=1	n=2	n=3	n=4
-N	x	2.31	4.00	1.68	0.08	-	0.58
	sd	1.16	1.66	0.94	-	-	-
		n=3	n=2	n=2	n=1	-	n=1
-Ca	x	3.50	1.80	0.62	1.69	1.65	3.20
	sd	1.09	1.04	0.06	1.32	0.88	3.35
		n=3	n=4	n=2	n=4	n=5	n=4

Noot: 1. Zie Tabel C.

Tabel E.

pH-verloop van Katerveen van tien Emmers met een pH van ongeveer 4.8 en tien Emmers met een pH van ongeveer 5.8.

Emmernr.	pH na 3 dagen	pH na 11 weken	pH na 11 weken ¹⁾
1	4.68	3.85	4.15
2	4.67	3.85	3.85
3	4.46	3.94	3.91
4	4.37	4.15	4.30
5	4.50	4.20	4.20
6	4.54	3.92	4.24
7	4.71	4.19	4.16
8	4.44	4.16	4.09
9	4.60	4.19	4.05
10	4.32	3.98	3.99
11	5.73	5.15	5.60
12	5.23	4.70	5.00
13	5.69	5.35	5.40
14	5.72	5.55	5.30
15	5.69	4.95	4.85
16	5.58	4.75	5.15
17	6.14	5.25	5.35
18	5.79	5.30	4.95
19	6.44	4.90	5.15
20	6.08	4.85	4.90

Noot: 1. Er werd op twee plaatsen in de emmer een monster genomen.

Bijlage B

(Het Fosfor Experiment)

Tabel F.

Gemiddelde en Standaarddeviatie (g) van het Drooggewicht van de Spruit van Rumex acetosella, R. acetosa, R. obtusifolius en R. crispus na 21 Dagen bij verschillende concentraties Fosfor.

Concentratie Fosfor (ppm)	Soort				
	R. aceto- sella	R. aceto- sa	R. obtu- sifolius	R. cris- pus	
31	\bar{x}	0.42	0.29 [⊗]	0.83	0.94
	sd	0.17	0.14	0.25	0.30
3.1	\bar{x}	0.35	0.21	0.81	0.79
	sd	0.11	0.06	0.22	0.13
0.31	\bar{x}	0.30	0.25	0.55	0.54
	sd	0.13	0.07	0.20	0.08
0.031	\bar{x}	0.25	0.33	0.38	0.36
	sd	0.12	0.15	0.10	0.04
0.0031	\bar{x}	0.29	0.26	0.45	0.31
	sd	0.07	0.09	0.14	0.08

Noot: N is in elke cel 8, bij \otimes n=7.

Tabel G.

Gemiddelde en Standaarddeviatie van het quotiënt
 Drooggewicht Wortel/Drooggewicht Spruit van Rumex
acetosella, R. acetosa, R. obtusifolius en R. cris-
pus na 21 Dagen bij verschillende concentraties Fosfor.

		Soort			
Concentratie Fosfor (ppm)		R. aceto- sella	R. aceto- sa	R. obtu- sifolius	R. cris- pus
31	\bar{x}	0.25	0.38 [*]	0.23	0.26
	sd	0.07	0.10	0.04	0.03
3.1	\bar{x}	0.30	0.33	0.25	0.30
	sd	0.09	0.10	0.02	0.02
0.31	\bar{x}	0.38	0.43	0.46	0.63
	sd	0.15	0.14	0.05	0.08
0.031	\bar{x}	0.42	0.43	0.70	0.97
	sd	0.11	0.11	0.16	0.09
0.0031	\bar{x}	0.43	0.52	0.79	0.87
	sd	0.05	0.15	0.17	0.14

Noot: N is in elke cel 8, bij * n=7.

Bijlage C

(Het Stikstof Experiment
met NH_4^+)

Tabel H.

Gemiddelde en standaarddeviatie (g) van het Droog-
gewicht van de Spruit van Rumex acetosella, R. aceto-
sa en R. obtusifolius na 33 dagen bij verschillende
concentraties Stikstof, als NH_4^+ .

		Soort		
Concentratie N (ppm)		R. acetosella	R. acetosa	R. obtusi- folius
56.00	\bar{x}	0.20	0.32	0.96
	sd	0.05	0.08	0.33
11.20	\bar{x}	0.22	0.29	0.86
	sd	0.09	0.05	0.30
2.24	\bar{x}	0.19	0.23	0.34
	sd	0.11	0.06	0.03
0.45	\bar{x}	0.10	0.10	0.14
	sd	0.06	0.03	0.03
0.09	\bar{x}	0.04	0.05	0.05 [⊗]
	sd	0.01	0.01	0.01

Noot: Voor R. acetosella n=6

Voor R. acetosa en R. obtusifolius n=8, bij \otimes n=7

Tabel I.

Gemiddelde en Standaarddeviatie van het quotiënt
Drooggewicht Wortel/Drooggewicht Spruit van Rumex
acetosella, R. acetosa en R. obtusifolius na 33
Dagen bij verschillende concentraties Stikstof, als
 NH_4^+ .

		Soort		
Concentratie N (ppm)		R. acetosella	R. acetosa	R. obtusi- folius
56.00	\bar{x}	0.22	0.18	0.24
	sd	0.05	0.04	0.05
11.20	\bar{x}	0.17	0.21	0.37
	sd	0.04	0.05	0.06
2.24	\bar{x}	0.36	0.53	1.00
	sd	0.05	0.11	0.13
0.45	\bar{x}	0.69	1.10	1.23
	sd	0.09	0.18	0.35
0.09	\bar{x}	0.94	1.49	1.88 [±]
	sd	0.14	0.37	0.75

Noot: Zie Tabel H.

Bijlage D

(Het Stikstof Experiment
met NO_3^-)

Tabel J.

Gemiddelde en standaarddeviatie (g) van het Drooggewicht van de Spruit van Rumex acetosella, R. acetosa en R. obtusifolius na 33 dagen bij verschillende concentraties Stikstof, als NO_3^- .

Concentratie N (ppm)	Soort			
	R. acetosella	R. acetosa	R. obtusifolius	
56.00	\bar{x}	0.21 ¹⁾	0.29	0.95
	sd	0.07	0.08	0.27
11.20	\bar{x}	0.19	0.36	0.68
	sd	0.13	0.10	0.13
2.24	\bar{x}	0.12	0.27	0.31
	sd	0.07	0.07	0.06
0.45	\bar{x}	0.09 ²⁾	0.08	0.10
	sd	0.04	0.03	0.04
0.09	\bar{x}	0.04	0.03	0.05
	sd	0.02	0.01	0.02

Noten: Voor R. acetosella n=6, behalve bij 1. n=3 en bij 2. n=5.

Voor R. acetosa en R. obtusifolius n=8.

Tabel K.

Gemiddelde en Standaarddeviatie van het quotiënt
Drooggewicht Wortel/Drooggewicht Spruit van Rumex
acetosella, R. acetosa en R. obtusifolius na 33
Dagen bij verschillende concentraties Stikstof, als
 NO_3^- .

		Soort		
Concentratie N (ppm)		R. acetosella	R. acetosa	R. obtusi- folius
56.00	\bar{x}	0.29	0.36	0.23
	sd	0.11	0.05	0.04
11.20	\bar{x}	0.29	0.29	0.29
	sd	0.09	0.04	0.05
2.24	\bar{x}	0.36	0.62	1.09
	sd	0.07	0.06	0.19
0.45	\bar{x}	0.68	1.19	1.37
	sd	0.13	0.21	0.46
0.09	\bar{x}	0.79	1.34	1.51
	sd	0.23	0.37	0.33

Noot: Zie Tabel J.

Bijlage E

Tabel L.

Bepaling N Totaal en NH_4^+ (mg/l) in Voedingsoplos-
singen met resp. 56.00 ppm N en 2.24 ppm N, in de
vorm van NH_4^+ . De Bepaling werd gedaan na vijf Dagen
beluchten met als Fytimeter *R. acetosella* (n=6).

Conditie	N-totaal	NH_4^+
56.00 ppm	10.38	10.24
2.24 ppm	0.05	0.00
0.00 ppm	0.05	0.00

Bijlage F

(De Statistische Verwerking)

De Statistische analyses werden uitgevoerd m.b.v. het SPSS programma (Nie, Hadlai Hull, Jenkins, Steinbrenner & Best, 1975).

Op de data verkregen met de experimenten op watercultures werd een éénweg variantie-analyse uitgevoerd. Een variantie-analyse mag worden uitgevoerd als aan de volgende voorwaarden is voldaan (Winer, 1971; Little & Hills, 1978):

1. De fout is random, onafhankelijk en normaal verdeeld.
2. De varianties van de verschillende monsters zijn homogeen.
3. De varianties en de gemiddelden van de verschillende monsters zijn niet gecorreleerd.
4. De hoofdeffecten zijn additief.

Bartlett's test (Little & Hills, 1978) toetst de homogeniteit van de varianties. Als de varianties niet homogeen zijn, kan de data getransformeerd worden. Mogelijke transformaties zijn:

1. Transformatie naar $\log x$: als de gemiddelden in een bepaalde verhouding tot de standaarddeviatie staan, Om negatieve waarden te vermijden, wordt vaak naar $\log(10x)$ getransformeerd.
2. Transformatie naar Vx : voor analyses van experimenten betreffende tellingen.
3. Transformatie naar $\arcsin x$: als de data in percentages uitgedrukt zijn.

De data van de experimenten op watercultures werden getransformeerd naar $\log(10x)$. Omdat van de kiemplanten het gewicht bij aanvang van de proef niet bepaald is en daarom de relatieve toename in droog- en versgewicht niet berekend kon worden, is het niet zinvol naar de verschillen tussen de soorten te kijken.