



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1704

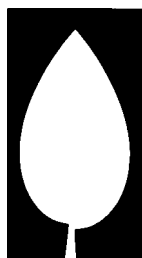
Vand og kvælstof til almindelig rajgræs

Application of water and nitrogen to perennial ryegrass

Karen Søegaard
Statens Forsøgsstation
St. Jynde vad

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1984



Statens
Planteavlsforsøg

Danmarks JordbrugsForskning
Biblioteket
Forskningscenter Flakkebjerg
4200 Slagelse

Beretning nr. S 1704

Vand og kvælstof til almindelig rajgræs

Application of water and nitrogen to perennial ryegrass

Karen Søgaard
Statens Forsøgsstation
St. Jyndeved

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1984

	Side
I. Planteproduktion, vandudnyttelse, jordtemperatur og morfologisk udvikling ved kontrolleret vandtilførsel. (Plant production, water use efficiency, soil temperature and morphological development with controlled water application).	3
II. Planternes kemiske sammensætning ved kontrolleret vandtilførsel. (The chemical composition of the plants with controlled water application).	47
III. Stomataresistens, klorofylindhold, nitratreduktase aktivitet og ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet ved kontrolleret vandtilførsel. (Stomatal resistance, chlorophyll content, nitrate reductase activity and ribulose 1.5 diphosphate carboxylase activity with controlled water application).	79
IV. Markforsøg med græs i renbestand og iblandet hvidkløver. (Field experiment in pure sward and mixed sward with white clover).	115

VAND OG KVÆLSTOF TIL ALMINDELIG RAJGRÆS.

I. PLANTEPRODUKTION, VANDUDNYTTELSE, JORDTEMPERATUR OG MORFOLOGISK UDVIKLING
VED KONTROLLERET VANDTILFØRSEL

Application of water and nitrogen to perennial ryegrass.

I. Plant production, water use efficiency, soil temperature and morphological
development with controlled water application.

Indholdsfortegnelse

	side
Resumé	4
Summary	4
Indledning	5
Metodik	6
Resultater	10
Tørstofproduktion	10
Toptørstofproduktion	10
Rødtørstofproduktion	17
Vand - toptørstof relationer	20
Vandudnyttelse	20
Klima og stofproduktion	24
Jordtemperatur	27
Morfologisk udvikling	30
Bladprocent	30
Specifik bladareal	32
Bladstørrelse	33
Bladtæthed	34
Diskussion	35
Toptørstofproduktion	35
Rødtørstofproduktion	36
Vandudnyttelse	38
Klima og stofproduktion	39

Jordtemperatur	40
Morfologisk udvikling	41
Konklusion	42
Erkendtlighed	43
Litteratur	43

Resumé

I årene 1980-82 gennemførtes forsøg i almindelig rajgræs med vanding ved 3 udtørningsgrader, 4 kvælstofmængder og 2 gødskningsmetoder. Forsøget blev udført under forhold, hvor vandtilførslen var under fuld kontrol.

Udbyttet steg ved hyppigere vanding. Merudbyttet blev kraftigt reduceret, når der blev vandet til markkapacitet efter slæt. Engangsgødskning blev sammenlignet med gødningsvanding, hvor kvælstoffet blev tilført ad flere gange. Engangsgødskning gav større tørstofudbytte ved 100 og mindre ved 250 kg N pr. ha pr. slæt i forhold til gødningsvanding. Produktionshastigheden blev mindre i løbet af vækstperioden.

Rodmassen i 0-10 cm dybde steg ved hyppigere vanding. Øget kvælstoftilførsel bevirkede en kraftig reduktion i rodproduktionen i hele jordprofilen.

Vandudnyttelsen blev større ved stigende kvælstoftilførsel, mindre i løbet af vækstperioden og oftest mindre ved hyppigere vanding. Der fandtes en lineær relation mellem den relative tørstofproduktion (P_a/P_p) og den relative evapotranspiration (E_a/E_p) udregnet pr. slæt. Ved kvælstofmangel medførte en reduktion i E_a/E_p et forholdsvis større fald i P_a/P_p .

Den gennemsnitlige jordtemperatur var højere end den gennemsnitlige lufttemperatur i plantehøjde. Uafhængigt af det aktuelle vanddeficit faldt jordtemperaturen ved hyppigere vanding.

Bladstørrelse og specifik bladareal (cm^2 pr. g tørstof) var de morfologiske parametre, som var mest påvirkelig af kvælstoftilførsel, vandtilførsel og årtidsvariation. Størrelsen af begge parametre faldt i løbet af vækstperioden og steg ved stigende kvælstoftilførsel og hyppigere vanding.

Nøgleord: Almindelig rajgræs, vandingsfrekvens, kvælstof, rodproduktion, vandudnyttelse, jordtemperatur, plantemorfologi.

Summary

Experiments were carried out in perennial ryegrass during the period 1980-82

with irrigation at 3 levels of water stress, 4 levels of nitrogen application and 2 methods of fertilization. The experiments were carried out on sandy soil partly in small plots equipped with a mobile automatic roof and partly in roofed field plots.

The yield increased at more frequent irrigation. However, the increase in yield was strongly reduced when irrigated to field capacity just after mowing.

At one application the dry matter yield was greater at 100 and lesser at 250 kg N per ha per cut than more applications by fertigation. The production capacity decreased during the summer.

The root dry matter at 0-10 cm depth increased at more frequent irrigation. Increased nitrogen application reduced strongly the root dry matter at all measured depths.

Water use efficiency was greater at increasing nitrogen application, less during the summer half year and usually less at more frequent irrigation. There was a linear relation between the relative dry matter production (P_a/P_p) and the relative evapotranspiration (E_a/E_p). At nitrogen lack a reduction of E_a/E_p resulted in a comparatively greater decrease of P_a/P_p .

The mean soil temperature was higher than the mean air temperature at plant level. The soil temperature decreased with more frequent irrigation independently of the actual water deficit.

The leaf size and the specific leaf area were most affected of nitrogen application, water application and time of the year. The amount of both parameters decreased during the summer half year and increased with increasing nitrogen application and more frequent irrigation.

Key words: Perennial ryegrass, irrigation frequency, nitrogen, root production, water use efficiency, soil temperature, plant morphology.

Indledning

Græs er en afgrøde, der især på sandjord kræver stor vandtilførsel, hvis der skal opnås en jævn produktion gennem vækstperioden. Planternes næringsstofnyttelse er i høj grad afhængig af planternes vandforsyning, og omvendt har næringsstofforsyningen (især kvælstof) afgørende indflydelse på planternes vandudnyttelse. Det varierende klima har ligeledes betydning for udnyttelsesgraden af og samspillet mellem vand og kvælstof. Projektets mål var at give

nogle grundlæggende informationer om almindelig rajgræs omkring vand - kvælstof relationer på sandjord.

Undersøgelsen blev udført ved 3 forskellige forsøgsmetoder:

1. Rammeforsøg med almindelig rajgræs. En mobil overdækning dækkede automatisk afgrøden ved nedbør, hvorved vandtilførslen kunne kontrolleres fuldstændigt. Kvælstofudvaskning skulle således kunne undgås, og de ønskede udtøringer kunne opnås.
2. Markparceller med almindelig rajgræs, som blev overdækket af manuelt betjente overdækninger. Forsøget blev flyttet til nye parceller efter hvert slæt. Effekten af forsøgsbehandlingen kunne således undersøges i det enkelte slæt, uafhængig af foregående forsøgsbehandling.
3. Markparceller med almindelig rajgræs i renbestand og rajgræs i blanding med hvidkløver.

For at kunne undersøge klimapåvirkninger blev der gødsket med lige store mængder i hvert slæt. Ligeledes blev forsøgsmetoderne tilnærmet markforhold så meget som muligt.

Resultaterne publiceres i en serie af 4 S-beretninger. De første 3 omhandler resultater fra forsøgene med fuldstændig kontrolleret vandtilførsel (1. og 2.). I denne S-beretning, som er den første, beskrives især tørstof - vand - relationer og morfologisk udvikling, i den anden næringsstofoptagelse og aminosyresammensætning og i den tredje især biokemiske undersøgelser. Resultater fra markforsøg (3.) beskrives i den sidste S-beretning.

Metodik

Rammeanlægget, består af 32 rammer á 1,2 x 2,1 m. En mobil overdækning dækker rammerne, når der falder nedbør. Jorden blev efter grundig blanding nedlagt med samme tæthed som den omliggende jord. For at undgå eftervirkning af foregående års forsøg blev overjorden (0-30 cm) udskiftet om efteråret før hvert forsøgsår, mens underjorden (30-50 cm) kun blev udskiftet før det første forsøgsår.

Der blev udelukkende benyttet grovsandet jord fra Jydevad Forsøgsstation med 3% ler, 4% silt, 15% finsand og 76% grovsand. Da det ikke tidsmæssigt var muligt at tilså rammerne om efteråret, blev græsset sået i udplantningsbakker i vækstrum i januar og udplantet omkring 1. maj.

Vanding

Der blev vandet til markkapacitet ved udtørningsgraderne:

sv: Svag udtørring. 0,25 bar i 15 cm dybde.

m: Middel udtørring. 0,85 bar i 15 cm dybde.

st: Stærk udtørring. 45 mm.

Udtørningsgraderne sv og m, som svarer til ca. 12 og 25 mm underskud, blev bestemt ved tensiometre i 15 og 40 cm dybde. Den stærke udtørningsgrad (st) blev bestemt ved neutronmoderingsmetoden.

For at få gødningen til at virke blev der i 1981 og 1982 i modsætning til 1980 vandet til markkapacitet lige efter slæt og gødskning uanset udtørningsgrad.

Gødskning

Som kvælstofgødning blev der anvendt kalkammonsalpeter ved engangstilførsel og ammoniumnitrat ved kontinuert gødskning. Herved blev kvælstoffet i alle led udbragt med samme kemiske sammensætning.

Gødningsniveauerne var (kg pr. ha pr. slæt):

	N	P	K
25 N:	25	13	67
100 N:	100	19	100
175 N:	175	22	117
250 N:	250	25	133

Der blev hvert forår tilført 45 kg Mg pr. ha i form af kieserit.

Gødningsmetoderne var:

x: Kvælstof tilført med vandingsvandet, kalium og fosfor som y.

y: Hele mængden af kvælstof, kalium og fosfor tilført ved slætperiodens begyndelse.

Gødningsvanding x blev udført ved kombinationerne sv. 100 N og sv. 250 N, hvor der blev gødningsvandet 3 gange med lige store mængder kvælstof pr. gang, og ved kombinationerne m. 100 N og m. 250 N med 2 gødningsvandinger.

På grund af planternes ringe størrelse ved vækstperiodens begyndelse blev 1. slætperiode brugt til etablering af plantebestanden. Der blev her gødet med 75 kg N, 10 kg P og 50 kg K pr. ha. Den egentlige forsøgsbehandling blev således først sat igang fra og med 2. slæt.

Overdækkede markparceller

Til kontinuert prøveudtagning under kontrollerede forhold blev der bygget 4 overdækninger, som hver dækkede et areal på $16,5 \text{ m}^2$. Nettoparcellen var $6,6 \text{ m}^2$. De ønskede udtøringer kunne herved opnås og kvælstofudvaskning forhindres.

Overdækningerne bestod af aluminiumsrør, hvorpå der var hæftet tyk gennemsigtig plastic fra 1,2 m over jordoverfladen. Der var i hvert hjørne monteret et hjul, således at overdækningerne kunne fjernes fra forsøgsparcellerne i perioder uden regn, og når forsøgsparcellerne skulle vandes. Ved overdækningerne ændredes mikroklimaet på den måde, at temperatursvingningerne i plantehøjde blev mindre. Døgnet maksimumtemperatur blev 1-2 °C mindre, og minimumtemperaturen blev 1-2 °C højere end udenfor overdækningerne. Ved hvert slæt etableredes nye parceller, som indtil da havde fået samme forsøgsbehandling (75 kg N, 14 kg P og 75 kg K pr. ha pr. slæt og vanding til markkapacitet ved 45 mm underskud).

Forsøgsplan (jvf. ovennævnte forsøgsbehandling)

3. og 4. slæt 1981: sv. 25 N og 175 N, st. 25 N og 175 N. Alle engangsgødsning (y).

1., 3. og 5. slæt 1982: sv. 100 N og 175 N, st. 100 N og 175 N. Alle engangsgødsning (y).

2. og 4. slæt 1982: sv. 175 N, st. 175 N. Engangsgødsning (y) og gødningsvanding (x) ved sv.

Der blev taget planteprovér én gang om ugen. Omkring tidspunktet for vanding ved stærk udtørring blev der taget hyppigere prøver.

Der blev i hvert led afklippet 2 prøveflader á $0,192 \text{ m}^2$ i 1. slætperiode og 3 prøveflader i de efterfølgende slætperioder ved prøveudtagning.

Da planterne om foråret sætter nye skud og vokser fra jordoverfladen, blev planterne afklippet ved denne i 1. slætperiode. I de efterfølgende slætperioder skyder planterne fra den tilbageblevne stub, hvorfor der her kun blev fjernet plantemasse over stubhøjde (7 cm).

Bladarealmålinger blev foretaget på afklippet plantemateriale, hvorfra stænglerne først blev fraklippet. Bladarealet blev målt på en Li-cor bladarealmåler, hvor arealet automatisk bliver opsummeret i kvadratcentimeter. Blade og stængler blev tørret ved 80 °C til konstant vægt efter målingerne. Hver måling blev udført med 3 gentagelser pr. led.

Ud fra disse målinger og tællinger kunne beregnes bladarealindeks (LAI, bladareal i cm^2 pr. cm^2 jord), bladstørrelse (cm^2 pr. blad), specifik bladareal (SLA, bladareal pr. vægtenhed bladtørstof, cm^2 pr. g) og bladprocenten (bladmasse i procent af total plantemasse).

Indstråling gennem plantedækket målt med en liniesensor, hvis målelængde er 1 m. Liniesensoren blev skubbet ind mellem to planterækker, hvorved den fotosynteseaktive lysindstråling (400-700 nm) ca. 4 cm over jordoverfladen blev målt. Samtidig blev totalindstrålingen målt, hvorefter lysreduktionen gennem plantedækket kunne beregnes.

Jordtemperatur målt med 100 ohms platinmodstandstermometre, hvis værdier hver anden time i vækstperioden blev registreret af en datalogger.

Der blev udelukkende målt ved kvælstofniveau 100 N. I 1980 blev der målt i dybderne 2, 10 og 30 cm, og i 1981 og 1982 i 5 og 20 cm. Derudover blev lufttemperaturen i plantehøjde (20 cm) målt.

I 1981 blev temperaturen yderligere målt i plantedækket. Termoføleren blev skærmet mod direkte indstråling af et gennemskåret aluminiumsrør. Der var 2 termofølere i hver dybde med undtagelse af 2 cm 1980, hvor der kun var 1.

Rodprøver blev udtaget efter sidste slæt i rammeforsøget. Der blev især udtaget prøver i 1981 og 1982. I 1981 med et jordbor, diameter 7 cm og længde 20 cm, og i 1982 med et jordbor, diameter 5,4 cm og længde 40 cm.

Da planterne står i rækker, vil rodfordelingen være meget inhomogen i jorden. Der blev derfor i 0-20 cm dybde taget prøver dels i rækkerne og dels imellem rækkerne. I 20-40 cm dybde blev det skønnet, at rækkeeffekten ikke havde nogen målelig betydning, hvorfor der i denne dybde ikke blev skelnet.

Jordprøverne blev frosset ved -20°C indtil udvaskningen af rødderne. Udvasningen blev foretaget ved en opslemning i vand, efterfulgt af en dekantering af rødderne over en 0,625 mm sigte og sidst en manuel frasoortering af dødt organisk materiale.

Antallet af døde rødder, som kendes ved deres mørkfarvning, var meget ringe. Tabet af rødder var ved denne metode yderst ringe og uden betydning vægtmæssigt. Rødderne blev derefter tørret ved 80°C til konstant vægt. Der blev udtaget 8 gentagelser pr. led.

Resultater

Tørstofproduktion

Toptørstofproduktion

I rammeforsøget blev vand udelukkende tilført ved vanding. I fig. 1 er der vist et eksempel på vandingshyppigheder og mængder i et enkelt gødningsniveau i 1982. Desuden er tidspunktet for gødningsvanding angivet.

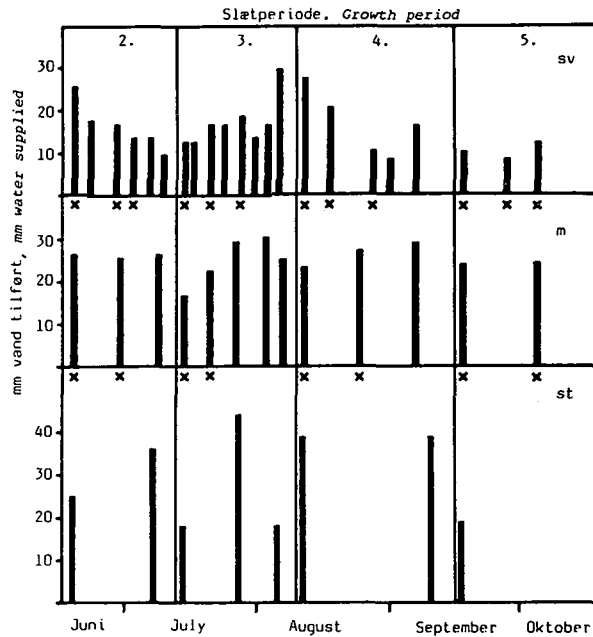


Fig. 1. Vanding og gødningsvanding (x). Rammeforsøg, 100 N 1982.

Irrigation and fertigation (x). Small plot experiment, 100 N 1982

sv: Svag udtørring. Low water stress.

m: Middel udtørring. Medium water stress.

st: Stærk udtørring. High water stress.

Den høstede tørstofmængde pr. slæt er vist i tabel 1 som gennemsnit af kvælstofniveauerne. I 1980, hvor der ikke blev vandet til markkapacitet efter slæt, bevirkede hyppigere vanding en betydelig stigning i tørstofproduktionen. I 1981 og 1982, hvor der blev vandet til markkapacitet efter slæt, blev vandingseffekten reduceret betydeligt. Der var således i de fleste slæt ikke signifikant stigning i tørstofmængden ved en ændring i vandingsmetoden fra middel til svag udtørring. Derimod steg tørstofmængden signifikant med undtagelse af 4. og 5. slæt 1981 fra stærk til middel udtørring. Vekselvirkningen mellem vand og kvælstof var i de fleste slæt ikke signifikant.

Tabel 1. Slæt datoer af toptørstofudbytte i ramme-forsøg, hkg/ha. Gennemsnit af alle kvælstofniveauer.

Date of mowing and top dry matter yield in small plot experiment, hkg per ha. Average of all nitrogen levels.

sv: Svag udtørring. *Low water stress.*

m: Middel udtørring. *Medium water stress.*

st: Stærk udtørring. *High water stress.*

slæt	slæt datoer	sv	m	st	LSD
<i>cut</i>	<i>date of mowing</i>				
1980					
1.	10/6	-	-	-	
2.	8/7	35,0	28,6	11,0	1,4
3.	7/8	29,8	26,8	24,8	1,6
4.	18/9	24,6	20,1	15,7	1,1
1981					
1.	3/6	-	-	-	
2.	30/6	31,0	30,2	25,2	1,4
3.	27/7	24,9	25,1	22,5	2,1
4.	8/9	31,6	32,4	29,4	n.s.
5.	28/10	18,4	18,1	17,3	n.s.
1982					
1.	15/6	-	-	-	
2.	12/7	31,9	29,5	25,0	2,4
3.	9/8	22,2	20,8	14,4	1,8
4.	15/9	23,2	22,7	18,6	2,2
5.	18/10	12,3	12,4	12,3	n.s.

I tabel 2 er tørstofudbyttet i 1981 som gennemsnit af vandingsniveauerne vist. Det ses, at stigende kvælstoftilførsel har bevirket en stigende tørstofproduktion, og at den største stigning blev fundet ved lav kvælstoftilførsel.

Tabel 2. Tøpørstofproduktion i ramme-forsøg 1981, hkg/ha. Gennemsnit af alle vandingsniveauer.

Production of top dry matter in small plot experiment 1981, hkg per ha. Average of all irrigation levels.

slæt cut	kg N pr. ha pr. slæt kg N per ha per cut				LSD
	25	100	175	250	
2.	15,9	29,5	33,9	35,9	1,7
3.	9,1	26,1	30,5	31,0	2,5
4.	10,4	34,5	42,2	37,2	4,5
5.	5,3	20,4	25,0	21,1	1,4

Tabel 3. Lysindstråling i stubhøjde i procent af totalindstråling ved svag ud-tørring.

Ramme-forsøg, 2. slætperiode 1982.

Radiation on the stubble level in per cent of total radiation at low water stress. Small plot experiment 2nd growth period 1982.

forsøgsled treatment	dage efter 1. slæt days after 1st cut		
	9	16	23
25 N	18,5	11,0	7,4
100 N	19,6	6,1	1,6
250 N	13,0	3,1	0,8
LSD	n.s.	2,6	1,4

Tørstofudbyttet ved 175 N og 250 N i 1981 er vist i fig. 2. Tørstofmængden ved 250 N var i 2. slæt større end 175 N ved alle vandingsniveauer. I 3. slæt blev der produceret mest tørstof ved 175 N ved svag udtørring, i 4. slæt ved både middel og svag udtørring og i 5. slæt ved alle vandingsniveauer. Denne nedgang i tørstofproduktionen ved 250 N skyldes især dårlig genvækst efter slæt. Dette var mest udtalt i de hyppigst vandede, og genvæksten blev dårligere i løbet af vækstperioden. Reduktion i skudantallet fandtes også i mindre grad ved 175 N og kunne svagt forekomme ved 100 N.

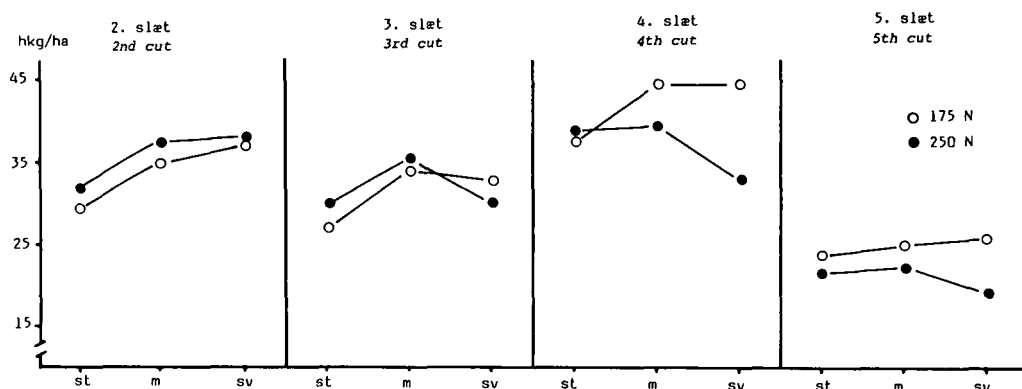


Fig. 2. Udbytte af toptørstof ved forskellig udtørningsgrad. Rammeforsøg 1981.

Yield of top dry matter at different water stress. Small plot experiment 1981.

Lysindstrålingen i stubhøjde i 2. slætperiode 1982 ses i tabel 3. Det ses, at plantedækket allerede skyggede kraftigt 16 dage efter høst ved 100 og 250 N. Den kraftigste reduktion i lysindstrålingen fandtes ved 250 N ved svag udtørring, hvor mindre end 1% af totalindstrålingen nåede den kommende stub 23 dage efter 1. slæt (4 dage før 2. slæt). Efter slæt var der her praktisk talt ingen fotosynteseaktive planteorganer tilbage.

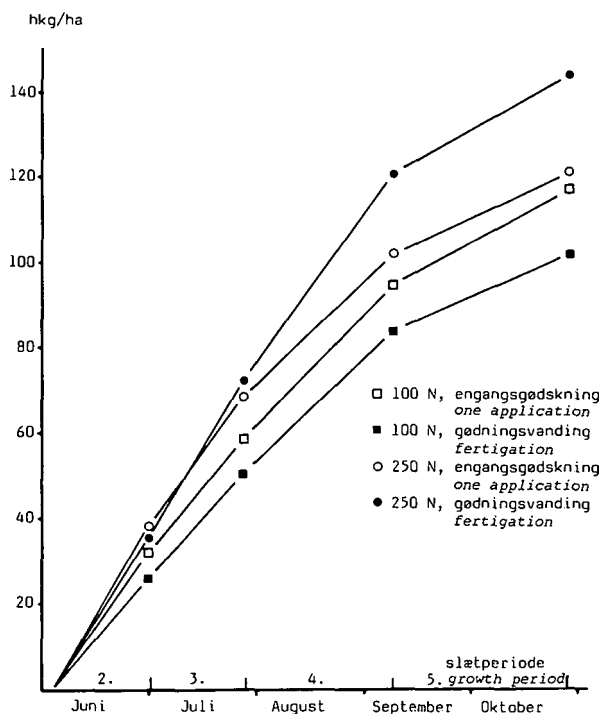


Fig. 3. Tøptørstofudbytte ved svag udtørring. Rammeforsøg 1981.

Yield of top dry matter at low water stress. Small plot experiment 1981.

Gødningsvanding med kvælstof i relation til engangsgødskning ved svag udtørring i 1981 er vist i fig. 3. Det gælder for hvert år, at tørstofudbyttet ved gødningsvanding ved 100 N var mindre end ved engangstilførsel i begge de undersøgte udtørningsgrader. Derimod gav gødningsvanding ved 250 N kun et mindre tørstofudbytte i 2. slæt, hvorimod udbyttet i de resterende slæt var større end ved engangstilførsel. Denne nedgang i tørstofproduktionen ved en-

gangsgødskning var størst ved svag udtørring. Her var der i gennemsnit en nedgang på 11% i den totale tørstofproduktion, mens der ved middel udtøringsgrad var en nedgang på 4%. Vekselvirkningen mellem mængde og metode af kvælstoftilførsel i 3. - 5. slæt var signifikant i hvert slæt.

Tørstofproduktionen ved 175 N i de overdækkede markparceller er vist i fig. 4a. Det ses, at den producerede tørstofmængde ved slæt var størst i 1. slæt og aftog med slætantal.

Produktionshastigheden ved svag udtørring var størst i den sidste del af 1. slætperiode og i 2. slætperiode og blev derefter mindre i de følgende slæt. Dette ses også i tabel 4, hvor hældningskoefficienten (kg tørstof pr. ha pr. dag) for den midterste periode i hvert slæt er angivet. Hældningskoefficienten var størst i 1. og 2. slætperiode og aftog derefter med slætantal. Den gennemsnitlige lufttemperatur i plantehøjde og den gennemsnitlige potentielle fordampning pr. dag i disse perioder ses også i tabel 4.

Tabel 4. Tørstofproduktionshastigheden i den midterste del af slætperioden.

Overdækkede markparceller 1982.

The rate of dry matter production in the middle part of the growth period. Roofed field plots 1982.

Slæt	Midterste del af slætperioden.	Hældningskoefficienten kg tørstof/(ha·dag).		Temperatur i plantehøjde, gennemsnit.	Potentiel fordamp., pr. dag.
Cut	Middle part of the growth period.	The slope coefficient kg dry matter/ha·day).	sig.	Tempera. at plant height, average. °C	Potential evapotran. ave./day. mm
1.	12/5 - 26/5	183	**	12,9	1,6
2.	17/6 - 6/7	185	***	14,0	2,6
3.	22/7 - 16/8	139	***	18,5	4,1
4.	20/8 - 14/9	105	***	13,5	1,9
5.	30/9 - 14/10	10	n.s.	11,5	0,7

** Signifikant ved 1%. *** Signifikant ved 0,1%.

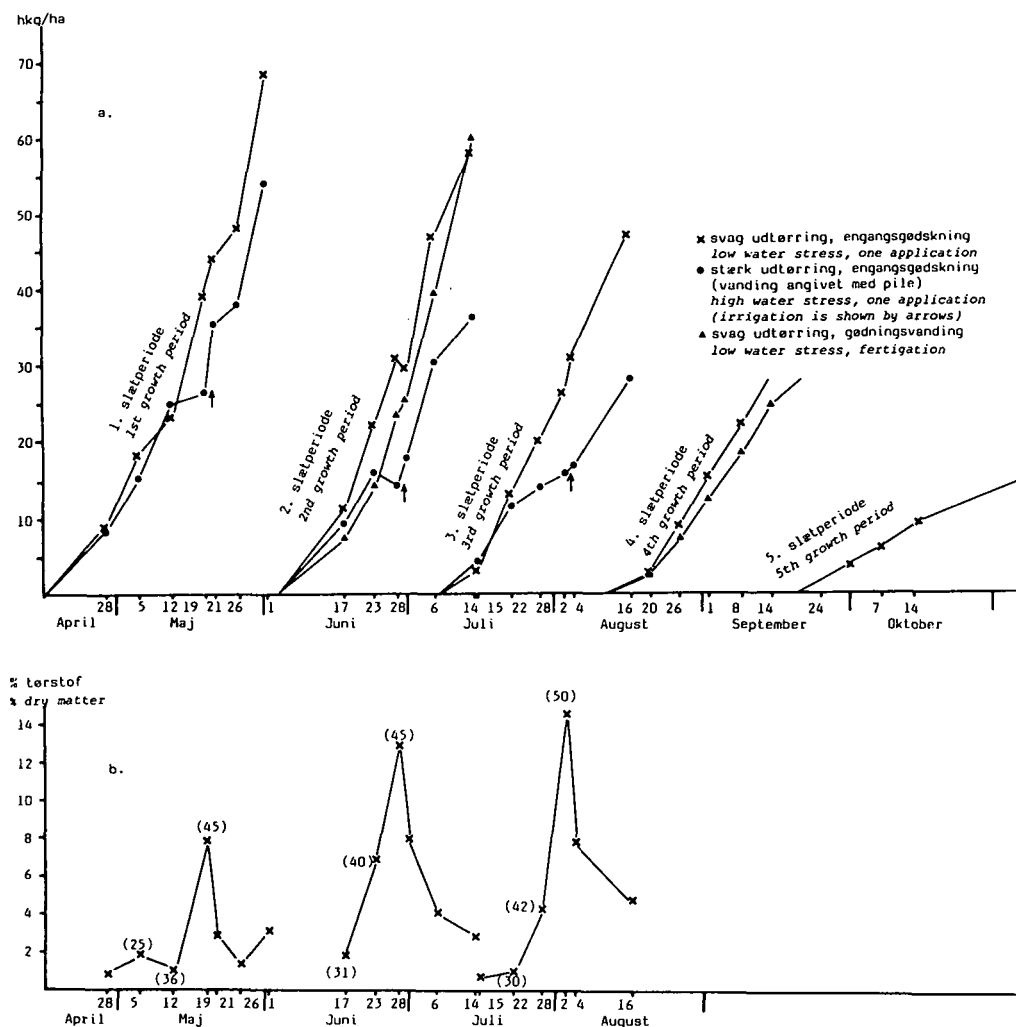


Fig. 4. a. Produktion af toptørstof. Production of top dry matter.

b. Differensen mellem tørstofprocenten ved stærk og svag udtørring.

Underskud, mm, ved prøveudtagning i led med stærk udtørring er angivet i parentes.

The difference between the per cent of dry matter at low and high water stress. Deficit, mm, when sampling at high water stress are shown in parenthesis.

Overdækkede markparceller, 175 N 1982. Roofed field plots, 175 N 1982.

Jordens vanddeficit ved prøveudtagning de 2 sidste uger inden vanding ved stærk udtørningsgrad ses i fig. 4b. Et kraftigt regnskyl lige inden 4. slætperiode dvs. inden overdækning bevirkede, at den kraftige udtørring ikke blev opnået i denne periode. I 5. slætperiode, hvor vandforbruget pr. dag var meget lille, blev den kraftige udtørring heller ikke opnået.

Den sidste uge inden vanding var tørstofproduktionen meget lille og endog negativ i 2. slæt. Den relative produktionshastighed i 1-2 uger efter vanding ved stærk udtørring var hver gang større end ved svag udtørring. Tørstofproduktionen var således forholdsvis større i planter, der havde været tørkestressede, end i kontrolplanter.

Vandpotentialet i jorden påvirker planternes vandindhold. I fig. 4b er differencen mellem tørstofprocenten ved stærk og ved svag udtørring vist. Tørstofprocenten synes først at stige kraftigt omkring et vanddeficit på 40 mm. To dage efter vanding var tørstofprocenten stadig en del højere, og den forblev højere i resten af slætperioden.

Ved gødningsvanding var tørstofproduktionen mindre end ved engangsgødskning. Kun ved sidste prøveudtagning i 2. slætperiode, jvf. fig. 4a, var tørstofmængden størst ved gødningsvanding. Forskellen mellem engangsgødskning og gødningsvanding var dog ikke signifikant. I slutningen af 4. slætperiode synes gødningsvanding ikke at have haft nogen positiv effekt på tørstofmængden. Her var den producerede tørstofmængde kun halv så stor som i 2. slæt. Forskellen var heller ikke her signifikant.

Rødtørstofproduktion

Rodmængden aftager kraftigt fra jordoverfladen og nedefter. I gennemsnit blev 72% af rod mængden således fundet i 0-10 cm dybde, 12% i 10-20 cm dybde, 10% i 20-30 cm dybde og 6% i 30-40 cm dybde.

I tabel 5 er rødtørstofmængden vist ved svag og stærk udtørring, som gennemsnit af de undersøgte kvælstofniveauer. I 1981 blev der taget prøver i alle kvælstofniveauer, mens der i 1982 ikke blev taget prøver i det højeste kvælstofniveau. Der var en signifikant større rod mængde i 0-10 cm ved svag udtørring, mens der i dybden 10-40 cm ingen signifikante forskelle var. Den totale rod mængde var ca. 10% mindre ved stærk udtørring end ved svag. Forskellen i 0-10 cm dybde skyldes hovedsagelig, at der ved hyppig vanding blev udviklet et kraftigere rodtæppe imellem rækkerne. Dette kan ses i fig. 5, hvor

Tabel 5. Rodtørstofproduktion. Gennemsnit af kvælstofniveauerne 25 N, 100 N, 175 N og 250 N i 1981 og 25 N, 100 N og 175 N i 1982. Rammeforsøg. *Production of root dry matter. Average of all nitrogen levels. Small-plot experiment.*

dybde depth	1981			1982		
	sv	st	LSD	sv	st	LSD
cm	10^{-5} g/cm^3			10^{-5} g/cm^3		
0-10	240	203	19	217	189	17
10-20	37	35	n.s.	43	38	n.s.
20-30	27	33	n.s.	30	31	n.s.
30-40	15	20	n.s.	14	14	n.s.
	kg/ha			kg/ha		
0-40	2.552	2.328		2.432	2.176	

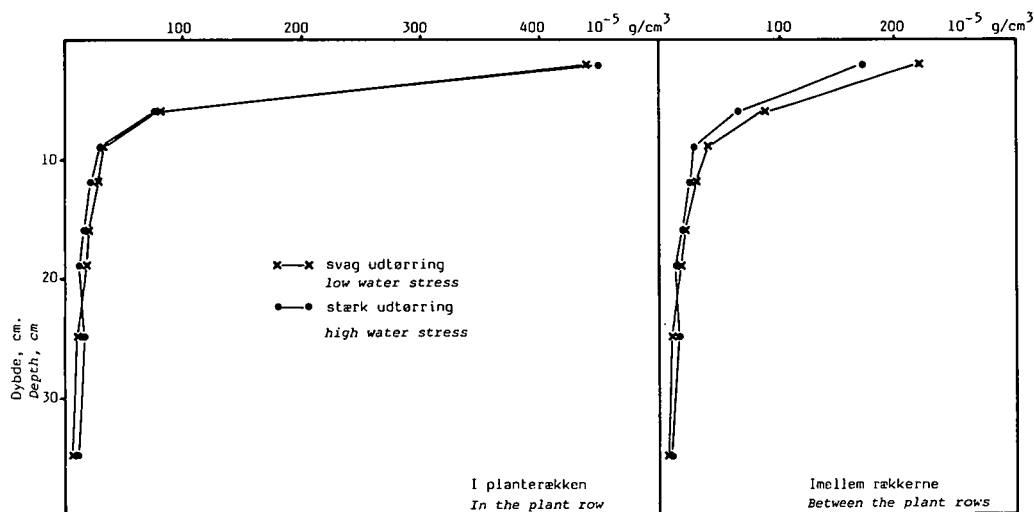


Fig. 5. Rodtørstof. Rammeforsøg, 175 N 1981.

Root dry matter. Small plot experiment, 175 N 1981.

resultaterne fra svag og stærk udtørring ved 175 N er afbildet. Det ses, at der i planterækkerne ikke har været nogen forskelle i rodmængden ved forskellig vandingsfrekvens, hvorimod der var en større rodmængde ved svag udtørring imellem planterækkerne i 0-10 cm dybde.

Stigende kvælstoftilførsel bevirkede en mindre rodudvikling i alle dybder. Dette ses i tabel 6, hvor rodmængden som gennemsnit af de undersøgte vandingsniveauer er vist for de enkelte kvælstofniveauer. Den største effekt fandtes ved lav kvælstoftilførsel, hvor rodtørstofproduktionen reduceredes med ca. 35% ved en stigning i kvælstoftilførslen fra 25 til 100 kg N pr. ha pr. slæt. Reduktionen var af samme størrelsesorden ved en kvælstofstigning fra 100 N til 175 N i 1981, hvorimod den kun var 13% i 1982. Dette skyldes, at den totale rodtørstofproduktion var mindre i 1982 end i 1981 ved kvælstofniveauerne 25 N og 100 N. Reduktionen i rodtørstofproduktionen ved stigningen fra 175 N til 250 N, som kun blev undersøgt i 1981, var lille og ikke signifikant.

Tabel 6. Rodtørstofproduktion. Gennemsnit af de undersøgte vandingsniveauer, svag og stærk udtørring. Rammeforsøg.

Production of root dry matter. Average of the irrigation levels, low and high water stress. Small plot experiment.

dybde (cm)	25 N	100 N	175 N	250 N	LSD
cm	<u>1981</u>				
	10^{-5} g/cm^3				
0-10	326	228	167	157	27
10-20	67	36	22	20	7
20-30	51	34	15	17	10
30-40	27	20	10	11	13
	kg/ha				
0-40	3.768	2.544	1.712	1.640	
	<u>1982</u>				
	10^{-5} g/cm^3				
0-10	276	178	155		21
10-20	52	36	34		3
20-30	43	29	21		3
30-40	19	12	11		5
	kg/ha				
0-40	3.120	2.040	1.768		

Da en øget kvælstoftilførsel forøger produktionen af toptørstof og formindsker produktionen af rodtørstof vil top/rod forøges ved stigende kvælstoftilførsel. I tabel 7 er dette forhold angivet for 5. slæt 1981. Det ses, at top/rod steg kraftigt med stigende kvælstoftilførsel og var 10 gange større ved 175 N end ved 25 N. Top/rod var større ved 175 N end ved 250 N, hvilket skyldes, at produktionen af toptørstof var størst ved 175 N.

Gødningsvanding har ikke påvirket rodmængde eller fordeling signifikant i forhold til engangstilførsel.

Tabel 7. Top/rod i 5. slæt 1981 ramfeforsøg. Gennemsnit af vandingsniveauerne.
Shoot/root at 5th cut 1981, small-plot experiment. Average of irrigation levels.

	top/rod
	<u>shoot/root</u>
25 N	0,14
100 N	0,80
175 N	1,46
250 N	<u>1,25</u>

Vand - toptørstof relationer

Vandudnyttelse

Vandudnyttelsen er defineret som: tørstofudbytte, kg pr. ha

vandforbrug, mm (Bolton, 1981)

I ramfeforsøget kendes vandforbruget nøjagtigt, og det har derfor været muligt at udregne vandudnyttelsen. Vandudnyttelsens størrelse er afhængig af en række faktorer. I tabel 8 er gennemsnittet af vandudnyttelsen ved svag udtørring angivet. Det ses, at vandudnyttelsen blev mindre i løbet af vækstperioden i 1980 og 1981, mens vandudnyttelsen i 1982 var lavest i 3. slætperiode. Som det ses i tabel 8 var den potentielle fordampning og temperatur i plantehøjde meget høj i denne slætperiode. Med undtagelse af dette slæt synes der ikke at have været nogen sammenhæng mellem vandudnyttelsen og klimaparametrene potentiel fordampning og temperatur.

Tabel 8. Vandudnyttelse ved svag udtørring, kg tørstof pr. ha pr. mm, den gennemsnitlige potentielle fordampning, mm/dag, og den gennemsnitlig lufttemperatur i plantehøjde, °C. Gennemsnit af alle kvælstofniveauer. Ramme-forsøg.

Water use efficiency at low water stress, kg dry matter per ha per mm, the average potential evapotranspiration, mm/day, and the average air temperature at plant level, °C. Average of all nitrogen levels. Small-plot experiment.

slætperiode	kg tørstof pr. ha pr. mm	mm/dag	°C
<i>growth period</i>	<i>kg dry matter per ha per mm</i>	<i>mm/day</i>	
<u>1980</u>			
2.	40,8	2,1	13,1
3.	36,1	2,3	14,7
4.	29,8	2,0	13,9
LSD	2,3		
<u>1981</u>			
2.	42,6	2,3	14,0
3.	35,5	2,6	15,9
4.	28,6	2,1	15,8
LSD	6,2		
<u>1982</u>			
2.	35,3	2,7	13,6
3.	17,5	4,1	18,2
4.	31,0	2,4	15,6
LSD	4,1		

Da vandet hovedsagelig fordamper fra bladpladerne har bladarealindekset (LAI), defineret som areal blad pr. areal jord, stor betydning for vandforbrugets størrelse. Det gælder for både 1980 og 1981, at vandudnyttelsen ved det samme LAI blev mindre i løbet af vækstperioden. Som eksempel er vandudnyttelsen ved svag udtørring i 1981 som funktion af LAI ved slæt vist i fig. 6, hvor det også ses, at vandudnyttelsen steg med stigende LAI ved slæt. I 1982 var vandudnyttelsen ved samme LAI lavest i 3. og højest i 2. slæt.

Nedgangen i vandudnyttelsen i løbet af vækstperioden i 1980 og 1981 og i 3. slæt i 1982, som vist i tabel 8 skyldes således ikke et mindre LAI, men en reel nedgang i vandudnyttelsen pr. arealenhed blade.

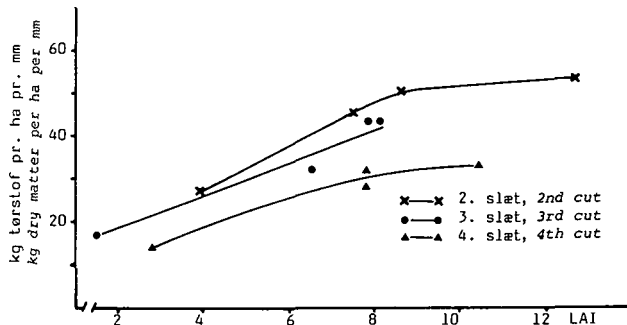


Fig. 6. Vandudnyttelse, kg tørstof pr. ha pr. mm, som funktion af bladarealindeks ved slæt. Svag udtørring, ramme-forsøg 1981.

Water use efficiency, kg dry matter per ha per mm, as a function of leaf area index at mowing. Low water stress, small plot experiment 1981.

Udover slættidspunktet afhænger størrelsen af LAI bl.a. af vand og kvælstoftilførslen. LAI stiger ligesom tørstofproduktionen med stigende vand og kvælstoftilførsel.

Som eksempel på vandudnyttelsens afhængighed af kvælstof og vand er 4. slæt 1981 vist i fig. 7a. Vandudnyttelsen steg med stigende kvælstoftilførsel. Den største stigning fandtes ved stigning i kvælstoftilførslen fra 25 N til 100 N, mens der kun var ringe stigning fra 100 N til 250 N. Ved svag udtørring var vandudnyttelsen i 4. slæt størst ved 175 N. I 2. og 3. slæt var vandudnyttelsen derimod størst ved det højeste kvælstofniveau (250 N). Dette har sandsynligvis sammenhæng med tidligere omtalte nedgang i tørstofproduktionen

ved 250 N i løbet af vækstperioden.

Stigende udtørningsgrad bevirkede, at vandudnyttelsen blev mindre ved laveste kvælstofniveau (25 N). Eneste undtagelse var 2. slæt 1982. Ved de andre kvælstofniveauer, 100 N - 250 N, havde udtørningsgraden ikke nogen entydig effekt på vandudnyttelsen. Fra svag til middel udtørningsgrad steg vandudnyttelsen. En yderligere stigning fra middel til stærk udtørningsgrad bevirkede i 3. slæt 1981 og 1982 et fald i vandudnyttelsen. Herved blev vandudnyttelsen mindst ved stærk udtørningsgrad. I de øvrige slæt steg vandudnyttelsen derimod fra middel til stærk udtørningsgrad.

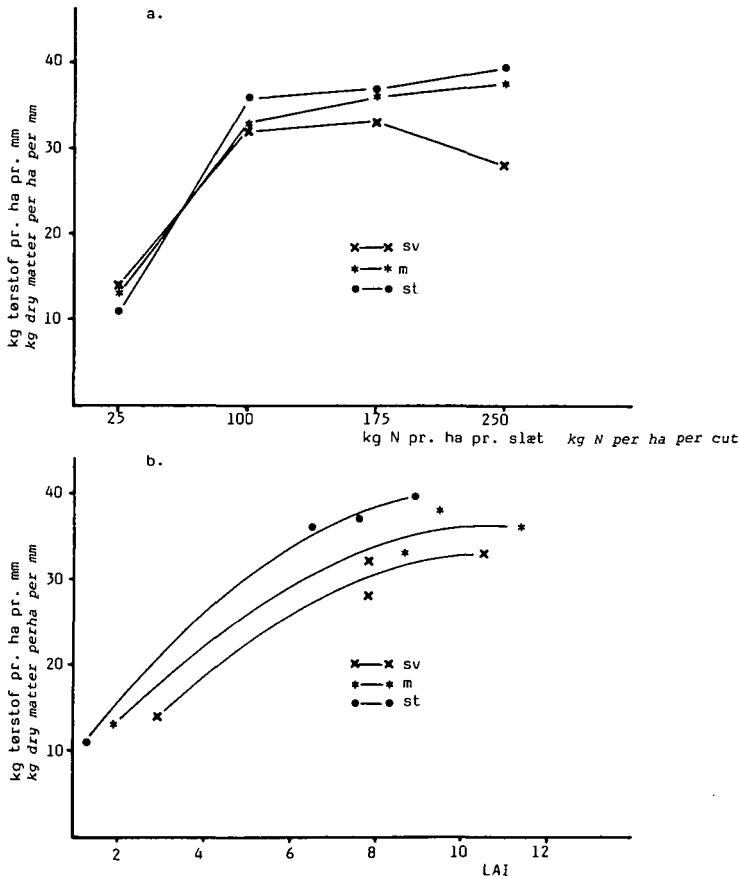


Fig. 7. Vandudnyttelse som funktion af a. kvælstoftilførsel og b. LAI ved slæt. Rammeforsøg, 4. slæt 1981.

Water use efficiency as a function of a. nitrogen application and b. LAI at mowing. Small plot experiment, 4th cut 1981.

Hyppigere vanding bevirkede at vandudnyttelsen ved det samme LAI blev mindre. Som eksempel er 4. slæt 1981 vist i fig. 7b. Nedgangen i vandudnyttelsen ved hyppigere vanding skyldes ligesom afhængigheden af tidspunktet i vækstperioden ikke et mindre LAI, men en mindre vandudnyttelse pr. arealenhed blade.

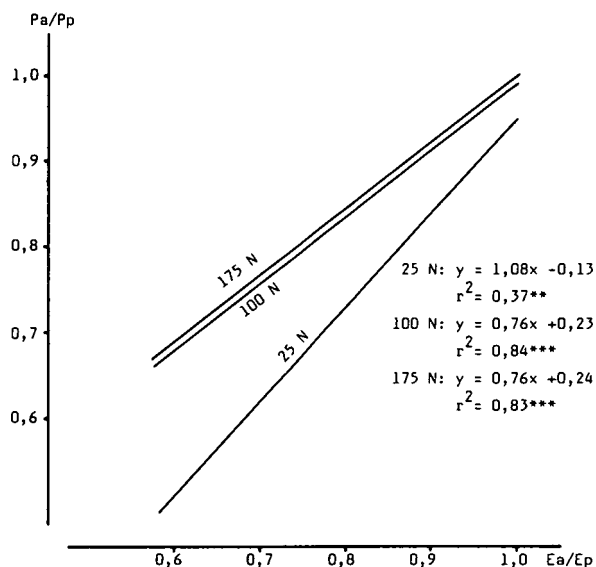


Fig. 8. Den relative toptørstofproduktion som funktion af den relative evapotranspiration. Rammeforsøg.

The relative top dry matter production as a function of the relative evapotranspiration. Small plot experiment.

Klima og stofproduktion

Den relative stofproduktion (P aktuel/ P potentiel) som funktion af den relative evapotranspiration (E_a/E_p) for hele slætperioden er vist i fig. 8 for alle år i 2. - 4. slæt. Den potentielle stofproduktion (toptørstofproduktion) og evapotranspiration er her defineret som de højeste værdier i hvert slæt indenfor det enkelte kvælstofniveau. Stærk udtørring i 2. og 4. slæt 1980 er ikke med i beregningerne, da den anden vandingsstrategi i 1980 bevirkede, at perioden fra slæt til vanding her var forholdsvis stor. Da tørstofproduktionen ved den største kvælstoftildeling (250 N) hæmmedes i løbet af vækstpe-

rioden, er resultaterne fra dette kvælstofniveau ikke medtaget i beregningerne i dette afsnit.

Fig. 8 viser, at relationen mellem den relative stofproduktion og den relative evapotranspiration var næsten ens i 100 N og 175 N. Henholdsvis 84 og 83% af variationerne i den relative stofproduktion kunne forklares ved variationer i den relative evapotranspiration, og det ses, at et fald i E_a/E_p medførte et relativt mindre fald i P_a/P_p . Ved den laveste kvælstoftildeling kunne kun 37% af variationen i P_a/P_p forklares ved variationen i E_a/E_p . Modsat de to andre kvælstofniveauer medførte et fald i E_a/E_p i det laveste kvælstofniveau et relativt større fald i P_a/P_p .

Den potentielle stofproduktion pr. slæt, omregnet til kg tørstof pr. dag, ved 100 N og 175 N som funktion af den potentielle evapotranspiration, omregnet til mm vandforbrug pr. dag, er vist i fig. 9.

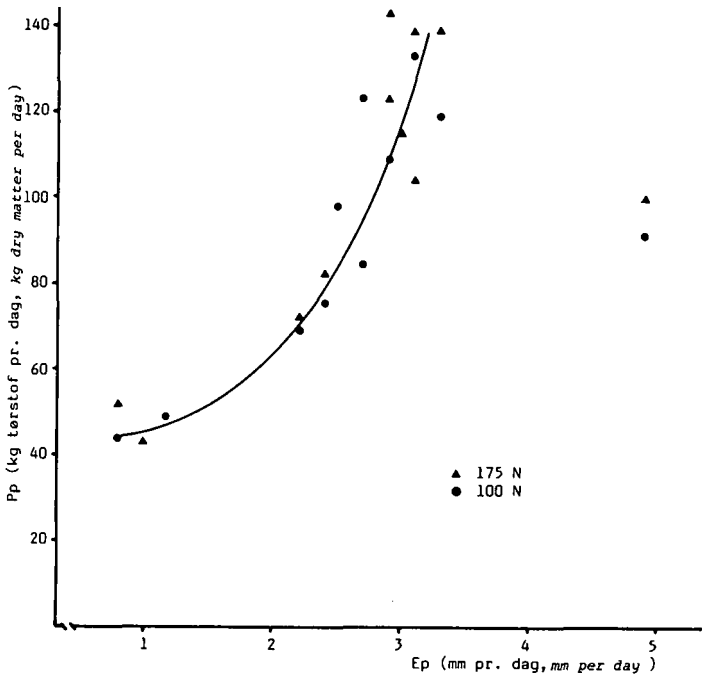


Fig. 9. Den potentielle stofproduktion som funktion af den potentielle evapotranspiration. Ramme-forsøg.

The potential dry matter production as a function of the potential evapotranspiration. Small plot experiment.

Det ses, at den potentielle stofproduktion har været eksponentielt stigende med stigende potentiel evapotranspiration, indtil ca. 3,5 mm pr. dag. I 3. slæt 1982, som var det eneste slæt i forsøgsperioden med en meget stor evapotranspiration, blev den potentielle stofproduktion forholdsvis lille, hvilket også ses i fig. 9. Der synes ikke at have været nogen forskelle på de to kvælstofniveauer.

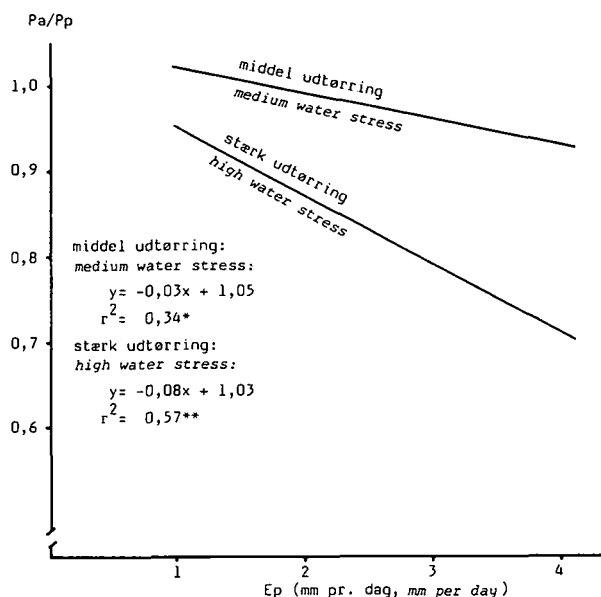


Fig. 10. Den relative toptørstofproduktion som funktion af den potentielle evapotranspiration. Rammeforsøg, 100 N og 175 N.

The relative top dry matter production as a function of the potential evapotranspiration. Small plot experiment, 100 N and 175 N.

Den relative stofproduktion (Pa/Pp) som funktion af den potentielle evapotranspiration ved 100 N og 175 N ses i fig. 10. Pa/Pp blev mindre ved en stigende potentiel evapotranspiration. Faldet ved stærk udtørring var forholdsvis større end ved middel udtørring. Korrelationskoefficienterne var imidlertid forholdsvis små i disse beregninger, hvilket også kan ses i figuren.

Jordtemperatur

Tabel 9 viser den gennemsnitlige lufttemperatur i plantehøjde og den gennemsnitlige jordtemperatur for hver slætperiode i 1980 og 1982. Der var kun ubetydelige forskelle i temperaturforløbet i 1980 og 1981, hvorfor resultaterne fra 1981 ikke er medtaget. Det ses i tabel 9, at den gennemsnitlige jordtemperatur i alle dybder har været større end den gennemsnitlige lufttemperatur. Ligeledes har temperaturen i den størst målte dybde været lavere end nærmere ved jordoverfladen. Vandingshyppigheden har påvirket jordtemperaturen i alle måledybder. Den højeste jordtemperatur fandtes med få undtagelser ved stærk udtørring, og forskellen mellem vandingsniveauerne var størst mellem svag og middel udtørring. En periode med høj lufttemperatur og stor indstråling i 3. og første del af 4. slætperiode i 1982 bevirkede, at forskellen

Tabel 9. Den gennemsnitlige luft og jordtemperatur, °C. Rammeforsøg, 100 N.

The average air and soil temperature, °C. Small-plot experiment, 100 N.

slætperiode	luft	sv	m	st	sv	m	st	sv	m	st
growth period air										
1980										
		2 cm			10 cm			30 cm		
2.	13,1	15,4	15,6	16,2	15,3	15,7	16,0	15,1	15,3	15,4
3.	14,7	15,8	16,0	16,2	15,5	15,9	15,9	15,2	15,4	15,3
4.	13,9	14,6	14,9	15,4	14,6	15,1	15,3	14,8	15,0	15,0
gns./average	13,9	15,3	15,5	15,9	15,1	15,6	15,7	15,0	15,2	15,2
1982										
					5 cm			20 cm		
2.	13,6				15,8	15,7	15,9	15,1	15,4	15,6
3.	18,2				19,4	19,7	20,3	18,6	19,2	19,6
4.	15,6				16,8	19,0	19,1	15,9	17,7	17,0
5.	14,5				15,1	18,7	18,4	17,1	18,8	17,2
gns./average	15,5				16,8	18,3	18,4	16,7	17,8	17,4

mellem vandingsniveauerne blev forøget i begge måledybder. Den døgn gennemsnitlige jordtemperatur ved stærk udtørring var højere end ved svag udtørring både inden og efter vanding. Som eksempel er de enkelte målinger af temperaturen i plantehøjde og i 5 cm dybde ved svag og stærk udtørring i en periode af 1981 vist i fig. 11. Den 25/6 blev der midt på dagen vandet med 42 mm ved stærk udtørring og med 15 mm ved svag udtørring. Jordtemperaturen i de målte dybder var ved stærk udtørring både før og efter vanding højere end ved svag udtørring på alle tidspunkter af døgnet.

Både før og efter vanding har der generelt været størst døgnudsving ved stærk udtørring. Efter vanding blev udsvingene betydelig mindre i det viste eksempel, hvilket sandsynligvis bl.a. skyldes mindre døgnudsving i lufttemperaturen. I jorden var døgnudsvingene størst tæt ved overfladen og blev mindre med dybden. Døgnudsvingene var dog størst i plantedækket. Her var der i den viste periode i fig. 11 en forskel på i gennemsnit 9,5 °C ved svag og 13,7 °C ved stærk udtørring mellem døgnets maksimale og minimale temperatur før vanding. Efter vanding var forskellen i gennemsnit henholdsvis 4,6 og 5,6 °C.

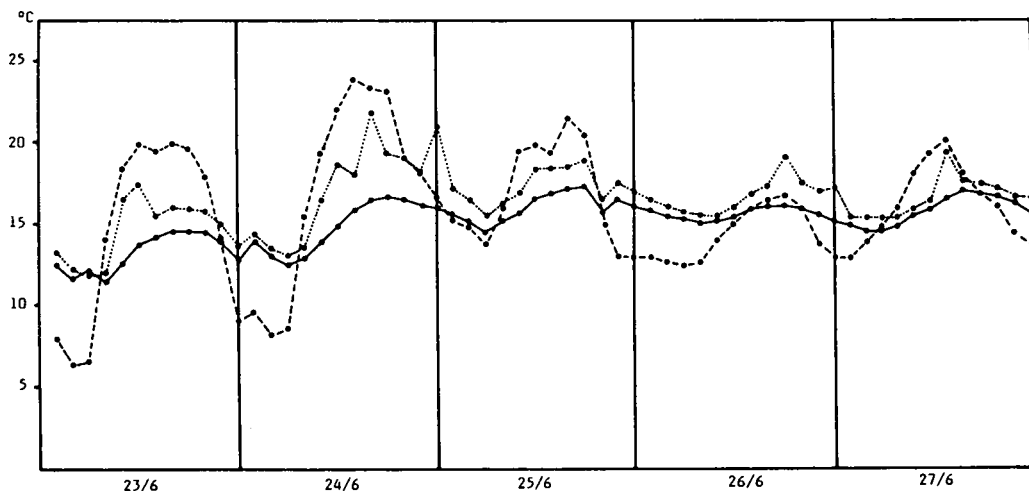


Fig. 11. Temperaturen i plantehøjde (•---•), i 5 cm dybde ved svag udtørring (•—•) og stærk udtørring (•-----•). Rammeforsøg, 1981.

Temperature at plant height (•---•), at 5 cm depth at low water stress (•—•) and high water stress (•-----•). Small plot experiment, 1981.

Den gennemsnitlige jordtemperatur har som før omtalt været større end den gennemsnitlige lufttemperatur. Forskellen mellem de to temperaturer har i de fleste slæt været størst i begyndelsen af slætperioden. I tabel 10 er vist eksempler på kortere tidsintervaller i 2. slætperiode 1981 og 1982. Det ses, at jordtemperaturen var forholdsvis størst i begyndelsen af slætperioden, hvor indstrålingen til jordoverfladen også er størst på grund af ringe plantedække. Sidst i slætperioden, hvor planterne skygger kraftigt, kunne jordtemperaturen endog blive lavere end lufttemperaturen. Det samme forhold gør sig gældende for temperaturen i plantedækket. Når denne i begyndelsen af slætperioden var større end lufttemperaturen, skyldes det bl.a. refleksion fra jordoverfladen.

Tabel 10. Gennemsnitlig lufttemperatur i plantehøjde og differencen mellem denne og jordtemperatur/temperatur mellem planterne, °C.

Ramfeforsøg, svag udtørring, 2. slætperiode 1981 og 1982.

Average air temperature at plant height and the difference between this and the earth temperature/the temperature between the plants, °C.

Small-plot experiment, low water stress, 2nd growth period 1981 and 1982.

Periode	luft	mellem planterne	i jorden	
Period	air	between the plants	in the soil	
		15 cm	5 cm	20 cm
<u>1981</u>				
6/6-10/6	15,4	2,5	1,9	1,2
11/6-15/6	13,0	1,3	2,2	1,7
16/6-20/6	12,2	0,6	1,6	1,5
21/6-25/6	13,9	-0,3	-0,3	-0,7
26/6-30/6	15,2	-0,1	0,3	-0,2
<u>1982</u>				
15/6-16/6	10,4		3,5	2,9
17/6-21/6	12,2		3,5	2,8
22/6-26/6	13,2		2,5	1,7
27/6- 1/7	14,1		2,0	1,2
4/7- 5/7	12,9		2,1	1,9
7/7-11/7	16,6		0,2	-0,8

Morfologisk udvikling

Bladprocent

Bladprocenten, som er bladtørstof i procent af toptørstof, er især afhængig af udviklingstrin. I fig. 12a er bladprocentens tidsmæssige variation i de overdækkede markparceller angivet. I 1. slæt blev bladtørstoffet relateret til den totale overjordiske plantemasse, mens det i de øvrige slæt blev relateret til plantemassen over stubhøjde. Det ses, at bladprocenten aftog i løbet af slætperioden i takt med at stængler og eventuelle frø udvikledes. Ved svag udtørring var hastigheden, hvormed bladprocenten aftog, ens i 1. og 2. slætperiode, men mindre i 3. og mindst i 4. slætperiode. Dette skyldes hovedsagelig græssets fysiologiske udvikling, da aksdannelsen er størst i 1. og 2. slætperiode og aftager kraftigt senere i vækstperioden. Dette bevirker, at bladprocenten ved slæt forøges i løbet af vækstperioden, hvilket også kan ses af tabel 11. Her er resultater fra svag udtørring i ramme-forsøget angivet. Stigningen var kraftigst i 1980 og 1982. I 1981 blev der ikke udviklet så mange frø i 2. slæt, hvorfor bladprocenten her var forholdsvis stor.

Kvælstofmængden, gødskningsmetoden og vandingsniveau har i ramme-forsøget ikke haft signifikant indvirkning på bladprocenten.

Tabel 11. Bladprocent ved slæt. Gennemsnit af alle kvælstofniveauer. Ramme-forsøg, svag udtørring.

Leaf per cent at cut. Average of all nitrogen levels. Small-plot experiment, low water stress.

Slæt	1980	1981	1982
Cut			
2.	58,0	82,1	59,6
3.	77,1	81,8	80,6
4.	89,0	86,4	85,9
5.	-	93,5	95,6
LSD	2,5	3,3	2,6

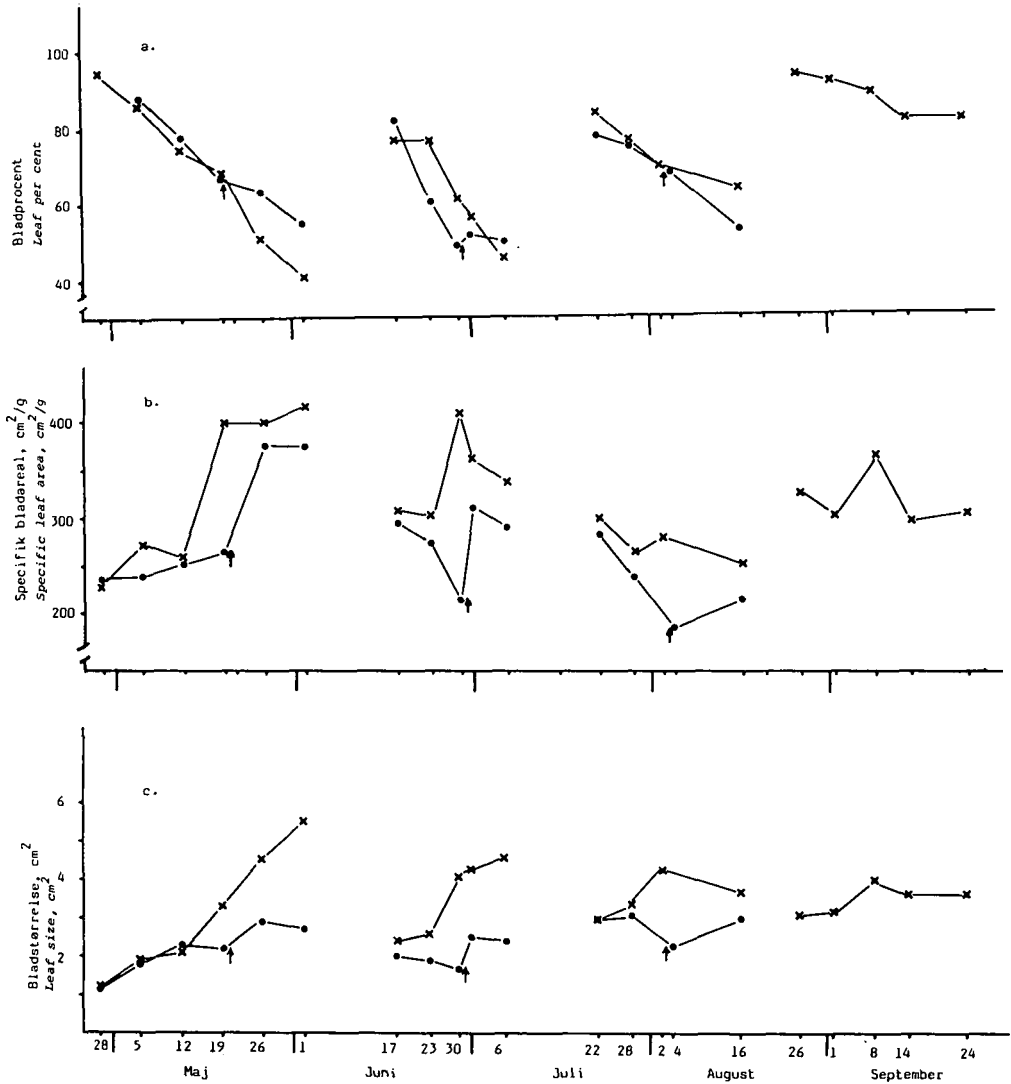


Fig. 12. a. Bladprocent, b. specifik bladareal og c. den gennemsnitlige bladstørrelse. Overdækkede markparceller 1982.

a. Leaf per cent, b. specific leaf area, and c. average leaf size. Roofed field plots 1982.

× 175 N, svag udtørring
175 N, low stress

• 175 N, stærk udtørring, vanding angivet med pile
175 N, high water stress, irrigation is shown by arrows.

Specifik bladareal (SLA)

Det specifikke bladareal (cm^2 blade/g bladtørstof) er meget afhængig af vækstbetingelserne. Øget kvælstoftilførsel bevirkede således en stigning i SLA, hvilket ses af tabel 12, hvor SLA som gennemsnit af vandingsniveauerne er vist for rammeforsøget 1982. Stigningen var størst og hver gang signifikant ved lav gødningstilførsel fra 25 N til 100 N. Gødskningsmetoden viste ikke nogen signifikant effekt på SLA.

Tabel 12. Specifik bladareal, cm^2/g . Gennemsnit af alle vandingsniveauerne. Rammeforsøg 1982.

Specific leaf area, cm^2/g . Average of all irrigation levels. Small plot experiment 1982.

Slæt/Cut	2.	3.	4.	Gns./Aver.
25 N	236	210	171	206
100 N	262	237	208	236
175 N	280	241	237	253
250 N	279	258	216	251
LSD	15	19	17	

Hyppigere vanding bevirkede ligesom øget kvælstoftilførsel en stigning i SLA. Dette kan ses i tabel 13, hvor SLA som gennemsnit af kvælstofniveauerne er vist fra rammeforsøget 1982. Forskellene mellem vandingsniveauerne var lige store i 1982, hvorimod forskellen mellem middel og stærk udtørring var betydelig større end mellem svag og middel udtørring i 1981. I fig. 12b, hvor SLA fra de overdækkede markparceller er afbildet, kan det ligeledes ses, at tørkestress har formindsket SLA.

Tabel 13. Specifik bladareal, cm^2/g . Gennemsnit af alle kvælstofniveauer. Rammeforsøg 1982.

Specific leaf area, cm^2/g . Average of all nitrogen levels. Small plot experiment 1982.

Slæt/Cut	2.	3.	4.	Gns./Aver.
sv	283	256	220	253
m	263	233	214	237
st	247	220	190	219
LSD	13	17	14	

Det gælder for alle forsøgsår, at SLA ved slæt blev mindre i løbet af vækstperioden, hvilket kan ses i tabel 12 og 13 for 1982. Variationerne inden for de enkelte slæt ses i fig. 12b. SLA ved svag udtørring steg kraftigt i løbet af 1. slætperiode, hvorimod der i de følgende slætperioder var et mere konstant forløb. Et fald i SLA bevirker, at bladarealindekset (LAI) ved samme bladtørstofmasse formindskes.

Bladstørrelse

Den gennemsnitlige bladstørrelse (cm^2/blad) er meget afhængig af forsøgsbetingelserne. I tabel 14 ses, at hyppigere vanding har forårsaget en stigning i bladstørrelsen. Effekten var størst fra stærk udtørring til middel udtørring. Ligeledes bevirkede en øget kvælstoftilførsel, at bladene blev større. Den største stigning fandtes ved lav kvælstoftilførsel, fra 25 N til 100 N, hvor bladstørrelsen næsten blev fordoblet. Bladene var størst ved 175 N, hvor udbyttet også var størst og en yderligere stigning i kvælstoftilførslen bevirkede, at bladene blev signifikant mindre.

Tabel 14. Gennemsnitlig bladstørrelse, cm^2 . Rammeforsøg 4. slæt 1982.

Average leaf size, cm^2 . Small plot experiment 4th cut 1982.

	sv	m	st	LSD	Gennemsnit
					<i>Average</i>
25 N	2,90	2,18	2,01		2,36
100 N	5,15	4,47	3,50		4,37
175 N	5,68	5,21	4,16		5,02
250 N	4,79	4,86	3,64		4,43
LSD					0,51
Gns./Aver.	4,63	4,18	3,33	0,43	

I fig. 12c er variationen i vækstperioden afbildet. Det kan også her ses, at tørkestress har bevirket mindre blade. Effekten var størst i 1. slætperiode. Bladstørrelsen ved slæt aftog i løbet af vækstperioden ved svag udtørring, således at de største blade blev opnået i 1. slæt.

Bladtæthed

Bladtætheden (bladantal/cm² jord) påvirkedes stærkt ved lav kvælstoftilførsel. I tabel 15 er resultaterne fra 1982 angivet. Det gælder for alle forsøgsår, at bladtætheden ved 25 N var signifikant mindre end ved 100 N, mens der ingen signifikante forskelle var mellem de 3 højeste kvælstofniveauer. Kvælstofmangel reducerede således bladantallet betydeligt.

Tabel 15. Bladtæthed, bladantal/cm² jord. Rammeforsøg 1982.

Leaf density, leaves/cm². Small plot experiment 1982.

	Slæt/Cut		
	2.	3.	4.
sv	0,89	1,02	0,93
m	0,82	0,85	0,97
st	0,74	0,69	0,89
LSD	0,12	0,10	n.s.
25 N	0,52	0,36	0,40
100 N	0,91	0,94	1,06
175 N	0,92	1,01	1,19
250 N	0,92	1,09	1,07
LSD	0,13	0,12	0,13

Vandingsfrekvensen havde ingen effekt på bladtætheden i 1981. I 1982 fandtes den største effekt i 3. slæt, hvor hyppigere vanding forøgede bladtætheden. Denne slætperiode var, som før omtalt, den eneste med meget stor potentiel fordampning (4,1 mm pr. dag).

Diskussion

Toptørstofproduktion

Vandingsfrekvensens påvirkning af toptørstofproduktionen blev kraftigt reduceret, når der blev vandet til markkapacitet efter slæt. Der var således her kun signifikant stigning i tørstofudbyttet ved en ændring af vandingsstrategien fra stærk til middel udtørring. Det aktuelle klima kan muligvis være en af årsagerne til dette. Der var kun få perioder med stor potentiel fordampling i forsøgsårene, og den relative toptørstofproduktion var netop afhængig af størrelsen af denne

Kvælstof var især en begrænsende faktor for toptørstofproduktionen ved tilførsel af 25 kg N pr. ha pr. slæt. Planterne var her nærmest gulgrønne, og klorofylindholdet var betydelig mindre end ved de andre kvælstofniveauer (Søegaard, 1984 III).

Ved højeste kvælstofniveau (250 N) blev tørstofproduktionen reduceret på grund af dårlig genvækst efter slæt. Forekomsten af områder med plantedød og reduceret skuddannelse ved store kvælstofmængder er velkendt, men kan også forekomme ved tilførsel af en forholdsvis lille kvælstofmængde (250 kg N pr. ha) (Ennik et al, 1980). I andre undersøgelser (Rijtema, 1980; van Burg, 1980) har store kvælstofmængder derimod ikke hæmmet tørstofproduktionen. Den reducerede skuddannelse ved stor kvælstoftilførsel skyldes muligvis et kompleks af mange faktorer. Det har således været nævnt, at for lille rodudvikling, for lille indhold af vandopløselige kulhydrater (Ennik et al, 1980) og for lille lysmængde (Thomas & Davies, 1978) kan være årsag til problemet.

Ved 250 N var rodmængden forholdsvis lille, og der var en kraftig reduktion af totalindstrålingen gennem plantedækket. Disse faktorer kan dog ikke have været den primære årsag, da reduceret genvækst især blev fundet ved engangsgødsning og kun i ringe omfang ved gødsning ad flere gange. Høje kvælstofkoncentrationer i jorden lige efter slæt ved engangsgødsning kan således muligvis være en væsentlig årsag til reduceret skudantal. Ved 100 N blev det fundet, at gødningsvanding gav et mindre udbytte end engangsgødsning til alle slæt. Her har kvælstoftildelingen efter slæt muligvis været for lille.

Den potentielle bruttofotosyntese synes at være relativt konstant hele vækstperioden. Respirationen øges derimod, hvorved den potentielle nettofotosyntese falder i løbet af vækstperioden (Jensen, 1980; Parson & Robson, 1982). Udbyttmålinger er indirekte et mål for nettofotosyntesen. At nettofo-

tosyntesen bliver mindre bekræftes af andre undersøgelser, som viser, at den potentielle tørstofproduktion i græs i vegetativ fase er mindre end i græs i reproduktiv fase (Alcock & Al-Juboury, 1981; Brereton, 1981; Leafe, 1978; Robson, 1981). Produktionshastigheden i den midterste del af slætperioden var størst i 1. og 2. slæt i nærværende forsøg, ca. 184 kg toptørstof produceret pr. ha pr. dag, og blev mindre i løbet af vækstperioden. Produktionshastigheden var således også her størst, mens græsset var i den reproduktive fase. Da forsøget var anlagt således, at der ingen eftervirkning var efter foregående slæt, skyldes nedgangen i væksthastigheden ikke en dårlig genvækst efter et stort slæt. Ved samme forsøgsbetingelser fandt Cowling og Lockyer (1970) den største produktionshastighed i 2. slætperiode (112 kg tørstof pr. dag), mens produktionshastigheden var ens i 1. og 3. slætperiode.

Efter vanding er nettofotosynteseraten i blade, som har været udsat for tørkestress, større end i kontrolblade af samme kronologiske alder (Ludlow & Ng, 1974). Dette kan bl.a. skyldes en forholdsvis mindre mørkerespiration pr. bladareal end i kontrolplanter (Brown & Thomas, 1980). Produktionshastigheden pr. tørstofenhed var i dette forsøg større i planter, der havde været udsat for tørkestress, end i kontrolplanter. Denne aktivitetsforøgelse kan muligvis også være forårsaget af en større lysgennemtrængning i det plantedække, der har været udsat for tørkestress. Stigningen i produktionshastigheden efter vanding kan være en af årsagerne til den forholdsvis ringe udbyttestigning ved hyppigere vanding.

Rødtørstofproduktion

Rødmassen i almindelig rajgræs synes at være konstant fra midten af maj til slutningen af vækstperioden (Jensen, 1980). Når kvælstof ikke er begrænsende, standser rodvæksten ved slæt og begynder først igen, når top/rod har nået en vis værdi. Denne værdi holdes konstant resten af vækstperioden, dvs. et større slætantal vil bevirke en mindre rodmasse. Når kvælstof er begrænsende, findes denne top/rod værdi ikke (Ennik et al, 1980). I overensstemmelse med resultater af Colman og Lazenby (1975), Ennik et al (1980) og Jensen (1980) fandtes en negativ relation mellem kvælstoftilførslen og rødtørstofproduktionen. Andre har fundet en positiv relation. F. eks. har Welbank et al (1973) i sandblandet lerjord fundet en forholdsvis lille stigning i rodmængden i byg ved en øgning af kvælstoftilførslen fra 0 til 150 kg N pr. ha. Hvor der er

fundet en negativ relation, synes der at være en vis grænseværdi af kvælstof, hvorunder en øget kvælstoftilførsel mindsker rodproduktionen. Over denne værdi falder rodmængden ikke yderligere. Størrelsen af denne værdi er sandsynligvis især afhængig af jordtypen. F. eks. har Jensen (1980) i lerjord ikke fundet nogen forskelle i rodmængden, når den totale kvælstoftilførsel oversteg 4-500 kg N pr. ha. I nærværende undersøgelser på grovsandet jord fandtes derimod en mindskning af rodmassen indtil højeste kvælstofniveau (250 kg N pr. ha pr. slæt). Faldet fra 175 N til 250 N var dog ikke signifikant.

Kvælstofmangel bevirker oftest, at rodproduktionen er forholdsvis større end topproduktionen, dvs. top/rod formindskes (Clarkson & Hanson, 1980). I nærværende undersøgelse, hvor en øget kvælstoftilførsel kraftigt formindskede rodproduktionen og forøgede topproduktionen, var der en forholdsvis stor stigning i top/rod ved en stigning i kvælstoftildelingen.

Der er ofte fundet, at tørkestress hæmmer rodproduktionen nær jordoverfladen og stimulerer rodproduktionen dybere i jorden (Mayaki et al, 1976; Portas, 1973; Rowse, 1974; Taylor & Klepper, 1978). Det modsatte er dog også fundet (Jones et al, 1980 I). Ved stærk udtørring var den totale rodmasse ca. 10% mindre end ved svag udtørring. Dette skyldes især forskelle i 0-10 cm dybde, og der blev ikke fundet nogen stigning ved stærk udtørring dybere i jorden. Når der ikke blev fundet mere udtalte forskelle i rodmængderne i profilen ved de forskellige vandingsstrategier, selvom forsøget er udført på grovsandet jord med lille vandkapacitet, kan det evt. skyldes, at der blev vandet til markkapacitet efter hvert slæt. Denne opvanding giver anledning til flere vandinger totalt i hele vækstperioden. Det kan muligvis også skyldes, at roddybden er meget lille på grovsandet jord. Bennetzen (1978) fandt i 1975-76, hvor nedbørsmængden var yderst ringe, at 43% af den totale rodmasse i uvandet græs ved Jydevad fandtes i 0-10 cm dybde. Ved stærk udtørring blev der i samme dybde fundet 70% i nærværende undersøgelse. Denne forskel kan være forårsaget af et større tørkestress i undersøgelserne udført af Bennetzen.

Vandstress virkede især hæmmede på rodproduktionen imellem planterækkerne. Der var således synligt at kraftigere "rodtæppe" imellem planterækkerne ved hyppigere vanding. Græs danner kontinuert nye rødder fra det nederste af stænglen ved skudbasis, når skudbasis og det øverste jordlag er fugtig. Roddannelsen ophører, hvis skudbasis og det øverste jordlag er tørt (Troughton, 1980). Det mindre rodtæppe ved tørkestress kan således både skyldes en hæmning

af rodvæksten i det øverste jordlag og en hæmning af roddannelsen fra skudbasis.

Vandudnyttelse

Kvælstofmangel mindsker planternes tørstofproduktion forholdsvis mere end deres transpiration (Bolton, 1981), hvorfor vandudnyttelsen øges ved stigende kvælstoftilførsel. Den største stigning i dette forsøg fandtes ved stigning fra 25 N til 100 N, hvorimod stigningen fra 100 N til 250 N kun gav en ringe stigning i vandudnyttelsen.

Hyppigere vanding ved 100-250 N bevirkede oftest, at vandudnyttelsen blev mindre. Årsagerne til dette kan sandsynligvis findes blandt mange faktorer. For det første kan hyppigere vanding have bevirket en større transpiration og en større fordampning fra jordoverfladen og fra plantedækket. Fordampning fra jordoverfladen kan stige betydeligt i visse perioder f. eks. ved ringe plantedække. Dette skyldes bl.a. den forholdsvis højere jordtemperatur, som blev fundet i begyndelsen af hver slætperiode. For det andet blev bladene tyndere ved hyppigere vanding. Dette bevirker, da bladprocenten ikke blev ændret, at der var et forholdsvis større LAI. I gennemsnit var der en relativ stigning i LAI på 14% ved en øgning af vandingshyppigheden fra stærk til svag udtørring. Dette større bladareal kan også være en af årsagerne til den dårlige vandudnyttelse ved hyppigere vanding. For det tredje udvikledes der større rodmasse ved hyppigere vanding, hvilket i sig selv kan have øget respirationstab. Modsat må det formodes, at den lavere jordtemperatur kan have begrænset respirationstab for hele planten. Respirationstabets afhængighed af vandingshyppigheden kan således ikke umiddelbart vurderes.

Jensen (1980) fandt, at vandudnyttelsen ved tilstrækkelig kvælstoftilførsel var næsten uafhængig af vandforsyningen. Han konkluderer, at den væsentligste årsag til uændret vandudnyttelse er, at den mindre rodudvikling ved tørkestress bevirker, at respirationstabet bliver mindre. Colman og Lazenby (1975) fandt i græs den største vandudnyttelse ved hyppigst vanding. Det samme fandt Friis-Nielsen (1963) i almindelig rajgræs ved lav og moderat kvælstoftilførsel, hvorimod hun ved høj kvælstoftilførsel ikke fandt nogen effekt af vandingshyppigheden. Bennetzen (1978) fandt det varierende, hvorvidt vandudnyttelsen steg eller faldt i de enkelte slæt ved vanding af græs. Der synes således ikke at være nogen entydig sammenhæng mellem

vandingshyppigheden og vandudnyttelsen. Forsøgsbetingelserne har i denne sammenhæng givetvis stor betydning. Heraf er de vigtigste sandsynligvis kvælstofmængden, udtørringens størrelse inden vanding, og hvorvidt der vandes til markkapacitet efter slæt uanset udtørringen på dette tidspunkt. Der synes i nærværende resultater at være en vis klimaafhængighed. I de to slæt, hvor vandudnyttelsen ved stærk udtørring blev mindre end i de øvrige vandingsstrategier, var den potentielle evapotranspiration pr. dag størst.

Vandudnyttelsen blev, med undtagelse af 3. slæt 1982, mindre i løbet af vækstperioden uafhængigt af varierende klima. I 3. slæt 1982, hvor temperaturen var 4,6 °C højere end i 2. slæt, blev vandudnyttelsen betydelig mindre end i alle andre slæt. Den høje temperatur har givetvis forøget respirationstabet betydeligt, hvorfor vandudnyttelsen blev mindre. Som tidligere omtalt formindskes den potentielle nettofotosyntese i løbet af vækstperioden. Dette er muligvis den primære årsag til nedgangen i vandudnyttelsen.

Klima og stofproduktion

Der blev fundet en lineær relation mellem den relative evapotranspiration (E_a/E_p) og den relative toptørstofproduktion (P_a/P_p). En reduktion i E_a/E_p på 50% forårsagede ved kvælstofniveau 100 N (175 N) en nedgang i tørstofproduktionen til 61 (62) % af det potentielle. En tilsvarende reduktion ved 25 N bevirkede derimod en nedgang til 41% af den potentielle produktion. Jørgensen (1979) og Johansson (1974) fandt ligeledes en lineær relation i græs, når resultaterne er opgjort pr. slæt. Derimod fandt Jensen (1980) en svag sigmoid sammenhæng i almindelig rajgræs, når relationen blev betragtet over et tidsinterval. Relationen var ens for varierende kvælstof og vandingsbetingelser. Colman og Lazenby (1975) har i almindelig rajgræs fundet en eksponentielt stigende P_a/P_p ved stigende E_a/E_p . Dette kan dog muligvis tilskrives nogle anderledes forsøgsbetingelser.

I de overdækkede markparceller var der ingen sammenhæng mellem den potentielle fordampning og den potentielle væksthastighed i midten af slætperioden set for hele vækstperioden (1. - 5. slæt 1982). I ramme-forsøget, hvor der i 1. slætperiode ikke var forsøgsbehandling p.g.a. etablering af plantebestanden, steg den potentielle planteproduktion indtil en potentiel evapotranspiration på 3,5 mm pr. dag, hvor der var måleresultater. Ved stor potentiel evapotranspiration pr. dag (4,9 mm pr. dag, 3. slætperiode 1982) blev den

potentielle produktion forholdsvis lille.

Denne uoverensstemmelse kan skyldes, at den første del af vækstperioden ikke var med i rammeforsøget. I denne del af vækstperioden er der, som før omtalt, at en forholdsvis stor nettoproduktion. Hvis der ses bort fra 1. slætperiode i de overdækkede markparceller stemmer resultaterne overens med rammeforsøget. Ved den store potentielle fordampning i 3. slætperiode 1982 var der ligesom i rammeforsøget ingen yderligere stigning i potentiel produktion nærmere et fald.

Dette synes at antyde, at den potentielle planteproduktion efter den store nettoproduktion i begyndelsen af vækstperioden var afhængig af den potentielle fordampning, og dermed også af globalstrålingen. Disse to klimaparametre er lineært relateret (Jensen, 1980). Jørgensen (1979) fandt i september og oktober en lineær relation mellem tørstofproduktionen i græs og globalstrålingen. Det blev fundet, at den relative tørstofproduktion blev mindre ved en stigende potentiel fordampning pr. dag og at reduktionen var forholdsvis størst ved stærk udtørring. Denne klimaafhængighed bekræftes af Denmead og Shaw (1962), som i majs fandt, at ved stigende potentiel fordampning faldt det vandpotentiale i jorden, hvor den aktuelle transpiration blev mindre end den potentielle. Hvis den potentielle transpiration således var 3-4 mm pr. dag, blev den aktuelle transpiration mindre end den potentielle omkring et tension på 2 bar. Ved 1,4 mm pr. dag faldt den relative transpiration først ved et tension omkring 12 bar.

Jordtemperatur

Jordtemperaturen steg med stigende udtørningsgrad. Højere jordtemperatur bevirker, at transpirationen bliver større og transporthastigheden gennem rødderne stiger (Kramer, 1969). Da jordtemperaturen selv efter vanding var højst ved stærk udtørring, hvor der kun kan have været små forskelle i vanddeficit mellem svag og stærk udtørring, har der således muligvis været en større transpiration ved stærk udtørring end ved svag. Dette støttes af Buchner (1977), som har fundet op til 5 volumenprocent mindre vandindhold i 0-12 cm dybde, når jordtemperaturen kunstigt holdes 2-3 °C højere. Inden vanding ved stærk udtørring vil et lille jordvandpotentiale nedsætte transpirationen, hvorfor den totale transpiration ved stærk udtørring da også var mindre end ved svag udtørring.

Vandingshyppigheden synes ikke at ændre rodrespirationens størrelse, da en stigning i jordtemperaturen i forhold til lufttemperaturen ikke øger rodrespirationen mere end skudrespirationen. Rodrespirationens andel af bruttorespirationen udgør ca. 14% og er uafhængig af varierende jordtemperatur (Szaniawski, 1981). Da jordtemperaturen påvirker ionoptagelsen (Aljochina et al, 1981; Clarkson & Warner, 1979) og mineraliseringen (Buchner, 1977) vil vandingshyppigheden også have indvirkning på disse faktorer.

Døgnet's temperaturudsving var størst ved stærk udtørring. Den betydelige forøgelse af døgnet's maksimale temperatur i plantedækket kan muligvis være forårsaget af stomatalukning (Carter & Sheaffer, 1983). Denne temperaturforøgelse bidrager til et yderligere stress.

Morfologisk udvikling

Kvælstof, gødningsmetode og vandingshyppighed fandtes ikke at have nogen effekt på bladprocenten. Jensen (1980) fandt det samme i almindelig rajgræs med hensyn til gødningsmetode og vandingshyppighed, mens han ved varierende kvælstoftilførsel fandt, at uden kvælstoftilførsel var bladprocenten højere, end hvor der blev gødet med kvælstof. Bartholomew og Chestnutt (1977) fandt som i nærværende undersøgelse, at bladprocenten i almindelig rajgræs er uafhængig af kvælstoftilførslen.

Det specifikke bladareal (SLA) steg ved stigende kvælstoftilførsel og ved hyppigere vanding. I almindelig rajgræs er det fundet (Jones et al, 1980 II), at epidermiscellerne ved tørkestress er højere end i planter, der ikke har været udsat for tørkestress. Dvs. bladene bliver tykkere ved tørkestress, hvilket også medfører en reduktion af SLA. En reduktion af SLA bevirker, at LAI bliver mindre, når tørstofmassen holdes konstant. Dvs. både en øget kvælstoftilførsel og en øget vandtilførsel forårsager et relativt større LAI. En øget kvælstof- og vandtilførsel har bevirket, at den gennemsnitlige bladstørrelse blev større. Wilman og Mohamed (1980) fandt, at en forøget bladstørrelse er en af de største morfologiske påvirkninger ved stigende kvælstoftilførsel. Luxmoore og Millington (1971) fandt ligeledes i overensstemmelse med nærværende undersøgelse, at bladene bliver mindre ved tørkestress. Bladvæksten synes at være meget følsom over for tørkestress, da den inhiberes ved et større bladvandpotentiale end fotosyntese og respirationsraten (Boyer, 1970). Bladenes størrelse bestemmes både af

cellestrækningens størrelse og mitoseaktiviteten. Ved tørkestress er det især cellestrækningen, der reduceres, når turgor potentialet bliver mindre (Begg & Turner, 1976).

Bladtætheden (bladantal/areal jord) påvirkedes kun lidt af kvælstof og vandtilførslen. Ved kvælstofmangel blev bladantallet kraftigt reduceret, hvorimod de øvrige kvælstofniveauer ikke påvirkede bladtætheden. I det højeste kvælstofniveau blev der, som før omtalt, konstateret udbyttenedgang p.g.a. udvikling af områder med døde planter og/eller reduceret skuddannelse. Denne dårlige genvækst har ikke påvirket den gennemsnitlige bladtæthed, dvs. planter med stor produktion har udviklet forholdsvis flere blade. Når bladtætheden ændres, skyldes det hovedsagelig en ændring i skudantallet/plante. Bladantallet/skud synes at være konstant (Novoa & Loomis, 1981).

Konklusion

Når der blev vandet til markkapacitet efter slæt, var der kun ringe forskel på udbyttet ved svag og middel udtørring. Derimod var der oftest et betydeligt merudbytte ved stigning i vandingshyppigheden fra stærk til middel udtørring. Størrelsen af merudbyttet synes afhængig af det aktuelle klima, således at merudbyttet for hyppigere vanding bliver større ved stigende potentiel fordampning. Først ved en gennemsnitlig potentiel fordampning på 1,6 mm pr. dag blev udbyttet ved stærk udtørring reduceret med 10% i forhold til svag udtørring. En udbyttenedgang på 20% fandtes ved en gennemsnitlig potentiel fordampning på 2,9 mm pr. dag.

Den bedste vandudnyttelse blev fundet ved høj kvælstoftilførsel samt først i vækstperioden og oftest ved stærk udtørring inden vanding.

Vandingsfrekvensen havde kun indvirkning på rodængden i de øverste 10 cm. Da stærk udtørring ikke har tvunget rødderne i dybden, må det formodes, at vandingsfrekvensen ikke har haft større betydning for vandoptagelsen dybere i jorden. Kvælstoftilførslen havde derimod betydelig større indvirkning på rodmassen. Rodmassen var ca. dobbelt så stor ved kvælstofmangel som ved høj kvælstoftilførsel. Dette kan muligvis bevirke en mere effektiv vand og næringsstofoptagelse ved lave kvælstofmængder. Samtidig vil den større rodmasse forøge respirationen.

Af de målte morfologiske parametre var det specifikke bladareal og bladstørrelsen mest påvirkelig af kvælstoftilførsel, vandtilførsel og årstids-

variation. Stigningen i det specifikke bladareal ved stigende kvælstof og vandtilførsel bevirkede i gennemsnit en relativ stigning i bladarealindekset på henholdsvis 23% fra 25 til 250 kg N pr. ha pr. slæt og 14% fra stærk til svag udtørring.

Erkendtlighed

Under arbejdet har Villy Jørgensen været en meget værdifuld støtte. For dette skal der her bringes en stor tak.

Projektet har økonomisk været baseret på bevillinger fra Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd.

Litteratur

- Alcock, M.B. & Al-Juboury, H.H. (1981): The effect of solar radiation and water stress on the growth of grass. British Grassland Society. Occ. Symp. No 13, 225-230.
- Aljochina, N.D., Kluikova, A.I. & Kenzhebaeva, S.S. (1981): Nitrogen assimilation in wheat in relation to the root zone temperature. I R. Brouwer et al.: Structure and Function of Plant Roots, 339-341.
- Bartholomew, P.W. & Chestnutt, D.M.B. (1977): The effect of a wide range of fertilizer nitrogen application rates and defoliation intervals on the dry matter production, seasonal response to nitrogen, persistence and aspects of chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv.S. 24). J. agric. Sci. 88, 711-721.
- Begg, J.E. & Turner, N.C. (1976): Crop water deficits. Adv. in Agron. 28, 161-217.
- Bennetzen, F. (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. 3. Modeller og resultater. Tidsskr. Planteavl 82, 191-220.
- Brereton, A.J. (1981): Potentiel grass production under grazing. British Grassland Society. Occ. Symp. No 13, 31-35.
- Bolton, F.E. (1981): Optimizing the use of water and nitrogen through soil and crop management. Plant and Soil 58, 231-247.
- Boyer, J.S. (1970): Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. Plant Physiol. 46, 233-235.
- Brown, K.W. & Thomas, J.C. (1980): The influence of water stress preconditioning on dark respiration. Physiol. Plant. 49, 205-209.

- Buchner, W. (1977): Einfluss der Temperatur im Pflanzenbestand und im Boden auf Bodenfeuchtgehalt, Stickstoffmineralisation, Ertrag und Nährstoffverwertungsvermögen zweier Grasarten (*Lolium perenne* L. *Festuca pratensis* Huds.). Dissertation, 176 pp.
- Burg, P.F.J. van, Hart, M.L. & Thomas, H. (1980): Nitrogen and grassland - past and present situation in the Netherlands. Proc. int. Symp. Eur. Grassland Fed., 15-33.
- Carter, P.R. & Sheaffer, C.C. (1983): Alfalfa response to soil water deficits. I. Growth, forage quality, yield, water use, and water-use efficiency. Crop Science 23, 669-675.
- Clarkson, D.T. & Hanson, J.B. (1980): The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 239-298.
- Clarkson, D.T. & Warner, A.J. (1979): Relationships between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). Plant Physiol. 64, 557-561.
- Colman, R.L. & Lazenby, A. (1975): Effect of moisture on growth and nitrogen response by *Lolium perenne*. Plant and Soil 42, 1-13.
- Cowling, D.W. & Lockyer, D.R. (1970): The response of perennial ryegrass to nitrogen in various periods of the growing season. J. agric. Sci. 75, 539-546.
- Denmead, O.T. & Shaw, R.H. (1962): Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. J. 54, 385-390.
- Ennik, G.C., Gillet, M. & Sibma, L. (1980): Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. Proc. int. Symp. Eur. Grassland Fed., 67-76.
- Friis-Nielsen, B. (1963): Plant production transpiration ratio and nutrient ratios as influenced by interactions between water and nitrogen. Dissertation 162 pp.
- Jensen, H.E. (1980): Afgrødeproduktion og -kvalitet, lysenergi- og vandudnyttelse, nitrogenbalance og -transport i relation til nitrogen- og vandstatus. Eksperimentelle studier med *Lolium perenne*. Dissertation, 373 pp.
- Johansson, W. (1974): Beräkning av vatteninnehåll och vattenomsättning i odlad jord med ledning av meteorologiska data. Särtryk ur Grundförbättningsstudier, 1974, 1-10.

ring 1970 och 1973/74, 153 pp.

- Jones, M.B., Leafe, E.L. & Stiles, W. (1980): Water stress in fieldgrown perennial ryegrass. I. Its effect on growth, canopy photosynthesis and transpiration. *Ann. appl. Biol.* 96, 87-101.
- Jones, M.B., Leafe, E.L. & Stiles, W. (1980): Water stress in fieldgrown perennial ryegrass. II. Its effect on leaf water status, stomatal resistance and leaf morphology. *Ann. appl. Biol.* 96, 103-110.
- Jørgensen, V. (1979): Planternes vandforbrug, klimaforhold og planteproduktion. *Tidsskr. Planteavl* 83, 287-304.
- Kramer, P.J. (1969): Factors affecting the absorption of water. I Plant and soil water realtionships: A modern synthesis. McGraw-Hill Book Company, 174-213.
- Leafe, E.L. (1978): Physiological, environmental and management factors of importance to maximum yield of the grass crop. *Prod. Symp.: Maximising yields of crops*, 37-49.
- Ludlow, M.M. & Ng, T.I. (1974): Water stress suspends leaf ageing. *Plant Science Letters* 3, 235-240.
- Luxmoore, R.J. & Millington, R.J. (1971): Growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) in relation to water, nitrogen, and light intensity. I. Effects on leaf growth and dry weight. *Plant and Soil* 34, 269-281.
- Mayaki, W.C., Stone, L.R. & Teare, I.D. (1976): Irrigated and nonirrigated soybean, corn, and grain sorghum root systems. *Agron. J.* 68, 532-534.
- Nova, R. & Loomis, R.S. (1981): Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58, 177-204.
- Parson, A.J. & Robson, M.J. (1982): Seasonal changes in the physiology of S24 perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) 4. Comparison of the carbon balance of the reproductive crop in spring and the vegetative crop in autumn. *Ann. Bot.* 50, 167-177.
- Portas, C.A.M. (1973): Development of root systems during the growth of some vegetable crops. *Plant and Soil* 59, 507-518.
- Rijtema, P.E. (1980): Nitrogen emission from grassland farms - a model approach. *Proc. int. Symp. Eur. Grassland Fed.*, 137-147.
- Robson, M.J. (1981): Potential production - what is it and can we increase it? *British Grassland Society. Occ. Symp. No 13*, 5-18.
- Rowse, H.R. (1974): The effect of irrigation on the length, weight, and

- diameter of lettuce roots. *Plant and Soil* 40, 381-391.
- Szaniawski, R.K. (1981): Shoot : root functional equilibria. Thermodynamic stability of the plant system. I R. Brouwer et al.: *Structure and Function of Plant Roots*, 339-341.
- Søegaard, K. (1984 III): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. III Stomataresistens, klorofylindhold, nitratreduktase aktivitet og ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet ved kontrolleret vandtilførsel. *Tidsskr. Planteavl.* 5 1704 c.
- Taylor, H.M. & Klepper, B. (1978): *The role of rooting characteristics in the supply of water to plants.* *Adv. in Agron.* 30, 99-128.
- Thomas, H. & Davies, A. (1978): Effects of shading on the regrowth of *Lolium perenne* swards in the field. *Ann. Bot.* 42, 705-715.
- Throughton, A. (1980): Production of root axes and leaf elongation in perennial ryegrass in relation to dryness of the upper soil layer. *J. agric. Sci.* 95, 533-538.
- Welbank, P.J., Gibb, M.J., Taylor, P.J. & Williams, E.D. (1973): Root growth of cereal crops. *Rep. Rothamsted Exp. Sta.*, 26-66.
- Wilman, D. & Mohamed, A.A. (1980): Early spring and late autumn response to applied nitrogen in four grasses. 2. Leaf development. *J. agric. Sci.* 94, 443-453.

VAND OG KVÆLSTOF TIL ALMINDELIG RAJGRÆS.

II. PLANTERNES KEMISKE SAMMENSETNING VED KONTROLLERET VANDTILFØRSEL.

Application of water and nitrogen to perennial ryegrass.

II. The chemical composition of the plants with controlled water application.Indeholdsfortegnelse

	side
Resumé.....	48
Summary.....	48
Indledning.....	49
Metodik.....	50
Resultater.....	50
Kationsammensætning.....	50
Fosfor.....	57
Træstof.....	57
Foderenheder.....	57
Kvælstof.....	58
Aminosyresammensætning.....	61
Kvælstofkomponenter.....	66
Diskussion.....	67
Kationsammensætning.....	67
Fosfor.....	69
Træstof.....	70
Nitrat.....	71
Total-N.....	72
Aminosyresammensætning.....	72
Prolin.....	73
Konklusion.....	74
Erkendtlighed.....	75
Litteratur.....	75

Resumé

Ved stigende kvælstoftilførsel steg planternes indhold pr. kg tørstof af natrium, kalium, magnesium, calcium og antallet af foderenheder, mens træstofindholdet faldt.

Indholdet af calcium og magnesium steg med stigende gennemsnitstemperatur, hvorimod indholdet af kalium og træstof ikke var temperaturafhængigt.

Ved hyppigere vanding steg især indholdet af fosfor, kalium og træstof, mens indholdet af kvælstof og antallet af foderenheder pr. kg tørstof faldt.

Indholdet af de enkelte aminosyrer pr. kg tørstof steg ved stigende kvælstoftilførsel og stigende udtørningsgrad. Den høstede aminosyremængde pr. ha steg ligeledes ved stigende kvælstoftilførsel men faldt ved stigende udtørningsgrad. Det relative indhold af asparaginsyre (inklusive asparagin) og glutaminsyre (inklusive glutamin) steg kraftigt ved stigende kvælstoftilførsel, mens indholdet af histidin, arginin, glycin, valin, iso-leucin, leucin, tyrosin, phenylalanin, methionin og alanin faldt. Ved stærk udtørring steg det relative prolinindhold kraftigt ved stigende kvælstoftilførsel, hvorimod der ingen stigning var ved svag udtørring.

Ved stigende udtørningsgrad steg det relative prolinindhold, mens det relative indhold af lysin og asparaginsyre (inklusive asparagin) faldt. Det relative prolinindhold ved slæt var uafhængig af det aktuelle vanddeficit.

Nøgleord: Almindelig rajgræs, vandingsfrekvens, kvælstof, kemisk sammensætning, aminosyresammensætning.

Summary

Experiments were carried out over the period 1980-82 with perennial ryegrass on sandy soil with varied water and nitrogen application. The water application was controlled.

With increasing nitrogen application the content per kg dry matter of sodium, potassium, magnesium, calcium and the number of feed units increased in the plants, while the content of crude fibre decreased.

The content of calcium and magnesium at harvest increased with increasing mean temperature, while the content of potassium and crude fibre was not dependent on temperature.

With more frequent irrigation the content of phosphorus, potassium and crude fibre increased, while the content of nitrogen and the number of feed units per kg dry matter decreased.

The content of the separate amino acids per kg dry matter increased with increasing nitrogen application and increasing water stress. The harvested amount of amino acids per ha also increased with increasing nitrogen application but decreased with increasing water stress. The relative content of aspartic acid (including asparagine) and glutamic acid (including glutamine) increased strongly with increasing nitrogen application, while the content of histidine, arginine, glycine, valine, iso-leucine, leucine, tyrosine, phenylalanine, methionine and alanine decreased. With low water stress the relative content of proline did not increase with increasing nitrogen application. However, there was a strong increase with high water stress. With increasing water stress the relative content of proline increased, while the relative content of lysine and aspartic acid (including asparagine) decreased. The relative content of proline at harvest was not dependent on actual water deficit.

Key words: Perennial ryegrass, irrigation frequency, nitrogen, chemical composition, composition of the amino acid.

Indledning

Forsøgsresultater omhandlende tørstofproduktion, vandudnyttelse, bladmorfologi, stomataresistens og visse biokemiske målinger er beskrevet af Søegaard (1984 I og 1984 III).

I nærværende beretning er der givet en omtale af planternes kemiske sammensætning, herunder også aminosyresammensætningen.

Vandfaktoren blev kontrolleret ved overdækninger. Der blev dels lavet forsøg i et rammeanlæg med en mobil overdækning, som automatisk dækker afgrøden ved nedbør, og dels i markparceller, der blev overdækket manuelt. I marken blev forsøget efter hvert slæt flyttet til nye parceller, der indtil da var behandlet ens. Der var på denne måde ingen eftervirkning af tidligere for-

søgsbehandling.

Metodik

Forsøgsopstilling og forsøgsplan er beskrevet af Søegaard (1984 I).

Vanding

Der blev vandet til markkapacitet ved udtørningsgraderne:

- sv: Svag udtørring. 0,25 bar i 15 cm dybde,
hvilket svarer til ca. 12 mm underskud.
- m: Middel udtørring. 0,85 bar i 15 cm dybde,
hvilket svarer til ca. 25 mm.
- st: Stærk udtørring. 45 mm

I 1981 og 1982 blev der desuden vandet til markkapacitet lige efter slæt og gødskning uanset udtørningsgrad.

Gødskning

Til hvert slæt blev tilført i kg pr. ha:

	N	P	K
25 N:	25	13	67
100 N:	100	19	100
175 N:	175	22	117
250 N:	250	25	133

Hvert forår blev der tilført 45 kg Mg pr. ha. I rammeforsøget blev 1. slætperiode brugt til etablering af plantebestanden. Der blev gødet med 75 kg N, 10 kg P og 50 kg K pr. ha. Den egentlige forsøgsbehandling blev således først sat i gang fra og med 2. slæt.

Planteprøver til analysering af aminosyresammensætningen blev straks efter udtagning tørret ved 80°C. Nitrat i plantesaften blev bestemt ved nitrattest strips (Merckoquant). Metoden er semikvantitativ.

Resultater

Kationsammensætning

Planternes kemiske sammensætning i rammeforsøget er vist i tabel 1 for de

enkelte slæt, når henholdsvis kvælstof og udtørningsgraden blev varieret. P.g.a. anden vandingsstrategi i 1980 er resultater fra 2. slæt 1980 ikke medregnet, da der her gik forholdsvis lang tid fra slæt til første vanding. Ved de forskellige kvælstofniveauer blev kalium og fosfortilførslen også varieret, jvf. metodik. Koncentrationen af de enkelt kationer (Na, K, Mg og Ca) steg med stigende gødningstilførsel. Den største stigning i kalium og magnesiumindholdet blev fundet ved en stigning i kvælstoftilførseln fra 25 til 100 kg N pr. ha pr. slæt med en tilsvarende stigning i kaliumtilførslen fra 67 til 100 kg K. I 3.-5. slæt var der et lille fald i kaliumindholdet ved en stigning i kvælstof og kaliumtilførslen fra henholdsvis 100 til 175 N og 100 til 117 K. Stigningen i calciumindholdet var størst ved en stigning i kvælstoftilførslen fra 100 til 175 N. Som det må forventes, når indholdet af kationer stiger, steg det procentiske indhold af aske ved stigende gødningstilførsel. Den største stigning fandtes ved lav N. Tetanikoefficienten ($\text{m.ekv.} \frac{\text{K}}{\text{Mg}+\text{Ca}}$) var størst ved 100 N. Forskellene var dog ikke signifikante i 2.-4. slæt.

I fig. 1 er planternes kemiske sammensætning afbildet fra de overdækkede markparceller 1982. Der var en tendens til, at det procentiske indhold af kalium var maksimal i midten af slætperioden, mens indholdet af de øvrige kationer var maksimal i slutningen. Dette gælder især 3.-5. slætperiode. Magnesium og calciumindholdet var ved slæt størst i midten af vækstperioden, 3.-4. slæt. Dette blev også observeret i rammeforsøg, jvf. tabel 1.

Indholdet af kalium, calcium og magnesium ved slæt er i tabel 2 relateret til tørstofproduktionen og gennemsnitstemperaturen for hele slætperioden. I 1980 var calciumindholdet betydelig større end de andre forsøgsår, hvorfor disse resultater ikke er medtaget.

Det højere calciumniveau i 1980 må kunne henføres til forskelle i jorden. I rammeforsøget blev jorden udskiftet hvert år. Jorden til dette blev de enkelte år hentet fra forskellige marker. Det ses, at der var en signifikant korrelation mellem gennemsnitstemperaturen og henholdsvis calcium og magnesiumindholdet, men ikke for kaliumindholdet.

Ved tørkestress var der i de overdækkede markparceller en stor negativ effekt på det procentiske indhold af kalium. Efter vanding var der i 1. og 2. slætperiode en stigning i kaliumindholdet, men ved slæt var kaliumindholdet

Tabel 1. Planternes kemiske sammensætning ved forskellige gødningsniveau (a) og udtørningsgrad (b).
Rammeforsøg. Gennemsnit 1980-82.

The chemical composition of the plants at different a. amount of fertilizer and b. water

a. *stress. Small plot experiment. Average 1980-82.*

	FU	M	Te	CF	A	Total-N	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	Na	P
							% af tørstof	% of dry matter				
2. slæt 2nd cut												
25 N	0,79	135	2,4	25,6	10,2	2,28	0,02	3,71	0,49	0,19	0,04	0,44
100 N	0,81	142	2,5	25,2	10,8	2,90	0,03	3,96	0,46	0,22	0,04	0,49
175 N	0,84	149	2,3	24,6	11,1	3,52	0,17	4,04	0,50	0,26	0,07	0,49
250 N	0,87	163	2,1	23,7	11,4	4,01	0,39	4,29	0,58	0,30	0,06	0,52
LSD	0,03	17	n.s.	n.s.	0,4	0,19	0,09	n.s.	0,06	0,05	n.s.	n.s.
3. slæt 3rd cut												
25 N	0,77	145	1,8	26,2	10,7	2,33	0,02	3,60	0,68	0,23	0,04	0,45
100 N	0,80	164	1,8	25,5	11,9	3,21	0,10	4,14	0,70	0,29	0,06	0,46
175 N	0,85	174	1,5	24,0	12,2	4,03	0,37	4,08	0,85	0,33	0,08	0,45
250 N	0,87	180	1,5	23,6	12,4	4,25	0,52	4,21	0,89	0,33	0,07	0,45
LSD	0,01	6	n.s.	0,5	0,5	0,24	0,15	0,22	0,13	0,04	n.s.	n.s.
4. slæt 4th cut												
25 N	0,83	136	1,8	23,4	9,9	2,34	0,03	3,41	0,63	0,20	0,11	0,44
100 N	0,85	158	1,9	22,9	11,0	3,02	0,08	4,08	0,66	0,26	0,14	0,40
175 N	0,89	169	1,6	21,7	11,5	3,71	0,29	4,03	0,83	0,29	0,17	0,39
250 N	0,91	175	1,6	21,4	11,8	4,09	0,40	4,13	0,96	0,30	0,15	0,39
LSD	0,02	11	n.s.	0,8	0,6	0,39	0,10	0,49	0,12	0,04	n.s.	0,02
5. slæt 5th cut												
25 N	0,90	130	1,8	20,9	10,4	2,96	0,03	3,25	0,61	0,20	0,10	0,47
100 N	0,93	143	2,1	20,1	10,9	3,68	0,13	3,78	0,56	0,22	0,12	0,44
175 N	0,96	148	1,8	19,2	11,1	4,17	0,28	3,70	0,67	0,24	0,18	0,43
250 N	0,97	151	1,8	18,8	11,3	4,30	0,33	3,73	0,72	0,23	0,16	0,43
LSD	0,04	8	0,1	1,4	n.s.	0,19	0,11	0,08	0,03	n.s.	n.s.	n.s.

b.	FU	M	Te	CF	A	Total-N	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	Na	P
							% af tørstof	% af tørstof	% of dry matter			
2. slæt 2nd cut												
sv	0,81	150	2,4	25,5	11,2	3,10	0,16	4,12	0,51	0,23	0,06	0,51
m	0,81	146	2,4	25,3	10,8	3,14	0,16	4,00	0,48	0,23	0,06	0,49
st	0,86	147	2,1	23,5	10,6	3,29	0,15	3,88	0,53	0,26	0,05	0,45
LSD	0,03	n.s.	n.s.	1,5	n.s.	0,10	n.s.	n.s.	n.s.	0,02	n.s.	0,03
3. slæt 3rd cut												
sv	0,80	167	1,7	25,7	12,2	3,35	0,26	4,11	0,77	0,29	0,07	0,48
m	0,82	166	1,6	25,3	11,8	3,43	0,25	3,97	0,79	0,30	0,05	0,46
st	0,86	164	1,6	23,6	11,4	3,58	0,24	3,94	0,78	0,29	0,05	0,42
LSD	0,02	n.s.	n.s.	0,8	0,4	0,12	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,03
4. slæt 4th cut												
sv	0,85	163	1,9	23,3	11,3	3,17	0,21	4,10	0,74	0,25	0,15	0,44
m	0,87	159	1,8	22,5	11,1	3,24	0,20	3,90	0,75	0,26	0,14	0,42
st	0,90	157	1,6	21,2	10,9	3,50	0,19	3,76	0,82	0,28	0,13	0,36
LSD	0,03	3	n.s.	1,0	n.s.	0,23	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,03
5. slæt 5th cut												
sv	0,93	147	2,0	20,2	11,4	3,69	0,21	3,77	0,64	0,22	0,14	0,46
m	0,94	142	1,8	19,9	10,9	3,76	0,18	3,57	0,64	0,23	0,16	0,45
st	0,96	140	1,8	19,3	10,5	3,88	0,18	3,51	0,64	0,23	0,12	0,43
LSD	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,4	n.s.	n.s.	0,15	n.s.	n.s.	n.s.	0,03

FU : Foderenheder pr. kg tørstof. *Feed units per kg dry matter.*

M : M.ekv. kationer pr. kg tørstof. *M.Eq. cations per kg dry matter.*

Te : Tetanikoefficient. *Tetany coefficient.*

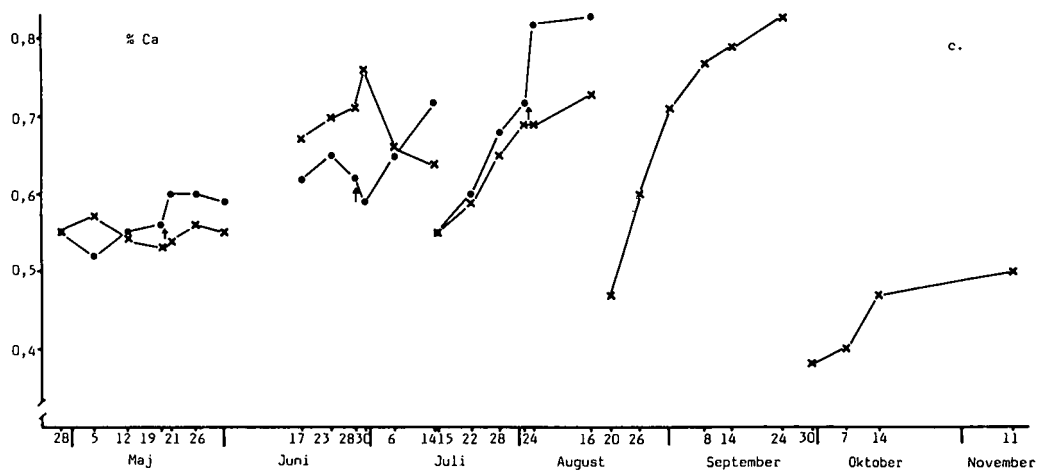
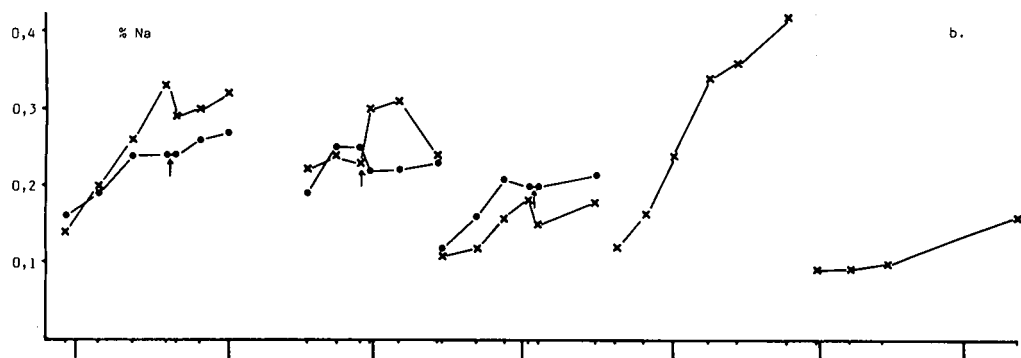
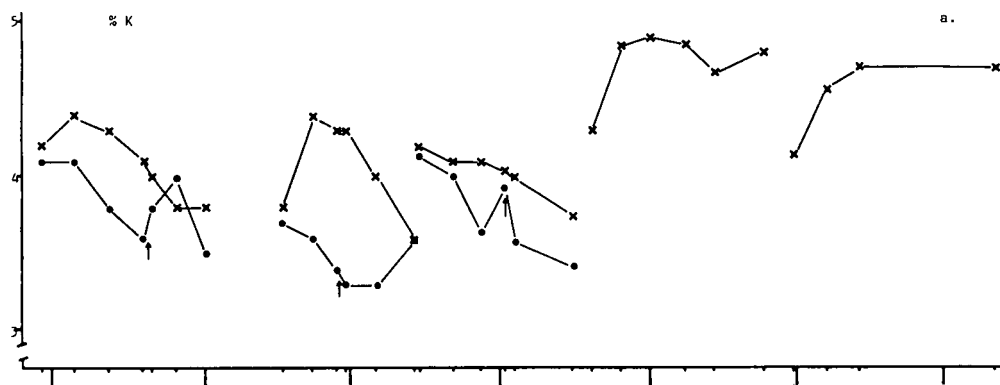
CF : Træstof. *Crude fibre.*

A : Aske. *Ash.*

sv: Svag udtørningsgrad. *Low water stress.*

m : Middel udtørningsgrad. *Medium water stress.*

st: Stærk udtørningsgrad. *High water stress.*



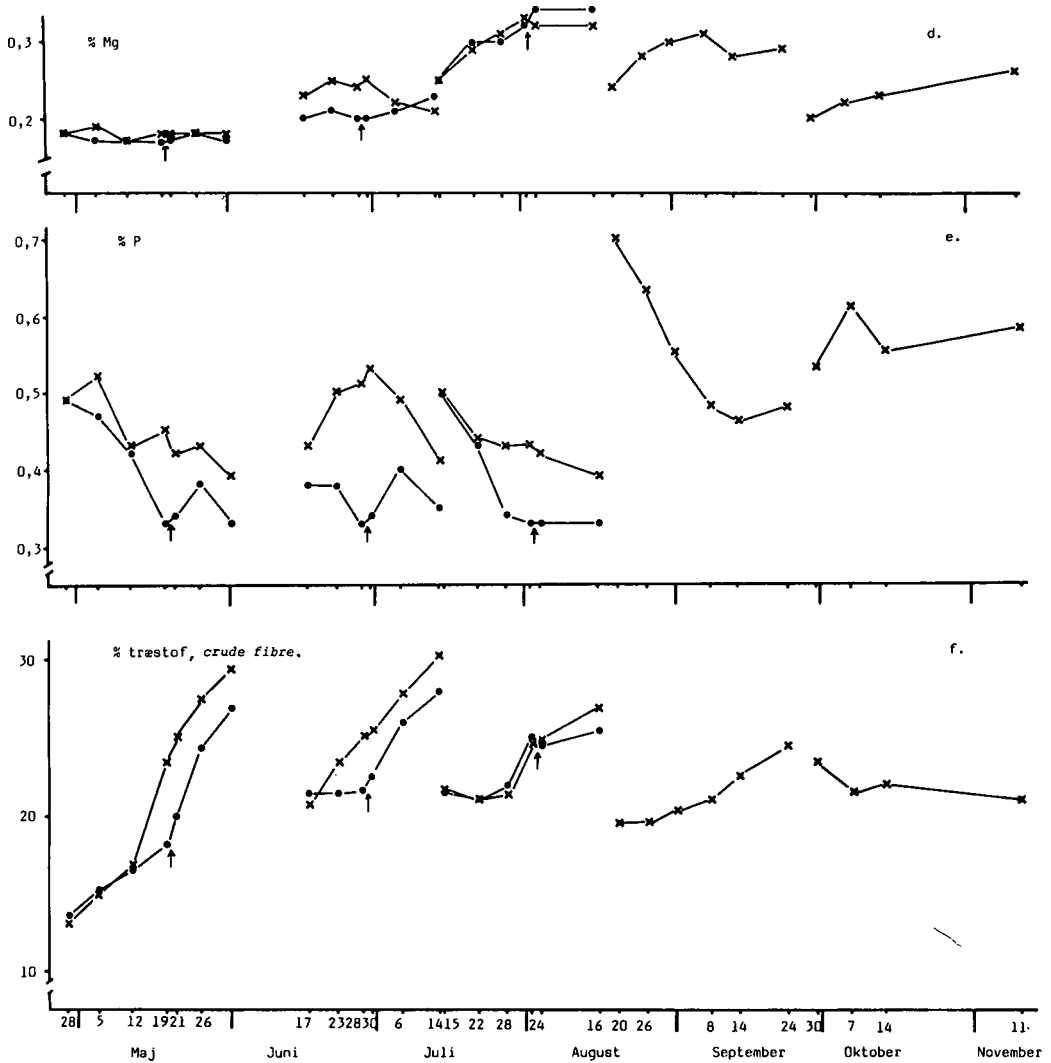


Fig. 1 Planternes kemiske sammensætning. Overdækkede markparceller 1982.

The chemical composition of the plants. Roofed field plots 1982.

× 175 N svag udtørring.

175 N low water stress.

• 175 N stærk udtørring. Vandning er angivet med pile.

175 N high water stress. Irrigation is shown by arrows.

mindst i de planter, de havde været udsat for tørkestress. Ved slæt i ramme-forsøget var indholdet af kalium ligeledes større i hyppigere vandede for-søgsled, jvf. tabel 1b. Forskellene mellem vandingsniveauerne i ramme-forsøget var i de fleste tilfælde ikke signifikante. Der var dog en tendens til både i ramme-forsøget og i de overdækkede markparceller, at calcium og magnesiumindholdet steg eller var konstant og natriumindholdet faldt med stigende udtørring inden vanding.

Stigningen i kaliumindholdet ved hyppigere vanding var større end ændring-erne i calcium og magnesiumindholdet. Dette bevirkede, at summen af kationer, askeindholdet og tetanikoefficienten steg ved hyppigere vanding.

Tabel 2. Planternes kemiske sammensætning ved slæt i relation til den gennem-snitlige lufttemperatur i slætperioden og den høstede tørstofmængde. Rammeforsøg, 175 N svag udtørring.

The chemical composition of the plants at cut in relation to the ave-rage air temperature in the growth period and the harvested dry mat-ter. Small plot experiment, 175 N low water stress.

Korrelationskoefficienten		
<u>Correlation coefficient</u>		
	°C	Høstet tørstof
		<i>Harvested dry matter</i>
Mg	0,73 ²	n.s.
Ca	0,80 ¹	n.s.
K	n.s.	n.s.
Træstof	n.s.	0,66 ¹
Crude fibre		

¹: Signifikant ved 5 pct.

²: Signifikant ved 1 pct.

Fosfor

Ved stigende gødningstilførsel steg fosforindholdet i 2. slæt, jvf. tabel la. I 3. slæt var fosforindholdet ikke påvirket af gødningstilførslen, mens det faldt i 4. og 5. slæt med stigende gødningstilførsel. De fleste forskelle var dog ikke signifikante.

Hyppigere vanding bevirkede i hvert slæt, at fosforindholdet steg kraftigt. Den største forskel fandtes mellem middel og stærk udtørring, i gennemsnit 0,04 %. Fosforindholdets tørkefølsomhed ses også i fig. 1. Indholdet faldt kraftigt ved tørkestress, og vanding efter stærk udtørring bevirkede i 1. og 2. slætperiode, at fosforindholdet steg, selv om der var en tendens til, at fosforindholdet faldt i løbet af slætperioden.

Træstof

Træstofindholdet faldt kraftigt (med ca. 2 procentenheder) ved stigende kvælstoftilførsel fra laveste til højeste kvælstofniveau. Træstofindholdet steg i løbet af slætperioden, jvf. fig. 1. Stigningen var størst i begyndelsen af vækstperioden og blev mindre med tiden. I løbet af 5. slætperiode var der endog et lille fald i træstofindholdet.

Der var en positiv korrelation mellem træstofindholdet og tørstofproduktionen, hvorimod der ingen sammenhæng var mellem træstofindholdet og gennemsnitstemperaturen, jvf. tabel 2.

Tørkestress havde i 1. og 2. slætperiode i de overdækkede markparceller en stor negativ effekt på træstofindholdet. Selv om vanding fik træstofindholdet til at stige kraftigere, var der ved slæt et mindre indhold i de tidligere tørkestressede planter. Ved slæt i ramfeforsøget var indholdet af træstof ligeledes mindre ved stigende udtørningsgrad. Der var størst forskel mellem middel og stærk udtørningsgrad. Forskellen var signifikant i 2.-4. slæt.

Foderenheder

Ved hyppigere vanding faldt antallet af foderenheder pr. kg tørstof, som det også må forventes, idet både indholdet af træstof og aske steg. I gennemsnit var der 5,9% flere foderenheder pr. kg tørstof ved stærk udtørring end ved svag. Ved stigende kvælstoftilførsel steg antallet af foderenheder pr. kg tørstof, hvilket især skyldes det stærkt faldende træstofindhold ved stigende

kvælstoftilførsel. Det faldene træstofindhold i løbet af vækstperioden bevirkede ligeledes, at antallet af foderenheder pr. kg tørstof ved slæt steg.

Tabel 3. Nitratindehold ved slæt i procent af plantetørstof.

Content of nitrate at cut in per cent of plant dry matter.

	25 N	100 N	175 N	250 N
sv.	0,02	0,09	0,29	0,46
m.	0,03	0,07	0,29	0,42
st.	0,03	0,09	0,28	0,38
LSD	n.s.	n.s.	n.s.	0,04

Kvælstof

I tabel 1 ses, at nitratindeholdet i planterne først steg betydeligt, når kvælstoftilførslen oversteg 100 kg N pr. ha pr. slæt. Ved hyppigere vanding blev nitratindeholdet i gennemsnit større. I tabel 3 ses, at dette især skyldes en kraftig stigning i nitratindeholdet ved det højeste kvælstofniveau. Ved de laveste kvælstofniveauer var der derimod ingen stigning i nitratindeholdet ved hyppigere vanding.

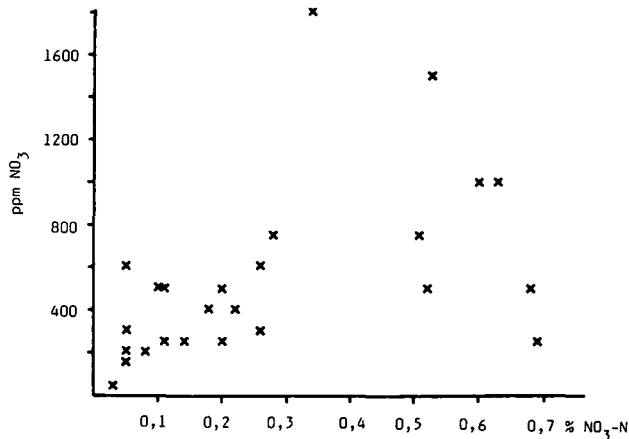


Fig. 2 Nitrat i plantesaften (ppm NO₃) målt med strips som funktion af nitratindeholdet i tørstof (% NO₃-N). Overdækkede markparceller, 175 N svag udtørring 1982.

Nitrate in plant sap (ppm NO₃) as a function of the nitrate content in dry matter (% NO₃-N). Roofed field plots, 175 N low water stress 1982.

I de overdækkede markparceller blev plantesaftens indhold af nitrat målt med strips. I fig. 2 er resultaterne fra målinger med strips sammenholdt med de tilsvarende resultater af nitrat i plantetørstoffet. Der synes ikke at have været nogen direkte sammenhæng mellem de to resultatsæt, og korrelationskoefficienten ved regressionsanalyse var da også lav ($r = 0,49$).

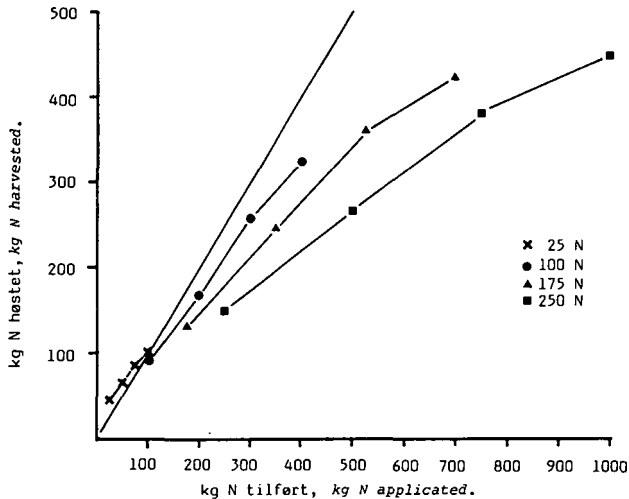


Fig. 3 Høstet kvælstof som funktion af tilført kvælstof ved svag udtørring. Rammeforsøg 1982.

The amount of nitrogen harvested as a function of nitrogen applied at low water stress. Small plot experiment 1982.

Planternes procentiske indhold af kvælstof steg ved stigende kvælstoftilførsel, jvf. tabel 1a. Kvælstofindholdet steg også ved stigende udtørningsgrad, jvf. tabel 1b. Forskellen var større mellem middel og stærk udtørring end mellem svag og middel.

I fig. 3 er mængden af høstet kvælstof ved svag udtørring som funktion af tilført kvælstof vist for rammeforsøget 1982. Det ses, at der kun ved 25 N til og med 4. slæt blev høstet mere kvælstof, end der blev tilført. Stigende kvælstoftilførsel på figuren ved det enkelte kvælstofniveau er summationen i løbet af vækstperioden. Det ses, at med stigende mængde tilført pr. slæt blev kvælstoffet forholdsvis dårligere udnyttet, og øgningen af høstet kvælstof ved

stigende kvælstoftilførsel, dvs. i løbet af vækstperioden, blev forholdsvis mindre.

Det gennemsnitlige indhold af uorganisk kvælstof ($\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$) i det øverste jordlag (0-22 cm) ved slæt i 1982 i de forskellige kvælstofniveauer er vist i tabel 4. Der var ikke noget tilgængeligt kvælstof af betydning ved tilførsel af 25 N og 100 N, selv om der ikke var nogen udvaskning af kvælstof i forsøget.

Tabel 4. Nitrat og ammonium (ppm) i jordlaget, 0-22 cm dybde. Rammeforsøg 1982.

Nitrate and ammonium (ppm) at 0-22 cm depth. Small plot experiment 1982.

	2. slæt		3. slæt		4. slæt		5. slæt	
	2nd cut		3rd cut		4th cut		5th cut	
	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
25 N	0,3	2,5	0,4	1,3	0,9	1,8	0,5	1,6
100 N	0,5	2,2	0,5	1,6	0,8	1,6	8,5	3,0
175 N	2,4	2,3	6,1	2,2	13,7	1,7	26,2	4,3
250 N	10,7	6,7	24,2	5,1	35,5	2,1	65,0	7,9

Dog var der ved 5. slæt noget tilgængeligt kvælstof i jorden ved 100 N. Der blev også her høstet betydelig mindre kvælstof end i de øvrige slæt, jvf. fig. 3. Ved 175 N og 250 N steg indholdet af nitrat og ammonium i jorden betydeligt i løbet af vækstperioden.

Som eksempel på høstet kvælstof som funktion af tilført ved varieret udtørningsgrad er resultater fra 2. slæt og 2.-5. slæt 1982 vist i fig. 4. I 2. slæt bevirkede en hyppigere vanding, at der blev høstet mere kvælstof. Samlet for 2. til 5. slæt havde vandingshyppigheden en positiv effekt på høstet kvælstof ved 25 N, 100 N og 175 N. Ved 175 N var der dog kun en meget lille forskel på svag og middel udtørring. Ved 250 N blev der derimod høstet mere kvælstof ved middel end ved svag udtørring, hvilket også blev fundet i 1981. I 1980, hvor der ikke blev vandet til markkapacitet efter slæt uanset udtørningsgrad, havde vandingshyppigheden en positiv effekt ved alle kvælstofniveauer.

Aminosyresammensætning

I rammeforsøget blev aminosyresammensætningen målt i 2. og 4. slæt i alle 3 forsøgsår. Eksempler på mængden af aminosyre pr. tørstofenhed og mængde af aminosyre høstet pr. ha er vist i tabel 5. Det gælder for alle aminosyrer, at indholdet pr. tørstofenhed steg med stigende kvælstoftilførsel og stigende udtørring inden vanding, hvilket også må forventes, da kvælstofindholdet samtidig steg.

Den største stigning ved stigende udtørring fandtes i indholdet af prolin, cystein og methionin. Stigningen var ca. 20% i førstnævnte og ca. 11% i de

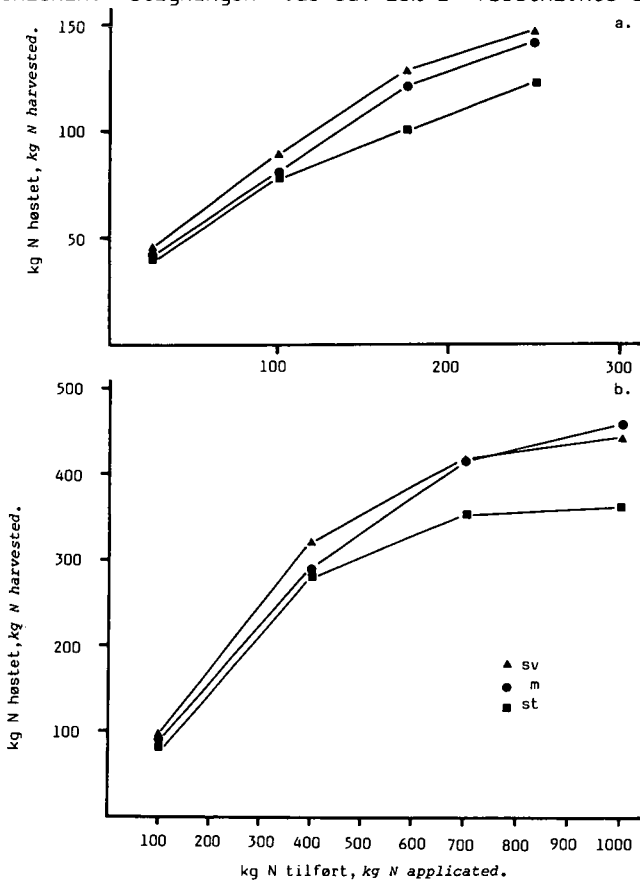


Fig. 4 Høstet kvælstof som funktion af tilført i 2. slæt (a) og 2.-5. slæt (b). Rammeforsøg 1982.

Nitrogen harvested as a function of applied at 2nd cut (a) and 2nd-5th cut (b). Small plot experiment 1982.

sidstnævnte fra svag til stærk udtørring. Resten af aminosyrene steg fra 5 til 8%. Selv om aminosyreindholdet pr. tørstofenhed steg med stigende udtøringsgrad, faldt den høstede aminosyremængde på grund af nedgang i tørstofproduktionen. Forskellene var imidlertid små for prolin, cystein og methionin.

Da både aminosyreindholdet pr. tørstofenhed og den høstede tørstofmasse steg kraftigt ved stigende kvælstoftilførsel var der en meget kraftig stigning i den høstede aminosyremængde ved stigende kvælstoftilførsel. Udbyttenedgang på grund af dårlig genvækst i det højeste kvælstofniveau var årsag til den ringe forskel mellem 175 N og 250 N.

Label 5. Aminosyremængden, g pr. kg tørstof og g pr. ha. Gennemsnit af henholdsvis kvælstof og vandingsniveauerne. Rammeforsøg, 4. slæt 1980-1982.

The amount of amino acid, g per kg dry matter and g per ha. Average of nitrogen and water levels respectively. Small plot experiment 4th cut 1980-82.

	Kvælstofgødning					Udtørring			
	Nitrogen application					Water stress			
	25N	100N	175N	250N	LSD	sv	m	st	LSD
	g aminosyre/kg tørstof					g aminosyre/kg tørstof			
	g amino acid/kg dry matter					g amino acid/kg dry matter			
Lycin	7,01	8,57	10,05	10,87	0,65	8,89	9,11	9,38	0,37
Histidin	2,72	3,38	3,93	4,22	0,23	3,45	3,57	3,67	0,12
Glutaminsyre	13,98	18,25	22,41	24,34	1,25	19,08	19,62	20,51	0,86
Prolin	6,60	8,64	10,30	11,33	0,89	8,45	9,03	10,17	0,42
Cystein	1,90	2,42	2,85	2,94	0,18	2,40	2,52	2,67	0,14
	kg aminosyre/ha					kg aminosyre/ha			
	kg amino acid/ha					kg amino acid/ha			
Lycin	6,1	22,5	30,9	30,3	3,4	23,9	23,3	20,2	2,1
Histidin	2,4	9,0	12,3	11,9	1,5	9,4	9,3	8,1	0,9
Glutaminsyre	12,2	48,6	69,0	68,8	9,0	52,5	51,2	45,2	5,1
Prolin	5,7	22,9	32,3	32,1	4,6	23,1	23,8	23,0	n.s.
Cystein	1,7	6,4	8,9	8,3	1,1	6,5	6,6	5,9	n.s.

Den relative aminosyresammensætning, procent aminosyrekvælstof af total aminosyrekvælstof, i 4. slæt ses i tabel 6. Ved stigende kvælstoftilførsel steg det relative indhold af prolin, glutaminsyre og asparaginsyre. Stigningen i prolin var hverken i 2. eller 4. slæt signifikant. Da NH_3 i glutamin og asparagin fraspaltes ved analysen er disse aminosyrer indeholdt i henholdsvis glutaminsyre og asparaginsyre. Indholdet af glutaminsyre og asparaginsyre steg jævnt fra 25 N til 175 N. Fra 175 N til 250 N steg glutaminsyreindholdet fortsat, hvorimod asparaginsyreindholdet faldt. Faldet var dog ikke signifikant. I 2. slæt var der en lille og ikke signifikant stigning i indholdet af asparaginsyre fra 175 N til 250 N.

Det relative indhold af lysin, threonin, serin og cystein ændredes hverken i 2. eller 4. slæt ved ændringer i kvælstoftilførslen. Derimod faldt indholdet af følgende aminosyrer ved stigende kvælstoftilførsel: histidin, arginin, glycin, valin, iso-leucin, leucin, tyrosin, phenylalanin, methionin og alanin. I 4. slæt var der ikke signifikante forskelle i alaninindholdet, hvorimod der i 2. slæt var signifikant forskel ved ændringer i kvælstoftilførslen på 150 kg N. I 2. slæt var der modsat 4. slæt ingen signifikant forskelle i histidin, iso-leucin, tyrosin og methionin. Den største nedgang fandtes i argininindholdet, hvor der var ca. 4% mere ved laveste end ved højeste kvælstofniveau.

Ved ændringer i udtørningsgraden var det relative indhold af de fleste aminosyrer uforandret. Indholdet af lysin og asparaginsyre faldt ved stigende udtørningsgrad, dog uden signifikante forskelle. Prolinindholdet steg derimod kraftigt ved stigende udtørring inden vanding. Den største forskel fandtes mellem stærk og middel udtørningsgrad.

I fig. 5 er det relative prolinindhold vist for 4. slæt. Det ses, at der ved laveste kvælstofniveau ikke var forskel i prolinindholdet i de forskellige udtørningsgrader.

Ved stigende kvælstoftilførsel steg prolinindholdet ikke ved svag udtørring, hvorimod det steg kraftigt ved stærk udtørningsgrad. Dette bevirkede, at prolinindholdet i gennemsnit som før omtalt steg med stigende kvælstoftilførsel. Vekselvirkningen mellem vand og kvælstof var signifikant.

I tabel 7 er indholdet af prolinkvælstof i procent af totalaminosyrekvælstof og det aktuelle vanddeficit ved slæt vist for 100 N. I 2. slæt 1980 var

Tabel 6. Aminosyresammensætning (% aminosyre-N af total aminosyre-N). Gennemsnit af henholdsvis kvælstof og vandingsniveauerne. Rammeforsøg 4. slæt 1980-1982.

Amino acid composition (% amino acid-N of total amino acid-N). Average of nitrogen and water levels respectively. Small plot experiment 4th cut 1980-1982,

	Kvælstofgødning					Udtørring			
	Nitrogen application					Water stress			
	25 N	100 N	175 N	250 N	LSD	sv	m	st	LSD
Lysin	8,33	8,08	8,12	8,24	n.s.	8,25	8,22	8,12	n.s.
Histidin	4,61	4,58	4,52	4,51	0,05	4,56	4,58	4,52	n.s.
Arginin	11,40	11,03	10,92	10,93	0,20	11,08	11,09	11,03	n.s.
Asparaginsyre	8,49	8,99	9,52	9,27	0,53	9,16	9,05	9,02	n.s.
Threonin	4,49	4,50	4,47	4,50	n.s.	4,50	4,50	4,48	n.s.
Serin	4,80	4,88	4,88	4,85	n.s.	4,89	4,87	4,80	n.s.
Glutaminsyre	8,35	8,67	9,05	9,16	0,10	8,82	8,79	8,84	n.s.
Prolin	5,03	5,24	5,31	5,51	n.s.	5,02	5,18	5,61	0,21
Glycin	8,71	8,65	8,45	8,42	0,19	8,56	8,59	8,52	n.s.
Alanin	9,67	9,66	9,44	9,53	n.s.	9,63	9,50	9,59	n.s.
Valin	5,80	5,74	5,60	5,57	0,17	5,68	5,69	5,66	n.s.
Iso-leucin	3,99	3,92	3,87	3,86	0,07	3,91	3,91	3,90	n.s.
Leucin	7,41	7,27	7,12	7,09	0,07	7,24	7,24	7,19	n.s.
Tyrosin	2,51	2,47	2,47	2,43	0,04	2,45	2,47	2,48	n.s.
Phenylalanin	3,89	3,85	3,79	3,80	0,06	3,82	3,86	3,81	n.s.
Cystein	1,37	1,39	1,40	1,35	n.s.	1,36	1,38	1,39	n.s.
Methionin	1,13	1,09	1,09	0,97	0,03	1,09	1,08	1,04	n.s.
	100	100	100	100		100	100	100	
x	0,397	0,390	0,386	0,385	0,002	0,390	0,391	0,387	0,002

x : Essentielle / ikke essentielle aminosyrer. *Essential / not essential amino acids.*

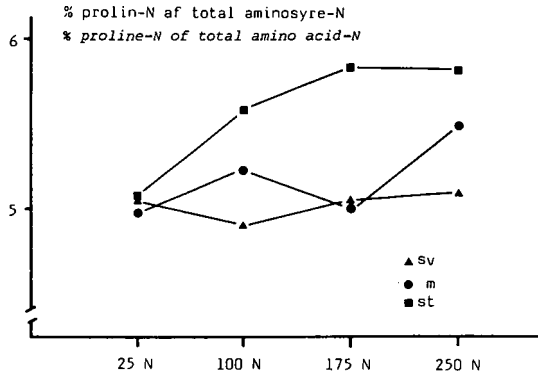


Fig. 5 Det relative prolinindhold. Rammeforsøg 4. slæt.

The relative content of proline. Small plot experiment 4th cut.

prolinindholdet ved stærk udtørring meget stort, hvilket sandsynligvis skyldes den anden vandingsstrategi i 1980. Der synes ikke umiddelbart at have været nogen direkte sammenhæng mellem det relative prolinindhold og det aktuelle vanddeficit. Med undtagelse af svag udtørningsgrad i 2. slæt 1981, steg det relative prolinindhold med stigende udtørring inden vanding, selv om det aktuelle vanddeficit ikke samtidig var stigende.

Tabel 7. Prolin-N i procent af total aminosyre-N (P) og vanddeficit ved slæt (mm). Rammeforsøg, 100 N.

Proline-N as per cent of total amino acid-N (P) and water deficit at cut (mm). Small plot experiment, 100 N.

Slæt	sv		m		st		
Cut	1980	P	mm	P	mm	P	mm
2.		4,94	10	4,96	23	8,44	47
4.		4,77	7	4,94	25	5,29	40
1981							
2.		5,01	8	4,88	18	4,96	17
4.		4,88	23	5,18	24	5,57	45
1982							
2.		4,92	20	5,07	22	5,21	23
4.		5,05	4	5,59	25	5,86	18

Til essentielle aminosyrer hører: lysin, histidin, threonin, valin, iso-leucin, leucin, phenylalanin og methionin. Forholdet mellem essentielle og ikke essentielle aminosyrer er vist i tabel 6. Det ses, at dette faldt med stigende kvælstoftilførsel, hvilket primært skyldes stigningen i indholdet af de ikke essentielle aminosyrer prolin, asparaginsyre og glutaminsyre. Forholdet mellem essentielle og ikke essentielle aminosyrer faldt også med stigende udtøringsgrad, især p.g.a. stigende indhold af prolin.

Tabel 8. Kvælstofkomponenter i 4. slæt.

Nitrogen sections at 4th cut.

	Kvælstofgødning					Udtørring			
	<i>Nitrogen application</i>					<i>Water stress</i>			
	25N	100N	175N	250N	LSD	sv	m	st	LSD
Procent af totalkvælstof									
<i>Per cent of total nitrogen</i>									
Aminosyre N									
<i>Amino acid-N</i>	68,4	66,6	63,9	62,7	3,8	65,5	65,9	64,7	n.s.
NO ₃ -N	1,1	2,3	7,7	9,7	2,5	6,7	6,0	5,4	n.s.
NH ₃ -N	8,1	9,3	10,4	10,8	0,8	10,1	9,8	9,4	n.s.
Rest-N	22,4	21,8	18,1	16,8	3,7	17,7	18,3	20,6	n.s.
<u>Total</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>		<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	

Procent af tørstof

Per cent of dry matter

Aminosyre-N	1,60	2,01	2,37	2,56		2,08	2,13	2,26	
<i>Amino acid-N</i>									
NO ₃ -N	0,03	0,07	0,29	0,40		0,21	0,20	0,19	
NH ₃ -N	0,19	0,28	0,38	0,44		0,32	0,32	0,33	
Rest-N	0,52	0,66	0,67	0,69		0,56	0,59	0,72	
<u>Total-N</u>	<u>2,34</u>	<u>3,02</u>	<u>3,71</u>	<u>4,09</u>		<u>3,17</u>	<u>3,24</u>	<u>3,50</u>	

Kvælstofkomponenter

I tabel 8 er kvælstofkomponenterne i procent af henholdsvis totalkvælstof og tørstof vist for 4. slæt. NH₃-N stammer hovedsagelig fra amiderne asparagin og glutamin. Rest-N er kvælstofforbindelser, som der ikke er analyseret for.

Denne komponent indeholder bl.a. puriner, pyrimidiner og alkaloider.

Det ses, at ved stigende kvælstoftilførsel faldt aminosyre-N og rest-N, mens $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_3\text{-N}$ steg, når dette er i procent af totalkvælstof. I 2. slæt var der ikke signifikante forskelle i rest-N. I procent af tørstof steg alle komponenter ved stigende kvælstoftilførsel. Forskellig udtørningsgrad har hverken i 2. eller 4. slæt ændret indholdet af kvælstofkomponenterne signifikant, når disse er udregnet som procent af totalkvælstof. I procent af tørstof steg indholdet af aminosyre-N og rest-N ved stigende udtørningsgrad. Stigningen i totalkvælstof mellem middel og stærk udtørring var signifikant, mens faldet i $\text{NO}_3\text{-N}$ ved stigende udtørningsgrad ikke var, jvf. tabel 1.

Diskussion

Kationsammensætning

En stigning i gødningstilførslen bevirkede en stigning i det procentiske indhold af kationerne kalium, natrium, magnesium og calcium. En ændring i ionkoncentrationen i plantetørstof skyldes en forholdsvis større ændring i ionoptagelsen end i nettofotosyntesen. Hvorvidt koncentrationen af de enkelte kationer stiger eller falder ved stigende kvælstoftilførsel synes i høj grad at afhænge af jordens næringsstofindhold. Reynolds og Wall (1982) har således i strandsvingel fundet en stigning i calcium og et fald i kaliumindholdet ved en stigende kvælstoftilførsel. Det omvendte var tilfældet ved en stigning i både kvælstof, kalium og fosfortilførslen. Jensen (1980) fandt som i nærværende undersøgelse især ved lave gødningsniveauer en stigning i koncentrationen af de enkelte kationer ved stigende tilførsel af kvælstof, kalium, magnesium og calcium. Knudsen og Gregersen (1976) fandt på forskellige jordtyper en stigning i indholdet af kalium, calcium og magnesium i forskellige græsarter ved stigende kvælstoftilførsel uden ændring af tilførslen af andre næringsstoffer.

Indholdet af magnesium og calcium var størst midt i vækstperioden. Da der kun blev gødet med magnesium i foråret, kan stigningen af denne ikke henføres til nogen akkumulation i jorden. Reynolds og Wall (1982) fandt at gennemsnitstemperaturen har større indvirkning på indholdet af magnesium end f.eks. gødningstilførslen, ved at magnesiumindholdet stiger ved stigende gennem-

snitstemperatur.

Planternes indhold af magnesium og calcium synes modsat kalium i nærværende forsøg at have været temperatrafhængigt. Ved jordtemperaturer under 14°C be-
gunstiges NH_4^+ -optagelsen betydeligt i forhold til NO_3^- -optagelsen i
alm.rajgræs (Clarkson & Warner, 1979). Ved optagelse af NH_4^+ hæmmes
optagelsen af kationer generelt p.g.a. kationantagonisme (Haynes & Goh, 1978),
dog synes især optagelsen af de divalente Mg og Ca-ioner at hæmmes (Claassen &
Wilcox, 1974; Gashaw & Mugwira, 1981). Samtidig er nitrifikationen
temperatrafhængig, således at oxidationen af det tilførte NH_4^+ forløber over
længere tid, når temperaturen er lavere. Temperaturoptimum for nitrifikationen
er på 25-35°C. Dette kan muligvis være en af årsagerne til en forholdsvis
mindre optagelse af magnesium og calcium ved faldende temperatur. Rødderne
optager hovedsagelig kalium og natrium ved diffusiv transport og calcium og
magnesium ved konvektiv transport (Clarkson & Hanson, 1980). Størrelsen af den
konvektive transport er bestemt af koncentrationen i jordvandet og af
vandfluxraten. Da sidstnævnte er afhængig af transpirationsraten, vil øget
temperatur med den heraf ofte følgende stigning i transpirationsraten forøge
den konvektive transport. Dette kan også være årsag til den fundne
temperatrafhængighed for magnesium og calciumindholdet.

Ved stigende udtørring inden vanding faldt indholdet af kalium og natrium
mens indholdet af magnesium og calcium steg eller var konstant. Som før om-
talt optages calcium og magnesium ved konvektiv transport. Ionkoncentrationen
i jordvandet stiger med stigende udtørring, hvilket kan være en af årsagerne
til den forholdsvis større optagelse af magnesium og calcium end af kalium og
natrium ved større udtørringsgrad. Temperaturstigningen i jorden og i plante-
dækket ved stigende udtørringsgrad (Søegaard, 1984 I) kan ligeledes være år-
sag til det forholdsvis større calcium og magnesiumindhold. Knudsen og Gre-
gersen (1976) fandt i græs ligeledes et fald i calciumindholdet ved vanding.
Modsat nærværende undersøgelse fandt de derudover et fald i kaliumindholdet.
Dette kan muligvis have sammenhæng med et lavere kaliumindhold i planterne i
deres undersøgelse. Ved hyppigere vanding fandt Jensen (1980) som i nærværen-
de undersøgelse en stigning i kaliumindholdet. Han fandt kun ved lav kvæl-
stoftilførsel (indtil 500 kg N/ha) et fald i magnesium og calciumindholdet,
hvorimod det omvendte var tilfældet ved høj kvælstoftilførsel. Denne forskel

på kvælstofniveauerne blev ikke fundet i nærværende undersøgelse.

Ved stigende kvælstof og vandtilførsel øgedes det procentiske indhold af aske og summen af m. ekv. kationer. At aske og kationkoncentrationen stiger med stigende kvælstoftilførsel bekræftes af henholdsvis Møller et al (1973) og Andersen (1980). Whitehead et al (1978) mener, at da kvælstof især optages som nitrat, og da koncentrationen af andre anioner er relativt konstant, må en stigning i nitratoptagelsen ved en øget kvælstoftilførsel nødvendigvis resultere i en øget kationkoncentration.

Fosfor

Fosforindholdet steg i begyndelsen og faldt i slutningen af vækstperioden med stigende kvælstoftilførsel og dermed også stigende fosfortilførsel. Fosforindholdet var således ikke, som fundet af Whitehead et al (1978), relativt konstant ved varieret kvælstoftilførsel. I deres undersøgelser blev fosfortilførslen imidlertid ikke varieret. Reynolds og Wall (1982) fandt heller ingen effekt på fosforindholdet, når kun kvælstoftilførslen blev varieret. Derimod var der ved tilførsel af NPK-gødning en lille øgning i fosforindholdet i foråret, når gødningsmængden blev øget. Ved deres sidste måling i midten af juli var der ingen forskel i fosforindholdet. Ved tilførsel af magnesiumgødning fandt de en stigning i fosforindholdet. I nærværende forsøg blev magnesium tilført i foråret med ens mængder til alle led, hvorved der er gødet med forholdsvis mere magnesium ved lavere gødningstilførsel. Dette kan muligvis være en af årsagerne til at fosforindholdet i første slæt med forsøgsbehandling steg med stigende gødningstilførsel. Der er på intet tidspunkt høstet mere fosfor, end der er tilført, hvorfor nedgangen i fosforindholdet med stigende gødningstilførsel sidst på vækstperioden ikke kan forklares med mangel på fosforgødning. Samtidig skulle jordens gode fosfortilstand kunne sikre en tilstrækkelig forsyning med fosfor.

Den største relative ændring ved forskellig vandingsfrekvens fandtes i fosforindholdet, som steg ca. 14% fra stærk til svag udtørring. Jensen (1980) fandt ligeledes, at hyppigere vanding øger fosforkoncentrationen. Fosforoptagelsen foregår ligesom for de monovalente kationer ved diffusiv transport (Clarkson & Hanson, 1980). Den opløste fosformængde i jordvandet udgør kun en meget lille del af både den totale mængde fosfor i muldlaget og den mængde fosfor, som planterne optager gennem vækstperioden. Den i gennemsnit større

mængde jordvand ved hyppigere vanding vil både øge diffusionshastigheden og mængden af fosfor opløst i jordvandet. Dette er sandsynligvis en væsentlig årsag til en øget koncentration af fosfor i planterne ved hyppigere vanding.

Træstof

Træstofindholdet faldt med stigende kvælstoftilførsel - i gennemsnit et fald på 2,1% fra laveste til højeste kvælstofniveau. Tilsvarende har Jensen (1980) fundet i flere af hans forsøg med alm. rajgræs. Derimod fandt Winther (1974) og Møller et al (1973) ved varieret kvælstoftilførsel et næsten uændret indhold af træstof i henholdsvis italiensk rajgræs (125 - 375 kg N pr. ha) og forskellige græsarter (300 - 600 kg N pr. ha). Flere af kvælstofniveauerne er at sammenligne med dette forsøg. Når resultaterne ikke stemmer overens kan det evt. skyldes, at forsøgene er udført på forskellige jordtyper. Kvælstofeffekten vil ofte være større på grovsandet jord.

Træstofindholdet steg ved hyppigere vanding uafhængigt af gødningsniveau. Den største forskel fandtes fra stærk til middel udtørring, hvor træstofindholdet steg i gennemsnit 1,4%, hvorimod stigningen fra middel til svag udtørring kun var på 0,4%. Jensen (1980) fandt, at vandingseffekten var størst ved lav N (350 kg N pr. ha), hvor træstofindholdet fra laveste til højeste vandingsniveau kunne forøges med 4%, hvilket er betydelig mere, end der er fundet i nærværende forsøg. Jørgensen (1975) fandt ligeledes, at hyppigere vanding forøgede træstofindholdet, og han fandt maksimalt en forskel på 6% mellem u-vandet og vandet.

Tørkestress bevirkede, at stigningen i træstofindholdet i løbet af slætperioden blev forholdsvis mindre. Dette kan evt. skyldes, at planter efter at have været udsat for tørkestress har en lavere fysiologisk alder end planter, der ikke har været udsat for tørke (Begg & Turner, 1976). Stigningen i træstofindholdet ved hyppigere vanding skyldes ikke en relativ større stængelmasse, da vandingshyppigheden ikke påvirkede bladprocenten signifikant (Søegaard, 1984 I).

Jørgensen (1975) fandt i græs en positiv korrelation mellem gennemsnitstemperaturen og træstofindholdet. Dette kunne nærværende forsøg ikke bekræfte. Da træstofindholdet steg i løbet af slætperioden, vil tidspunktet for slæt have stor betydning for træstofindholdet. Der var da også en positiv korrelation mellem træstofindholdet og tørstofmængden ved slæt. Stigningen i

løbet af slætperioden var størst i begyndelsen af vækstperioden, hvor også faldet i bladprocenten var størst (Søegaard, 1984 I).

Nitrat

Det procentiske indhold af nitrat påvirkedes betydeligt mere af tørke end indholdet af totalkvælstof. Vanding ved stærk udtørring bevirkede, at nitratindholdet steg. Da nitratreduktaseaktiviteten ligeledes steg kraftigt efter vanding, indikerer det en meget kraftig stigning i nitratoptagelsen (Søegaard, 1984 III). Nitratindholdet synes således at afhænge af det aktuelle vanddeficit. Der har dog ikke kunnet påvises nogen sammenhæng mellem nitratindholdet ved slæt og det aktuelle vanddeficit i rammeforsøget, hvilket antyder, at der har været andre ydre betingelser, der har haft større betydning for nitratindholdet.

Det er ofte vist, at nitratindholdet ved slæt stiger i løbet af vækstperioden, hvilket muligvis kan skyldes lavere lysintensitet (Andersen, 1980) og akkumulation i jorden af kvælstof tilført ved tidligere slæt (Sibma & Alberda, 1980). Nitratindholdet ved slæt afhænger i høj grad af slættidspunktet, da indholdet ved engangsgødskning er størst i begyndelsen af slætperioden og bliver mindre med tiden (Søegaard, 1984 III). Ved slæt steg nitratindholdet i de overdækkede markparceller (Søegaaard, 1984 III) og i rammeforsøget 1982 sidst i vækstperioden. Da der ikke er foregået nogen akkumulation i de overdækkede markparceller, kan stigningen ikke forklares ved en sådan. Ligeledes har akkumulationen af nitrat i jorden i de højst gødede forsøgsled ikke bevirket en stigning i nitratindholdet i 1980 og 1981 i rammeforsøget.

Der var ingen direkte sammenhæng mellem nitrat målt med strips i plantesaften og nitrat i tørstof. Målemetoden med strips er hurtig men meget usikker, bl.a. fordi plantefarvestoffer f.eks. klorofyl influerer på farvningen, og fordi farveskalaen er meget grov. Forholdet mellem koncentrationen af nitrat i den udpressedes plantesaft og nitrat i tørstof kan muligvis være afhængig af bladprocenten. Da denne varierer kraftigt, kan dette også have bidraget til den ringe sammenhæng mellem de to målemetoder.

Hurtigbestemmelsen med strips ville måske være mere brugbar, hvis der måles på veldefinerede planteorganer, og hvis der ved hver måling laves fortyndingsserier, hvilket ville give større sikkerhed i kvantificeringen.

Total-N

Indholdet af kvælstof i tørstof steg ved stigende udtørningsgrad med en relativ stigning i gennemsnit på 7% fra svag til stærk udtørring. Da tørstofprocenten samtidig stiger med stigende udtørningsgrad, i gennemsnit 3% fra svag til stærk udtørring i forsøget, kan der være betydelig mere kvælstof pr. enhed grønmasse i græs, der har været udsat for tørkestress. I forsøget var der i gennemsnit 26% mere kvælstof pr. grønmasse ved stærk end ved svag udtørring. At tørkestress forøger det procentiske indhold af kvælstof bekræftes bl.a. af Jørgensen (1975) og Labanauskas et al (1981). Selv om kvælstofprocenten steg med stigende kvælstoftilførsel, blev det tilførte kvælstof forholdsvis dårligere udnyttet ved stigende kvælstoftilførsel pr. slæt. Kun ved laveste kvælstoftilførsel blev der høstet mere kvælstof, end der blev tilført.

Ved store kvælstoftilførsler kombineret med middel eller især svag udtørningsgrad blev genvæksten dårligere i løbet af vækstperioden, hvilket kan være en af årsagerne til at kvælstofudnyttelsen blev forholdsvis dårligere med stigende kvælstoftilførsel og hyppigere vanding i løbet af vækstperioden.

Aminosyresammensætning

Der findes forskellige kvælstoflagre i planterne. Kvælstof oplagres dels som nitrat, frie aminosyrer og dels som protein. Ribulose 1,5 difosfat er et af de proteiner, som har stor betydning som kvælstoflager (Friedrich et al, 1980). Den største del af det optagne uorganiske kvælstof inkorporeres i planterne ved reaktionen: glutaminsyre + $\text{NH}_4 \rightarrow$ glutamin (Hartman, 1979).

Ved stigende kvælstoftilførsel steg det relative indhold af glutaminsyre (inklusiv glutamin), asparaginsyre (inklusiv asparagin) og prolin. Ved stigende kvælstoftilførsel stiger indholdet af frie aminosyrer kraftigt (Goswami & Willcox, 1969). I nærværende undersøgelse udgjorde den totale mængde aminosyrekvælstof dog en mindre del af totalkvælstof ved stigende kvælstoftilførsel. Der har således været en forholdsvis større stigning af andre kvælstofforbindelser inklusiv nitrat end i summen af kvælstof i protein, peptider og frie aminosyrer.

Larsen (1977) fandt i italiensk rajgræs, at glutamin, asparagin, prolin og threonin var kvælstoffølsomme aminosyrer. Sidstnævnte var dog mindre følsom end de andre. Fogh (1978) fandt i græs, at en øgning af kvælstoftilførslen fra 0 til 700 kg N pr. ha forøgede den totale mængde af glutaminsyre, aspa-

raginsyre og prolin betydelig mere end resten af aminosyrerne. Jensen(1980) fandt, at det relative indhold af asparaginsyre og især glutaminsyre steg med stigende kvælstoftilførsel. Derimod fandt han kun en ringe stigning i prolin-indholdet. I de to sidste referencer må glutamin og asparagin være inkluderet i de respektive syrer. Lee (1973) fandt i foderbeder, at både det relative og absolutte indhold af prolin faldt ved en stigning i kvælstoftilførslen fra 0 til 450 kg N pr. ha. Han fandt yderligere, at det relative indhold af glutaminsyre/glutamin steg betydeligt, mens indholdet af asparaginsyre/asparagin var næsten konstant. Der er således ikke enighed om, hvilke aminosyrer der forøges relativt ved stigende kvælstoftilførsel. Der synes især at være uenighed om prolins kvælstoffølsomhed.

Asparagin dannes ved en transaminering af glutamin (Hartman, 1979). Asparagin og glutamin udgør en stor del af det amid, som transporteres i planten. Ved en stigning i kvælstoftilførslen synes mængden af glutaminsyre og asparaginsyre at være konstant, hvorimod mængden af glutamin og asparagin stiger kraftigt (Larsen, 1977). Dvs. aminosyresynteseraten stiger. Kvælstofeffekten på indholdet af glutaminsyre/glutamin og asparaginsyre/asparagin synes at afhænge af kvælstofniveauet. Ved lav N, fra 25 N til 100 N, var stigningen størst i det relative indhold af asparaginsyre/asparagin, mens der ved høj N, fra 175 N til 250 N, var størst stigning i indholdet af glutaminsyre/glutamin. Dette bekræftes af Goswami og Willcox (1969), som i græs ved høj N fandt den største stigning i indholdet af glutamin, og af Mela og Rand (1979), som i græs ved lav N fandt den største stigning i indholdet af asparagin, en stigning i kvælstoftilførslen fra 50 til 100 kg N pr. ha.

Prolin

Både det relative og det absolute prolinindhold steg kraftigt ved stigende udtørningsgrad. At tørkestress forøger prolinindholdet er velkendt (Hanson et al, 1979). Fukutoku og Yamada (1981) fandt, at indholdet af frie aminosyrer steg kraftigt i sojabønner ved tørkestress. Prolinindholdet kunne maksimalt udgøre 31% af de frie aminosyrer. Prolinindholdet følger det relative vandindhold og er maksimal midt på dagen (Aspinall & Paleg, 1981). Lyset har ligeledes en stor effekt på aminosyresammensætningen (Larsen, 1977). Planteprøver i nærværende forsøg er hver gang udtaget på sammen tidspunkt på dagen, herved skulle døgnvariationen delvis være elimineret.

Ved svag udtørring inden vanding steg prolinindholdet ikke ved stigende kvælstoftilførsel, hvorimod der ved stærk udtørring var en stor stigning i prolinindholdet. Dette kan muligvis være en af årsagerne til, at kvælstofeffekten på prolinindholdet, som før omtalt, refereres meget forskelligt.

Prolinsyntesen foregår i kloroplasterne og i cytoplasmaet, mens oxidationen foregår i mitochondrierne (Stewart, 1981). Prolin dannes ved transaminering af ornithin (Hartmann, 1979) og glutamin (Stewart, 1981). Da indholdet af glutamin stiger kraftigt ved stigende kvælstoftilførsel, er der således en større kapacitet for syntese af prolin. Dette kan være en af årsagerne til vekselvirkningen mellem vand og kvælstof.

Ved tørkestress akkumuleres prolin kontinuert, hvorfor der ved en lang tørkeperiode kan forekomme store prolinkoncentrationer (Stewart, 1981). Dette var tilfældet i 2. slæt 1980, hvor prolinindholdet ved stærk udtørring var betydelig større end i de øvrige slæt. Planterne havde her p.g.a. anden vandingstrategi været udsat for et større tørkestress. Vanding efter tørke bevirker, at prolinkoncentrationen falder meget hurtigt (Aspinall & Paleg, 1981). Efter 48 timer fandt de, at prolinkoncentrationen i byg var på samme niveau som i kontrolplanterne. Dette synes ikke at være tilfældet i nærværende forsøg, hvor der ikke var nogen direkte sammenhæng mellem prolinindholdet og det aktuelle vanddeficit.

Prolinakkumulationen ved tørkestress skyldes dels en stigning i syntesen af prolin og dels en inhibering af prolinoxidationen (Stewart, 1981). Derudover nedsættes proteinsynteseraten. Mængden af polysomer nedsættes betydeligt ved tørkestress (Bewley, 1981).

Visse funktioner synes at være tilknyttet prolinakkumulationen. Denne synes at være en vigtig del i cellernes osmoregulering ved tørkestress og at fungere som kvælstof og kulstoflager (Aspinall & Paleg, 1981). Det er yderligere fundet, at stomataresistensen stiger, hvis prolin sprøjtes på bladene, hvilket antyder en regulerende effekt i transpirationen (Rajagopal, 1981). At prolinindholdet ved slæt steg med stigende udtørring inden vanding uanset aktuell udtørring kan indikere en forøget tørkeresistens i planterne, som havde været udsat for tørkestress.

Konklusion

Den største effekt på planternes kemiske sammensætning ved varieret kvæl-

stofftilførsel fandtes fra 25 til 100 kg N pr. ha pr. slæt, hvor der også var størst forskel på tørstofproduktionen (Søegaard, 1984 I).

Stigende kvælstofftilførsel havde følgende effekt på plantetørstoffet:

- stigning i indholdet af NO_3 , N, K, Na, Ca, Mg og antallet af foderenheder.
- fald i træstofindholdet.
- stigning i indholdet af de enkelte aminosyrer.
- stigning i det relative indhold af især glutaminsyre (inklusiv glutamin) og asparaginsyre (inklusiv asparagin).
- et relativt mindre indhold af essentielle aminosyrer.

Ved varieret udtørring inden vanding fandtes den største effekt mellem middel og stærk udtørringsgrad. Selv om der ofte ikke var forskel på tørstofproduktionen ved svag og middel udtørringsgrad (Søegaard, 1984 I), havde vandingshyppigheden indvirkning på planternes kemiske sammensætning.

Stigende udtørring inden vanding havde følgende effekt på plantetørstoffet:

- stigning i indholdet af N og antallet af foderenheder.
- fald i indholdet af K, P og træstof.
- stigning i indholdet af de enkelte aminosyrer.
- stigning i det relative indhold af prolin uanset aktuel vanddeficit, hvilket indikerer en øget tørkeresistens.
- et relativt mindre indhold af essentielle aminosyrer.

Erkendtlighed

Projektet har økonomisk været baseret på bevillinger fra Statens Jorbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd.

Litteratur

- Andersen, C.E. (1980): Dyrkningsfaktorer og planternes kemiske sammensætning. SJVF, 261 pp.
- Aspinall, D. & Paleg, L.G. (1981): Proline accumulation: Physiological aspects. I L.G. Paleg & D. Aspinall.: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants, 206-241.
- Begg, J.E. & Turner, N.C. (1976): Crop water deficits. Adv. in Agron. 28, 161-217.

- Bewley, J.D. (1981): Protein synthesis. I. L. G. Paleg & D. Aspinall: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants, 261-282.
- Claassen, M.E. & Wilcox, G.E. (1974): Comparative reduction of calcium and magnesium composition of corn tissue by $\text{NH}_4\text{-N}$ and K fertilization. Agron. J. 66, 521-522.
- Clarkson, D.T. & Hanson, J.B. (1980): The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 239-298.
- Clarkson, D.T. & Warner, A.J. (1979): Relationships between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). Plant Physiol. 64, 557-561.
- Fogh, H. (1978): Udbytte af tørstof, råprotein og aminosyre i græs efter N-gødskning med kalkammonsalpeter contra kalkammonsalpeter og ureaopløsning. Tidsskr. Planteavl 82, 69-80.
- Friedrich, J.W., Chemical, A., Ny, S. & Huffaker, R.C. (1980): Stomatal resistance and ribulose biphosphate carboxylase as determinants of photosynthesis. Agronomy abstracts, 81.
- Fukutoku, Y. & Yamada, Y. (1981): Diurnal changes in water potential and free amino acid contents of water-stressed and non-stressed soybean plants. Soil Sci. Plant Nutr. 27, 195-204.
- Gashaw, L. & Mugwira L.M. (1981): Ammonium-N and nitrate-N effects on the growth and mineral compositions of triticale, wheat, and rye. Agron. J. 73, 47-51.
- Goswami, A.K. & Willcox, J.S. (1969): Effect of applying increasing levels of nitrogen to ryegrass. I. - Composition of various nitrogenous fractions and free amino acids. J. Sci. Fd Agric. 20, 592-595.
- Hanson, A.D., Nelsen, C.E., Pedersen, A.R. & Everson, E.H. (1979): Capacity for proline accumulation during water stress in barley and its implications for breeding for drought resistance. Crop Science 19, 489-493.
- Hartmann, T. (1979): IVb. Metabolism of organic N-compounds. Ammonium assimilation and amino acid metabolism. Progress in Botany 41, 83-92.
- Haynes, R.J. & Goh, K.M. (1978): Ammonium and nitrate nutrition of plants. Biol. Rev. 53, 465-510.
- Jensen, H.E. (1980): Afgrødeproduktion og -kvalitet, lysenergi- og vandudnyt-

- telse, nitrogenbalance og -transport i relation til nitrogen- og vandstatus. Eksperimentelle studier med *Lolium perenne*. Dissertation, 373 pp.
- Jørgensen, V. (1975): Vanding af græs og kløvergræs. Tidsskr. Planteavl 79, 545-560.
- Knudsen, H. & Gregersen, A. (1976): Græsarter ved stigende mængde kvælstofgødning og vanding 1968-71. Tidsskr. Planteavl 80, 325-351.
- Labanauskas, C.K., Shouse, P., Stolzy, L.H. & Handy, M.F. (1981): Protein and free amino acids in field-grown cowpea seed as affected by water stress at various growth stages. Plant and Soil 63, 355-368.
- Larsen, I. (1977): Lysets og nitrogentilførsels indflydelse på aminosyrestofskiftet og stofproduktionen i italiensk rajgræs (*Lolium multiflorum*), studeret i karforsøg. Dissertation, København, 358 pp.
- Lee, C.Y. (1973): The effect of nitrogen fertilization on the total amino acid content of table beet roots. J. Sci. Agric. 24, 843-845.
- Mela, T. & Rand, H. (1979): Amino acid composition of timothy, meadow fescue, cockfoot and perennial ryegrass at two levels of nitrogen fertilization and at successive cuttings. Annales Agriculturae Fenniae 18, 246-251.
- Møller, E., Højland Frederiksen, J. & Witt, N. (1973): Græsser i renbestand II. Kemisk sammensætning, fordøjelighed og foderværdi. 3. ber. Fællesudvalget for Statens Planteavl- og Husdyrbrugsforsøg, 1-31.
- Rajagopal, V. (1981): The influence of exogenous proline on the stomatal resistance in *Vicia faba*. Physiol. Plant. 52, 292-296.
- Reynolds, J.H. & Wall, W.H. (1982): Concentrations of Mg, Ca, P, K and crude protein in fertilized tall fescue. Agron. J. 74, 950-954.
- Sibma, L. & Alberda, Th. (1980): The effect of cutting frequency and nitrogen fertilizer rates on dry matter production, nitrogen uptake and herbage nitrate content. Neth. J. Agric. Sci. 28, 243-251.
- Stewart, C.R. (1981): Proline accumulation: Biochemical aspects. I L.G. Paleg & D. Aspinall.: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants, 243-259.
- Søegaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. I. Planteproduktion, vandudnyttelse, jordtemperatur og morfologisk udvikling ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl 5 1704a.
- Søegaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. III. Stomata-

resistens, klorofylindhold, nitratreduktase aktivitet og ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl S 1704c.

Whitehead, D.C., Jones, L.H.P. & Barnes, R.J. (1978): The influence of fertilizer N plus K on N, S and other mineral elements in perennial ryegrass at a range of sites. J. Sci. Fd Agric. 29, 1-11.

Winther, P. (1974): Italiensk rajgræs. Udlægsmetodens, såtidens, sløtantallets og kvælstofgødskningens indflydelse på etablering, udbytte og kvalitet. Tidsskr. Planteavl 78, 483-508.

VAND OG KVÆLSTOF TIL ALMINDELIG RAJGRÆS.

III. STOMATARESISTENS, KLOROFYLINDHOLD, NITRATREDUKTASE AKTIVITET OG RIBULOSE
1,5 DIFOSFAT CARBOXYLASE AKTIVITET VED KONTROLLERET VANDTILFØRSEL.

Application of water and nitrogen to perennial ryegrass.

III. Stomatal resistance, chlorophyll content, nitrate reductase activity and
ribulose 1.5 diphosphate carboxylase activity with controlled
water application

Indholdsfortegnelse

	side
Resumé.....	80
Summary.....	80
Indledning.....	81
Metodik.....	84
Resultater.....	86
Stomataresistens.....	86
Ribulose 1,5 difosfat carboxylase.....	90
Klorofyl.....	93
Nitratreduktase.....	94
Nitratindhold.....	98
Totalkvælstof.....	100
Nitratreduktase aktivitet - nitratindhold.....	102
Tørstofproduktion i relation til de undersøgte parametre.....	103
Diskussion.....	103
Stomataresistens.....	103
Klima.....	103
Kvælstoftilførsel.....	105
Bladalder.....	105
Nitratreduktase, ribulose 1,5 difosfat carboxylase, klorofyl og NO ₃ -indhold.....	106
Kvælstoftilførsel.....	106
Tørkestress - vanding.....	107

Døgnvariation.....	108
Tørstofproduktion.....	108
Konklusion.....	109
Erkendtlighed.....	109
Litteratur.....	110

Resumé

Stomataresistensen (SR) var uafhængig af kvælstoftilførslen, men afhængig af klima, bladalder og tidspunkt på dagen. Det aktuelle vanddeficit ved hvilket SR steg kraftigt, var ligeledes klimaafhængigt.

Ved stigende kvælstoftilførsel steg klorofylindholdet, nitratreduktase (NR) aktiviteten og ribulose 1,5 difosfat carboxylase (RuDPC) aktiviteten. Der var en snæver sammenhæng mellem aktiviteten af NR og NO_3^- -indholdet, når kvælstoftilførslen var eneste variabel.

NR var betydelig mere tørkefølsom end RuDPC. NO_3^- -indholdet faldt ligeledes ved tørkestress. Klorofylkoncentrationen og klorofyl a/b synes derimod ikke at være påvirket af vandfaktoren.

Vanding efter tørkestress bevirkede en betydelig stigning i aktiviteten af NR og RuDPC og i NO_3^- -indholdet. Aktiviteten blev herved større end i kontrolplanterne.

Aktiviteten af NR var den parameter, som var bedst korreleret med tørstofproduktionshastigheden.

Nøgleord: Almindelig rajgræs, tørkestress, kvælstof, stomataresistens, klorofyl, nitratreduktase, ribulose 1,5 difosfat carboxylase.

Summary

Experiments were carried out over the periode 1980-82 on perennial ryegrass with differentiated water and nitrogen application.

The stomatal resistance (SR) was independent of nitrogen application, but

dependent on climate, leaf age and time of day. The actual water deficit, at which SR greatly increased, was also dependent on climate. The chlorophyll content, nitrate reductase (NR) activity and ribulose 1.5 diphosphate carboxylase (RuDPC) activity increased with increasing nitrogen application. There was a close correlation between the activity of NR and the content of NO_3 , when the nitrogen application was the only variable.

NR was considerable more drought sensitive than RuDPC. The NO_3 -content also decreased with drought stress. Contrary the chlorophyll content and the chlorophyll a/b seemed to be unaffected by the water factor.

Irrigation after drought stress led to a considerable increase in the activity of NR and RuDPC and in the NO_3 -content. After rewatering the activity was greater than in the control plants.

The activity of NR was the parameter, which had the best correlation to the rate of dry matter production.

Key words: Perennial ryegrass, drought stress, nitrogen, stomatal resistance, chlorophyll, nitrate reductase, ribulose 1.5 diphosphate carboxylase.

Indledning

I forsøgsmæssig sammenhæng kan det være af stor betydning at have et grundlæggende kendskab til planternes fysiologiske reaktion på tørkestress. Mange af planternes vigtigste fysiologiske processer er gennem tiden mere eller mindre blevet undersøgt for påvirkning af tørkestress i væksthuse eller klimakammer. Der findes ofte divergerende resultater og opfattelser, når man sammenligner markforsøg med f.eks. karforsøg under kontrollerede forhold (Begg & Turner, 1976). Tørkestress udvikles f.eks. hurtigere i kar end i markforsøg, hvorfor resultater fra kar som regel ikke kan overføres direkte til markforhold. Det er derfor afgørende, at der også under markforhold laves grundlæggende fysiologiske undersøgelser, selv om der her p.g.a. varierende klima er betydelig flere variable.

Der udtrykkes ofte ønske om i forbindelse med forsøgsarbejde, forædlingsarbejde og vejledning at finde et produktionsindeks som mål for planternes produktionsstatus. Produktionen er afhængig af en lang række parametre af

klimatisk, jordfysisk eller dyrkningsmæssig karakter. 2 vigtige parametre er vand og kvælstof, da disse ofte kan være begrænsende.

Planternes kvælstofoptagelse er i høj grad afhængig af vandtilgængeligheden i jorden. Hvis planterne optager mere kvælstof end de har brug for, kan det enten ophobes i planterne i form af NO_3^- , frie aminosyrer, hovedsagelig som glutamin og asparagin, eller protein, især i proteinet ribulose 1,5 difosfat carboxylase. I forbindelse med undersøgelser over planternes kvælstofstatus ville det være muligt at måle koncentrationerne af de ovennævnte kvælstofreserver. Der udføres dog oftest og da også i denne undersøgelse kun målinger af planternes indhold af totalkvælstof og NO_3^- -N.

Ved undersøgelse af produktionsindeks kan man enten anvende kemiske koncentrationsmålinger eller aktivitetsmålinger af fysisk eller kemisk karakter.

Ved enzymaktivitetsmålinger er det nødvendigvis enzymer med en regulerende funktion, som er relevante at undersøge. To væsentlige enzymer i denne sammenhæng er nitratreduktase og ribulose 1,5 difosfat carboxylase.

Nitratreduktase (NR) katalyserer første led i assimilationsprocessen $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow$ aminosyrer, og menes at være hastighedsbegrænsende i denne (Srivastava, 1980).

NR er substratinduceret i alle planteorganer (Atkins et al, 1979). Lys er essentielt for denne substratinduktion (Aslam et al, 1973). Enzymet er forholdsvis ustabilt både in vitro og in vivo (Beevers & Hageman, 1969), og halveringstiden er fra 2-12 timer afhængig af planteart, planteorgan og metode (Huffaker & Peterson, 1974).

Beevers og Hageman (1969) mener, at NR er det logisk regulerende trin, da det 1) er første enzym i reduktionsprocessen, 2) er hastighedsbegrænsende, 3) er substrat inducibelt, 4) er relativt ustabilt og 5) da NO_2^- og NH_4^+ er toksiske, er det nødvendigt at regulere deres produktion. NO_2^- -reduktasen har altid større aktivitet end NR. Der vil derfor kun under ekstreme forhold ophobes NO_2^- i planter (Goodman et al, 1974).

NR findes i alle planteorganer, både over og under jorden. Hvor stor aktiviteten i rødderne er i forhold til toppen refereres meget forskelligt. Dette kan bl.a. skyldes sortsforskelle (Hunter et al, 1982) og forskellige forsøgsbetingelser, som f.eks temperatur (Deane - Drummond et al, 1980) og kvælstoftilførsel (Rufy et al, 1982).

I forsøg med stigende kvælstoftilførsel er der ofte fundet en god korrelation mellem NRA og udbyttet (Srivastava, 1980).

Ribulose 1,5 difosfat carboxylase (RuDPC) er ligeledes et regulerende enzym (Bassham & Krause, 1969). Det katalyserer bindingen af CO_2 til ribulose 1,5 difosfat i fotosyntesens mørkeproces. RuDPC menes også at katalysere første led i fotorespirationen, hvor O_2 bindes til ribulose 1,5 difosfat (Chollet & Ogren, 1975). CO_2 og O_2 er således kompetitive substrater, og der synes at være store artsforskelle på forholdet mellem oxygenase og carboxylase aktiviteten (Jordan & Ogren, 1981). RuDPC findes i kloroplasterne opløst i stroma (Kawashima & Wildman, 1970), dvs. enzymaktiviteten findes kun i fotosynteseaktivt væv.

RuDPC er i forhold til andre proteiner meget stabilt. Nedbrydningen begynder først efter 24 timer i mørke (Peterson et al, 1973). Friedrich et al (1980) har fundet, at RuDPC udgør minimalt 20% af den totale mængde opløselige bladproteiner i ældre bygblade ved lav N og maksimalt 71% i unge bygblade ved høj N. Denne store forskel skyldes især, at kvælstofoverskud i planten bl.a. opbevares i dette protein. RuDPC fungerer således som lager for kvælstof (Peterson et al, 1973), og kan derfor udgøre en stor del af foderprotein.

Potentialforholdene for vand i bladene udtrykkes ofte ved ligningen:

$$\psi_l = \psi_p + \psi_o$$

hvor ψ_o er det osmotiske potentiale, ψ_p er trykpotentialet og ψ_l er bladvand-potentialet. Almindeligvis er $\psi_o < 0$, $\psi_p > 0$ og $\psi_l < 0$.

Transpirationens størrelse afhænger bl.a. af størrelsen og forholdet mellem disse potentialer. Vandafgivelsen fra bladene foregår især gennem stomata, som på alm. rajgræs er placeret i bunden af rillerne på bladenes adaxiale overflade. Tørkestress synes at påvirke bladenes strukturelle opbygning. Det specifikke bladareal, cm^2/g , bliver mindre (Søgaard, 1984 I), der bliver færre stomata pr. arealenhed, og bladrillerne bliver dybere (Jones et al, 1980). Åbningen af stomata har betydning for både transpiration og CO_2 -diffusionen. Da stomataresistensen er omvendt proportional med transpirationsraten (Hansen, 1974), er måling af stomataresistens (sek. pr.

cm) et indirekte mål for transpirationen.

Målet med denne undersøgelse var at beskrive nogle grundlæggende mekanismer omkring plante - vand - kvælstofrelationer under betingelser, der nærmer sig markforhold, og ud fra disse undersøgelser diskutere anvendeligheden af de undersøgte parametre som produktionsindeks, når både vand og kvælstoftilførsel varieres.

Metodik

Forsøgsopstilling og forsøgsplan er beskrevet af Søegaard (1984 I).

For at opnå de ønskede udtørninger blev der dels lavet forsøg i et rammeanlæg med en mobil overdækning, som automatisk dækker afgrøden ved nedbør, og dels i markparceller, der manuelt blev overdækket af mindre overdækninger. Sidstnævnte overdækninger blev efter hvert slæt flyttet til nye markparceller, der indtil da var behandlet ens. Herved kunne eftervirkning efter tidligere forsøgsbehandlinger undgås.

Tørstofproduktionen, vandudnyttelse, bladmorfologi og planternes kemiske sammensætning fra de samme forsøg er beskrevet tidligere (Søegaard, 1984 I og II). Forkortelser brugt i denne beretning:

- sv: svag udtørring, vanding til markkapacitet
ved 0,25 bar i 15 cm dybde, hvilket svarer til
ca. 12 mm underskud
- st: stærk udtørring, vanding til markkapacitet
ved 45 mm underskud

25 N, 100 N, 175 N og 250 N står for henholdsvis 25, 100, 175 og 250 kg N pr. ha pr. slæt. Plantepróverne i de overdækkede markparceller blev indsamlet i tidsrummet 8^{00} - 8^{30} . Efter vejning blev prøverne fra de enkelte led slået sammen og klippet i stykker á ca. 4 cm, hvorefter der blev udtaget prøver til bestemmelse af tørstofprocent og til kemiske analyse. Da der er målt meget ringe enzymaktivitet og klorofylindhold i stænglerne, blev disse sorteret fra, og bladpróverne blev indtil bestemmelse af henholdsvis nitratreduktaseaktivitet og ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet opbevaret ved 5°C . Da enzymerne ikke er helt stabile efter afklipning af bladene, blev disse

analyser foretaget samme dag. Nitratreduktase er mere ustabil end ribulose 1,5 difosfat carboxylase, hvorfor denne blev analyseret først. Bladprøverne til klorofylbestemmelse blev opbevaret ved $\pm 20^{\circ}\text{C}$ til analyse dagen efter prøveudtagningen. Denne opbevaringsform hindrede nedbrydning af klorofyl og oxidation af klorofyl a til klorofyl b.

Samme fremgangsmåde med hensyn til behandling af indsamlet planteprøve som beskrevet ovenfor, blev benyttet i rammeforsøget, hvor disse analyser blev foretaget ved slæt i 1981. Afklipning af græsset blev foretaget mellem kl. 9⁰⁰ og kl. 12⁰⁰ i alle rammer. Planteprøver til analyse blev straks udtaget og opbevaret ved 5°C indtil yderligere behandling.

Stomataresistens blev målt med et autoporometer (Li-cor 65). Metoden består i, at en sensor med luftkammer, hvori luftfugtigheden først er nedbragt til ca. 10% rh anbringes på den side af bladet, hvor stomata findes. Bladets transpiration bevirker, at luftfugtigheden i kammeret stiger. Autoporometret registrerer automatisk tidsintervallet fra opnåelse af en minimum luftfugtighed i kammeret (16% rh) til opnåelse af en maksimumværdi (24% rh). Disse tidsværdier omregnes ved hjælp af udarbejdede kalibreringskurver til stomataresistens (sek. pr. cm). Der blev målt på 10 blade pr. led. Målingerne er, hvor ikke andet er nævnt, foretaget på yngre soleksponerede blade.

Ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktiviteten blev bestemt in vitro ved en metode omarbejdet efter Paulsen og Lane (1966). 6,00 g bladmateriale homogeniseres i 60 ml 0,2 M Tris-HCl, pH 8,0, tilsat 10 mM MgCl_2 i en Ultra-Turrax homogenisator i 2 min. Efter homogeniseringen tilsættes 20 mM mercaptoethanol. Dette sammen med Mg^{2+} i homogeniseringsbufferen stabiliserer enzymaktiviteten. Homogenatet filtreres gennem 4 lag gaze og centrifugeres i 10 min. ved 1000 g. 50 μl af supernatanten, hvori enzymet er opløst, tilsættes 175 μl homogenatbuffer med 0,3 μmol ribulose 1,5 difosfat, $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ (0,5 μCi) og 5 μmol MgCl_2 . Efter 15 min. standses processen ved tilsætning af 100 μl HCl (4N), og der rystes kraftigt. Herved afgives alt overskydende $\text{H}^{14}\text{CO}_3^-$ i form af $^{14}\text{CO}_2$. Væsken afpippeteres til tælleflaske og tilsættes 10 ml tællervæske (2 toluol med 2,5 g PPO pr. l: 1 triton X-100). Tælleflaskerne tælles i en Beckman LS-250 væskescintillationstæller. Aktiviteten af ribulose 1,5

difosfat carboxylase blev målt i 2 gentagelser pr. led og udtrykkes i cpm pr. g tørstof pr. min.

Klorofylkoncentrationen og klorofyl a/b blev bestemt i 2 gentagelser pr. led efter en metode af Ogawa og Shibata (1965).

Nitratreduktase aktiviteten blev bestemt in vivo. Metoden blev omarbejdet efter Jones og Sheard (1977). 3,00 g bladstykker, hvis størrelse har vist sig ikke at influere på målingen, tilsættes 100 ml inkubationsvæske (0,1 M kaliumfosfatbuffer, pH 7,5, tilsat 1% propanol, 5 ppm chloramphenicol og 1 o/oo triton X-100). Denne inkubationsvæske indeholder også enzymets substrat (0,1 M KNO_3). Væsken afgasses i 1 min., hvorefter inkubationen foregår i vandbad (30°C) i mørke i 60 min.

Efter inkubationen udtages 2 ml til NO_2 -bestemmelse. Mørke inhiberer nitritreduktasen, hvorefter NO_2 , som er produktet af enzymreaktionen, ophobes i væsken.

NO_2 -koncentrationen bestemmes ved hjælp af et farvekompleks, som dannes ved tilsætning af 0,5 ml 1% sulfanilamid i 3,0 M HCl og 0,5 ml 0,02 %N - (1-naphtyl) - ethylendiamindihydrochlorid. Om nødvendigt fortyndes med vand og absorptionen ved 540 nm måles efter 30 min. henstand og sammenlignes med NO_2 standard målinger. Nitratreduktase aktiviteten udtrykkes i $\mu\text{g NO}_2\text{-N}$ pr. g tørstof pr. time. I hvert led blev der målt 3 gentagelser.

Resultater

Stomataresistens (SR)

Transpirationens størrelse og dermed også SR's størrelse er meget afhængig af jordens udtørningsgrad og af forskellige klimafaktorer. SR ændrer sig i løbet af dagen afhængig af klimaet. I tabel 1 er vist et eksempel på 2 dage med stor klimatisk forskel. Da det kun er muligt at måle på tørre blade, kan der kun måles i den periode af dagen, hvor planterne er dugfrie. SR var større ved stærk udtørring end ved svag ved hver måling, forskellene var dog kun signifikant kl. 16⁰⁰ begge dage. Den 9/7 var indstrålingen stor og luftfugtigheden lav, dvs. den potentielle fordampning var stor (4,0 mm). SR steg kraftigt denne dag fra kl. 10⁰⁰ til kl. 16⁰⁰ både i led med en lille (5 mm) og

i led med en større udtørring (30 mm). Stigningen var størst og kun signifikant fra kl. 12³⁰ til kl. 16⁰⁰. Dagen efter den 10/7 var indstrålingen lavere p.g.a. høj luftfugtighed. Dette bevirkede en mindre potentiel fordampning (1,9 mm), og det ses at SR ved svag udtørring ikke steg i løbet af dagen, mens SR ved stærk udtørring steg. Stigningen i løbet af dagen var dog betydelig mindre end den 9/7 og ikke signifikant. Denne klimatiske påvirkning af SR's døgnvariation bekræftes af en del andre målinger.

I fig. 1. er vist et udtørningsforløb i juli 1981. Vandunderskuddet i jorden steg fra 16 mm den 6/7 til 50 mm den 20/7. SR, som blev målt mellem kl. 14⁰⁰ og kl. 16⁰⁰, steg fra under 1 sek/cm i begyndelsen af udtørningsforløbet

Tabel 1. Stomataresistens, SR, temperatur i plantehøjde, t, relativ luftfugtighed, rh, og potentiel fordampning, PE, den 9. og 10. juli 1981 i ramme-forsøg, 250 N. Aktuell vanddeficit ved svag og stærk udtørring var henholdsvis 5 og 30 mm.

Stomatal resistance, SR, temperature at plant level, t, relative air humidity, rh, and potential evapotranspiration, PE, the 9th and 10th July 1981 in the small plot experiment, 250 N. Actual water deficit at low and high water stress were 5 and 30 mm respectively.

Kl.		SR, sek/cm			t	rh	PE, mm/dag
o'clock		sec/cm			°C	%	mm/day
		sv	st	LSD			
9/7	10 ⁰⁰	0,56	0,94	n.s.	22	59	
	12 ³⁰	0,65	1,07	n.s.	24	57	4,0
	16 ⁰⁰	1,36	2,63	0,77	24	50	
LSD		0,43	0,55				
10/7	10 ⁰⁰	0,46	0,66	n.s.	22	71	
	12 ³⁰	0,35	0,72	n.s.	26	64	1,9
	16 ⁰⁰	0,31	1,17	0,42	27	61	
LSD		n.s.	n.s.				

sv: Svag udtørring. *Low water stress.*

st: Stærk udtørring. *High water stress.*

til omkring 5 sek/cm i slutningen. Den 9/7 var den potentielle fordampning meget høj, jvf. også tabel 1, hvilket medførte at SR denne dag blev forholdsvis høj. Hvis man ser bort fra denne lidt ekstreme dag, kan det ses, at SR kun steg lidt i starten af udtørringen, mens der var en kraftig stigning ved 40-45 mm underskud. Udtørringens indvirkning på SR blev først markant ved dette store underskud.

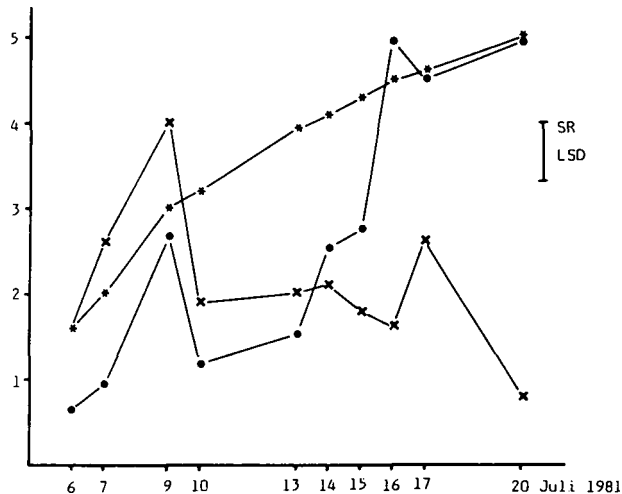


Fig. 1. Stomataresistens (SR) sammenholdt med vanddeficit og potentiel fordampning. Rammeforsøg, 250 N, stærk udtørring.

Stomatal resistance (SR) compared with water deficit and potential evapotranspiration. Small plot experiment, 250 N, high water stress.

- Stomataresistens (sek/cm). *Stomatal resistance (sec/cm)*
- × Potentiel fordampning (mm/dag). *Potential evapotranspiration (mm/day)*
- * Vanddeficit (10 mm). *Water deficit (10 mm).*

Det vandunderskud i jorden, der resulterer i en kraftig stigning af SR, synes at afhænge af klimaet. I fig. 2 er måleresultater af SR som funktion af vandunderskud afbildet fra juni til august i alle 3 forsøgsår.

Målingerne er foretaget mellem kl. 14⁰⁰ og kl. 16⁰⁰. Det ses, at ved en lille potentiel fordampning (0-2 mm) synes stigningen i SR først at starte ved et større underskud, end det var tilfældet ved en større potentiel fordampning (2-4 mm).

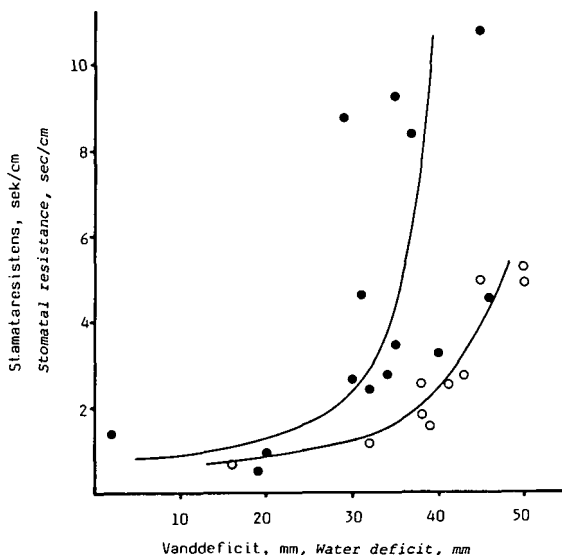


Fig. 2. Stomataresistens i relation til aktuel vanddeficit.

Ramreforsøg, 250 N, stærk udtørring.

Stomatal resistance in relation to actual water deficit.

Small plot experiment, 250 N, high water stress.

Potentiel fordampning: *Potential evapotranspiration:*

● 0-2 mm/dag. 0-2 mm/day

○ 2-4 mm/dag. 2-4 mm/day

Kvælstoftilførslen havde hverken ved svag eller stærk udtørring nogen målelig effekt på SR.

Bladalderen har også indvirkning på SR. Tabel 2 viser resultater fra den 29/7 1982, en dag med stor potentiel fordampning (4,0 mm) og dermed en kraftig stigning i SR i løbet af dagen. Ved svag udtørring (16 mm) var der ikke signifikante forskelle på fanebladet og de øvrige blade. Ved stærk udtørring (45 mm) var SR betydelig større end det i tabel 1 viste, hvor der ved stærk udtørring kun var et vanddeficit på 30 mm. Der var stor forskel på SR i fanebladet og i de øvrige blade, hvilket vil sige at stomata lukkes først i ældre blade. Forskellen var dog kun signifikant kl. 18⁰⁰, hvilket især skyldes en stor spredning på måleresultaterne, når SR var stor. Dvs. ved et stort vand-

deficit var der stor forskel på SR i de enkelte blade. Det skal bemærkes, at alle målte blade var soleksponerende.

Tabel 2. Stomataresistens, temperatur i plantehøjde og tørstofprocent den 29/7 1982. Overdækkede markparceller, 100 N. Aktuel vanddeficit ved svag og stærk udtørring var henholdsvis 16 og 45 mm.
Stomatal resistance, temperature at plant level and dry matter per cent, the 29th July 1982. Roofed field plots, 100 N. Actual water deficit at low and high water stress were 16 and 45 mm respectively.

kl.	stomataresistens, sek/cm						tørstof %		lufttemperatur
	stomatal resistance, sec/cm						dry matter %		air temperature
	sv			st			sv	st	°C
	1.	2.	LSD	1.	2.	LSD			
6 ⁰⁰							15,0	20,4	8
10 ⁰⁰	1,40	1,21	n.s.	3,64	5,91	n.s.	17,1	24,3	21
14 ⁰⁰	2,18	1,51	n.s.	6,09	10,46	n.s.	18,3	26,3	25
18 ⁰⁰	2,94	3,43	n.s.	7,42	12,14	4,31	18,3	27,0	25
LSD	0,61	1,77		2,59	4,63				
1. Faneblade. <i>Flag leaves.</i>									
2. Øvrige blade. <i>The rest of the leaves.</i>									

I tabel 2 er tørstofprocenten ligeledes angivet. Tørstofprocenten var betydelig større ved stærk udtørring, og stigningen i løbet af dagen var da også størst her.

Ribulose 1,5 difosfat carboxylase (RuDPC)

Aktiviteten af RuDPC ved slæt blev bestemt ved 3. og 4. slæt 1980 og 1981 i ramme-forsøget. Aktivitetsforløbet var det samme ved de enkelte målinger. Som eksempel er aktiviteten ved 3. slæt 1981 vist i fig. 3, hvor det tilhørende tørstofudbytte ligeledes er indtegnet. Det ses, at aktiviteten steg med stigende kvælstoftilførsel, og at effekten var størst ved lav kvælstoftilførsel. Ved svag udtørring var der kun lille aktivitetsstigning fra 100 N til 250 N, hvorimod aktiviteten ved stærk udtørring ved samme kvælstofstigning

viste en kraftigere stigning. Dette bevirkede, at aktivitetsforskellen mellem svag og stærk udtørring steg med stigende kvælstoftilførsel.

Ved slæt var RuDPC aktiviteten størst ved stærk udtørring, selvom der her var en mindre totaltørstofproduktion. Dette synes at være uafhængigt af vanddeficit i jorden ved slæt. I det viste eksempel var vanddeficit i gennemsnit 8 mm ved svag og 14 mm ved stærk udtørring. Ved 4. slæt 1980 var vanddeficit ligeledes 8 mm ved svag, men 42 mm ved stærk udtørring. Selv ved denne stærke udtørring var enzymaktiviteten større end ved svag udtørring.

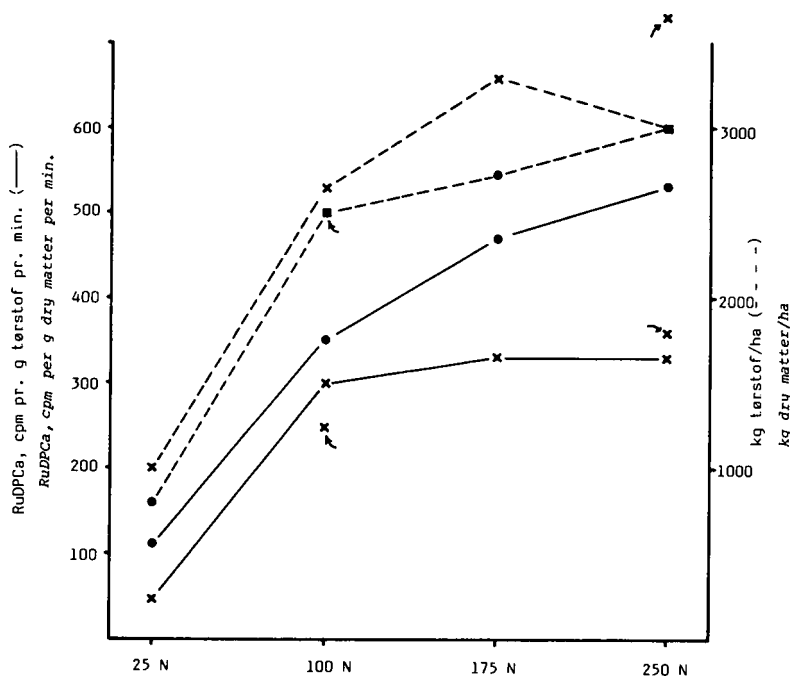


Fig. 3. Ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet, RuDPCa, og tørstofudbytte, kg tørstof/ha, ved 3. slæt 1981. Rammeforsøg.

Resultater fra gødningsvanding er angivet med pile.

Ribulose 1.5 diphosphate carboxylase activity, RuDPCa, and dry matter yield, kg dry matter/ha, at 3rd cut 1981. Small plot experiment.

Nitrogenfertilizer in kg N per cut is shown at the abscissa.

Results from fertigation is shown by arrows.

× Svag udtørring. Low water stress.

• Stærk udtørring. High water stress.

Resultaterne fra 1. - 3. slætperiode i 1982 i de overdækkede markparceller ved 175 N, hvor der blev opnået en kraftig udtørring med efterfølgende vanding ved stærk udtørring, er vist i fig. 4. Et kraftigt regnskyl lige inden 4. slætperiode, dvs. inden overdækning, bevirkede, at den kraftige udtørring ikke blev opnået i denne periode. I 5. slætperiode, hvor vandforbruget pr. dag var meget lille, blev den kraftige udtørring heller ikke opnået.

Det ses, at RuDPC aktiviteten pr. tørstofenhed ved engangstilførsel af kvælstof faldt i løbet af slætperioden. Den største reduktion fandtes i begyndelsen af slætperioden i 1982. I figuren er 4. slætperiode i 1981 også afbildet for både 25 N og 175 N. Her var aktivitetetsreduktionen ved 175 N mere ensartet gennem slætperiode.

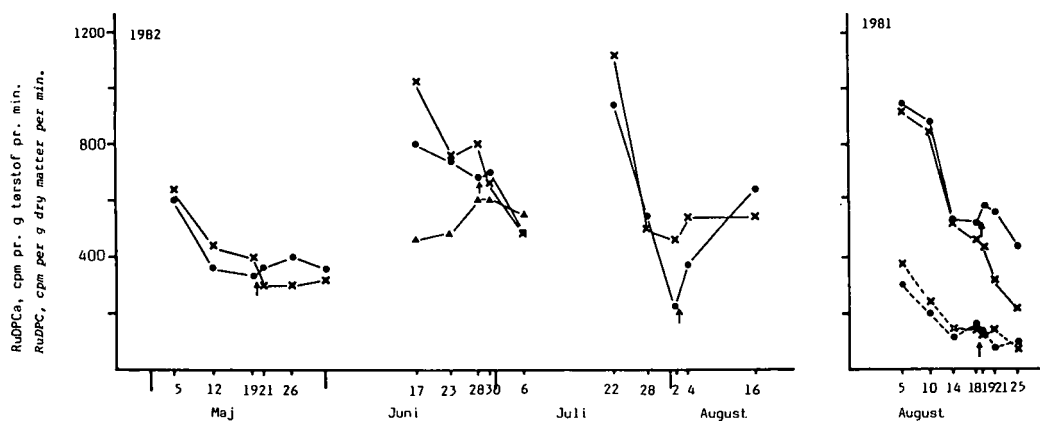


Fig. 4. Ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet, RuDPCa, i 1.-3. slætperiode 1982 og 4. slætperiode 1981 ved 25 N (---) og 175 N (—). Vanding ved stærk udtørring er angivet med pile. Overdækkede markparceller. Ribulose 1,5 diphosphate carboxylase activity, RuDPCa, in 1st - 3rd growth period 1982 and 4th growth period 1981 at 25 N (---) and 175 N (—). Irrigation at high water stress is shown by arrows. Roofed field plots.

× Svag udtørring. Low water stress.

● Stærk udtørring. High water stress.

▲ Gødningsvanding ved svag udtørring. Fertigation at low water stress.

I 2. slæt 1982 blev engangstilførsel sammenlignet med kontinuert gødskning, dvs. kvælstof blev tilført gennem vandingsvandet ad 3 gange. Modsat éngangstilførsel steg enzymaktiviteten ved kontinuert gødskning i begyndelsen af slætperioden og var størst midt i perioden.

Ved stigende udtørring blev enzymaktiviteten i 1982 forholdsvis mindre end ved svag udtørring, hvorimod der ikke var nogen effekt i 1981. Den største reduktion i aktiviteten blev fundet i 3. slætperiode 1982. Det var en periode med meget stor evapotranspiration, og samtidig var vandunderskuddet i jorden inden vanding 50 mm, dvs. 5 mm mere end de øvrige slætperioder. Derfor må planterne i 3. slætperiode formodes at have været forholdsvis mere tørke-stressede. Dette kan muligvis forklare den større reduktion i enzymaktivite-ten.

Efter vanding af de stærkt udtørrede forsøgsled steg enzymaktiviteten ved 175 N hurtigt, allerede dagen efter, jvf. 4. slætperiode 1981, var aktivite-ten betydelig større i de tidligere tørkestressede planter end i de planter, der ikke havde været udsat for tørkestress (kontrolplanterne). Denne aktivi-tetsstigning forløb på samme måde ved 100 N, mens vanding ved 25 N ikke indu-cerede en aktivitetsstigning.

Klorofyl

Klorofylkoncentrationen steg kraftigt med stigende kvælstoftilførsel. Som eksempel er resultater fra 2. slæt 1981 vist i tabel 3. Klorofylkoncentrati-onen steg indtil 175 N, mens stigningen fra 175 N til 250 N ikke var signi-fikant. Der var ca. dobbelt så meget klorofyl ved høj N som ved lav N.

Vandingsfrekvensen synes hverken i de overdækkede markparceller eller i ram-meforsøget at have påvirket klorofylkoncentrationen. I ramme-forsøget var der i gennemsnit hver gang en mindre koncentration ved stærk udtørring, men for-skellen i vandingsniveauerne var ikke signifikant.

I de overdækkede markparceller blev klorofylkoncentrationen ved 25 N mindre i løbet af slætperioden, hvilket sandsynligvis er forårsaget af kvælstofman-gel. Derimod steg klorofylkoncentrationen ved 175 N i begyndelsen og var maksimal midt i slætperioden.

Klorofyl a/b steg ved kvælstofmangel, hvilket ses i tabel 3. Ved ændring af kvælstoftilførslen fra 100 N til 250 N ændredes klorofyl a/b ikke. Det gen-

gennemsnitlige klorofyl a/b var hver gang størst ved stærk udtørring, jvf. tabel 3, men stigningen var ikke signifikant.

Tabel 3. Klorofylkoncentration og klorofyl a/b ved 2. slæt 1981. Rammeforsøg.
Chlorophyll concentration and chlorophyll a/b at 2nd cut 1981. Small plot experiment.

	25 N	100 N	175 N	250 N	LSD	gns./ave.
	mg klorofyl/g tørstof mg chlorophyll/g dry matter					
sv	9,0	12,7	16,2	16,4		13,6
st	8,5	13,0	15,0	15,8		13,1
LSD						n.s.
gns./ave.	8,7	12,9	15,6	16,1	0,9	
	klorofyl a/b chlorophyll a/b					
sv	3,26	3,09	3,09	3,14		3,15
st	3,41	3,24	3,20	3,22		3,26
LSD						n.s.
gns./ave.	3,33	3,16	3,14	3,18	0,10	

Nitratreduktase

Nitratreduktase aktiviteten (NRA) blev i rammeforsøget 1981 målt ved 2., 3. og 4. slæt. Resultaterne er vist i fig. 5 sammen med nitratinholdet og det gennemsnitlige vandunderskud ved slæt for begge udtørningsgrader. Det ses, at nitratinholdet steg med stigende kvælstoftilførsel. Stigningen var især markant, når tilførslen oversteg 100 N. NRA steg ligeledes med stigende kvælstoftilførsel. NRA ved stærk udtørring har ved 2. slæt været større end ved 3. slæt lig med og ved 4. slæt mindre end aktiviteten ved svag udtørring. Kun ved 4. slæt var der et stort vanddeficit (43 mm.) ved stærk udtørring, hvilket muligvis har bevirket, at NRA modsat aktiviteten af RuDPC blev mindre

end ved svag udtørring. Vandingsfrekvensen synes at have påvirket NRA mindst ved det laveste kvælstofniveau.

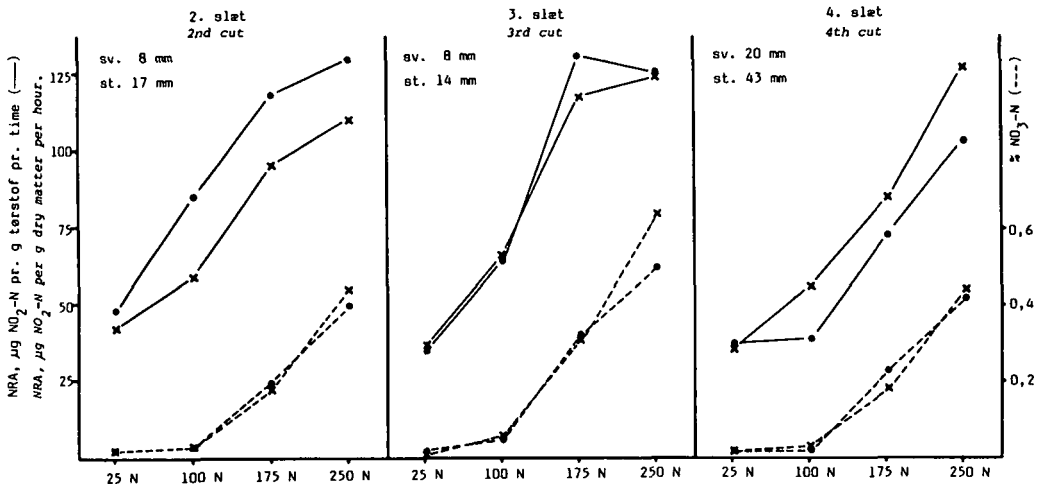


Fig. 5. Nitratreduktase aktivitet, NRA, og nitratindhold i procent af tørstof. Aktuell vanddeficit er angivet på figuren. Rammeforsøg 1981.

Nitrate reductase activity, NRA, and content of nitrate in per cent of dry matter. Actual water deficit is shown at the figure. Small plot experiment, 1981.

- × Svag udtørring, sv. Low water stress, sv.
- Stærk udtørring, st. High water stress, st.

I fig. 6 ses resultaterne ved 175 N i de overdækkede markparceller. Det ses, at i det hyppigt vandede forsøgsled blev aktiviteten ved éngangstilførsel af kvælstof mindre i løbet af slætperioden. Dog med undtagelse af 5. slætperiode hvor NRA steg i begyndelsen.

Ved gødningsvanding var NRA i 2. slætperiode maksimal i midten af slætperioden, hvorimod aktiviteten i 4. slætperiode var maksimal i begyndelsen.

I fig. 7 er NRA i 4. slætperiode 1981 vist. Kvælstofmangel (25 N) har sandsynligvis bevirket, at aktiviteten i en stor del af slætperioden var på et meget lavt niveau. NRA ved 100 N, som blev målt i 1., 3. og 5. slætperiode 1982, var gennem alle slætperioder mindre end ved 175 N.

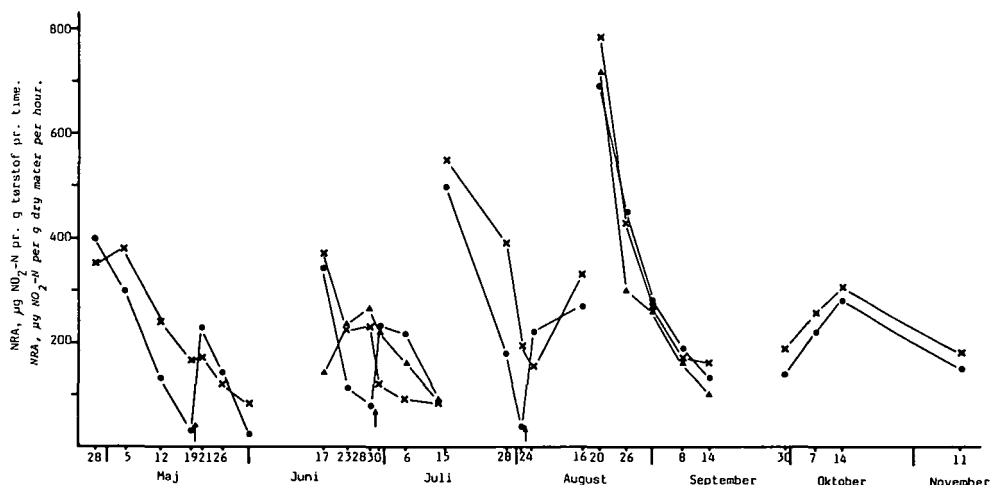


Fig. 6. Nitratreduktase aktivitet, NRA. Overdækkede markparceller, 175 N, 1982.

Vanding ved stærk udtørring er angivet med pile.

Nitrate reductase activity, NRA. Roofed field plots 175 N, 1982. Irrigation at high water stress is shown by arrows.

× Svag udtørring. Low water stress.

● Stærk udtørring. High water stress.

▲ Gødning/vanding ved svag udtørring. Fertigation at low water stress.

Ved større kvælstoftilførsel, 100 N og 175 N, bevirkede udtørring, at aktiviteten blev mindre. Aktiviteten blev påvirket på et relativt tidligt tidspunkt i udtørningsforløbet, jvf. fig. 6. Ved stærk udtørring lige inden vanding blev enzymaktiviteten i gennemsnit reduceret til 27% af aktiviteten i kontrolplanterne. Ved kvælstofmangel (25 N) synes udtørring ikke at have påvirket NRA.

Efter vanding steg NRA kraftigt ved alle kvælstofniveauer, dog var stigningen ved 25 N forholdsvis lille, og efter 3 dage var vandingseffekten forsvundet, jvf. fig. 7. Den kraftige stigning i NRA ved 100 N og 175 N bevirkede, at aktiviteten i de tidligere tørkestressede planter blev betydelig højere end i kontrolplanterne. Denne forskel blev med tiden reduceret, hvilket

sandsynligvis både skyldes en reduktion af vandingseffekten og udvikling af en ny udtørring.

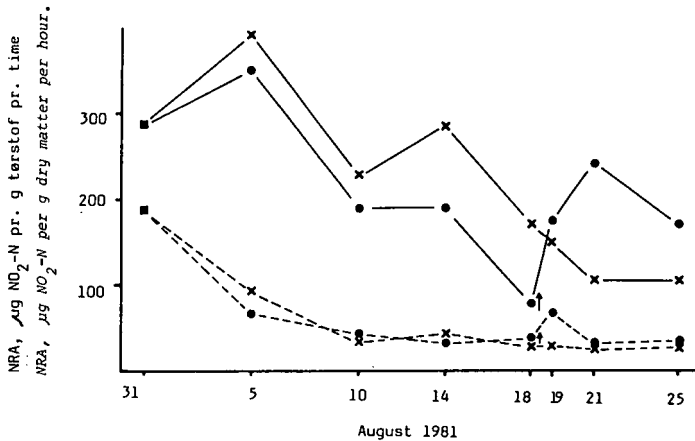


Fig. 7. Nitratreduktaseaktivitet, NRA, ved 25 N (-----) og 175 N (——).

Overdækkede markparceller, 4. slætperiode.

Vanding ved stærk udtørring er angivet med pile på figuren.

Nitrate reductase activity, NRA, at 25 N (-----) and 175 N (——).

Roofed field plots, 4th growth period.

Irrigation at high water stress is shown by arrows.

- × Svag udtørring. Low water stress.
- Stærk udtørring. High water stress.

De indtil nu viste resultater refererer til prøver udtaget kl. 8⁰⁰. Den 29/7 1982 blev der udtaget prøver flere gange i løbet af dagen. Resultaterne ved 175 N er vist i fig. 8a. Stomataresistens for de samme prøvetagningstidspunkter kan ses i tabel 2. Det ses, at aktiviteten aftog i løbet af dagen. Reduktionen var betydelig større ved stærk udtørring, hvor der var et underskud på 45 mm, end ved svag udtørring, hvor underskuddet var 16 mm. Aktivitetsændringerne i løbet af dagen var forholdsvis mindre ved 100 N.

Nitratinhold

Planternes NO_3 -indhold i de overdækkede markparceller ved 175 N er afbildet i fig. 9. Ved éngangstilførsel af kvælstof var NO_3 -indholdet ved svag udtørring i de første 3 slætperioder størst i begyndelsen af slætperioden, mens

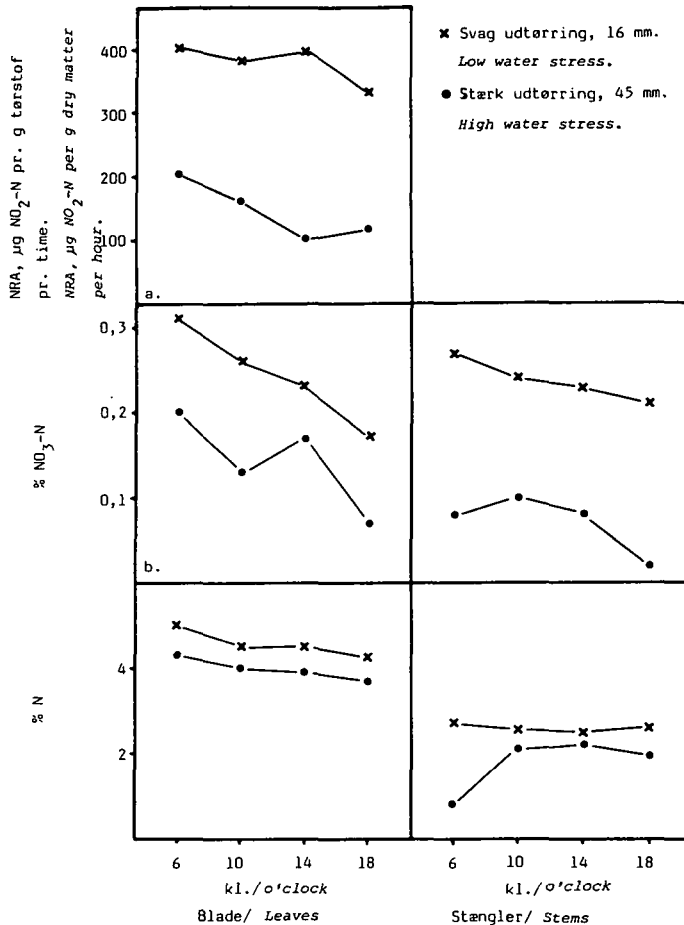


Fig. 8. a. Nitratreduktase aktivitet, NRA, i blade, b. nitratinhold og c. to-talkvælstof i blade og stængler den 29/7 1982 i de overdækkede markparceller, 175 N.

a. Nitrate reductase activity, NRA, in leaves, b. content of nitrate and c. nitrogen in leaves and stems the 29 July 1982 in the roofed field plots, 175 N.

NO_3 -indholdet ved kontinuert gødskning var lille i begyndelsen og maksimal i midten af slætperioden. I 4. og 5. slætperiode var NO_3 -indholdet forholdsvis stort.

Udtørring bevirkede at indholdet af NO_3 blev mindre. Efter vanding steg NO_3 -indholdet. I 2. slætperiode blev denne stigning betydelig større end i 1. og 3. slætperiode.

Foruden gennem vækstperioden ændres NO_3 -indholdet i planterne også i løbet af dagen. I fig. 8b er resultaterne fra den 29/7 1982 indtegnet. Det ses, at NO_3 -indholdet ved stærk udtørring på 45 mm ved hver måling i løbet af dagen var mindre end i kontrolplanterne, og at den største forskel mellem de to udtøringsgrader fandtes i stænglerne.

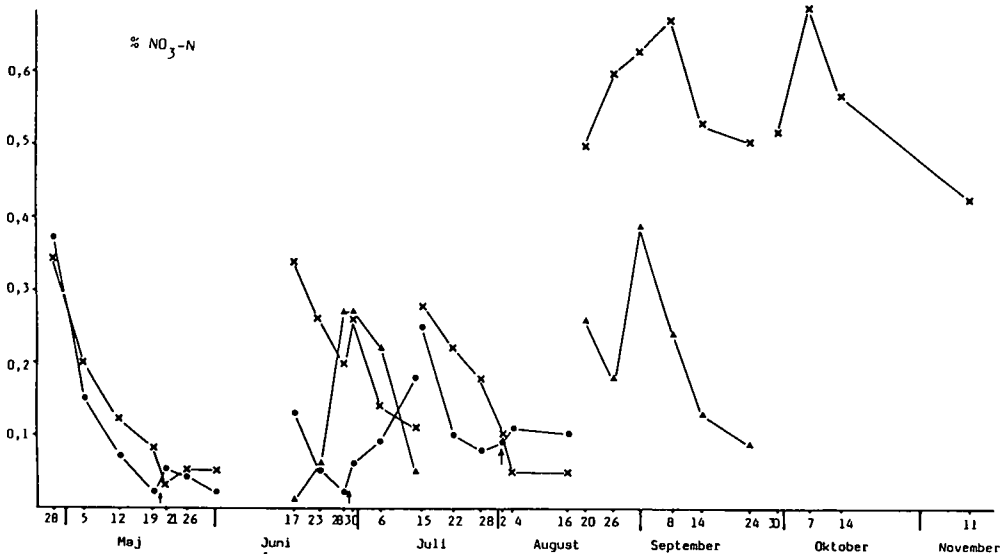


Fig. 9. Nitratindhold i procent af plantetørstof. Overdækkede markparceller 175 N, 1982. Vanding ved stærk udtørring er angivet med pile.
Content of nitrate in per cent of plant dry matter. Roofed field plots 175 N, 1982. Irrigation at high water stress is shown by arrows.

× Svag udtørring. Low water stress.

● Stærk udtørring. High water stress.

▲ Gødningsvanding ved svag udtørring. Fertigation at low water stress.

Generelt faldt NO_3 -indholdet i løbet af dagen. Den største reduktion fandtes i bladene, hvor der også er den største NRA. Selv ved svag udtørring (16 mm) var der et kraftigt fald i NO_3 -indholdet. Ved 100 N var det totale indhold og ændringerne i løbet af dagen betydelig mindre.

Totalkvælstof

I fig. 10 er procent totalkvælstof indtegnet fra de overdækkede markparceller 1982. Det ses, at indholdet ved éngangstilførsel var maksimal i begyndelsen og formindskedes i løbet af slætperioden. Hastigheden, hvormed kvælstofindholdet reduceredes, aftog i løbet af vækstperioden. Ved gødningsvanding var kvælstofprocenten størst i midten af 2. slætperiode, hvorimod den i 4. slætperiode var størst i begyndelsen.

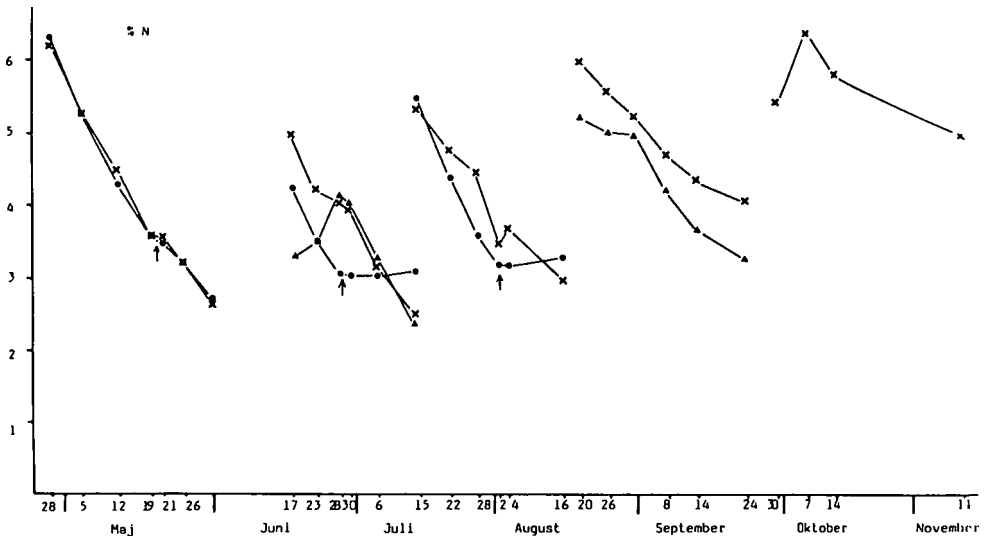


Fig. 10. Planternes kvælstofindhold (total-N). Overdækkede markparceller 175 N, 1982. Vanding ved stærk udtørring er angivet med pile.

Nitrogen content of the plants. Roofed field plots 175 N, 1982. Irrigation at high water stress is shown by arrows.

× Svag udtørring. Low water stress.

• Stærk udtørring. High water stress.

▲ Gødningsvanding ved svag udtørring. Fertigation at low water stress.

Udtørring og vanding påvirkede ikke kvælstofindholdet i 1. slætperiode. I 2. og 3. slætperiode blev indholdet ved udtørring derimod formindsket, og vanding efter udtørring bevirkede en stigning i forhold til kontrolplanterne.

I fig. 18c er totalkvælstof i blade og stængler den 29/7 1982 indtegnet. Ligesom NO_3 -indholdet var indholdet af totalkvælstof mindst ved den store udtørring på 45 mm. Kvælstofprocenten i stænglerne var ca. halv så stor som i bladene. Faldet i kvælstofindholdet i løbet af dagen var i bladene modsat stænglerne større end det, nedgangen i NO_3 -indholdet betingede.

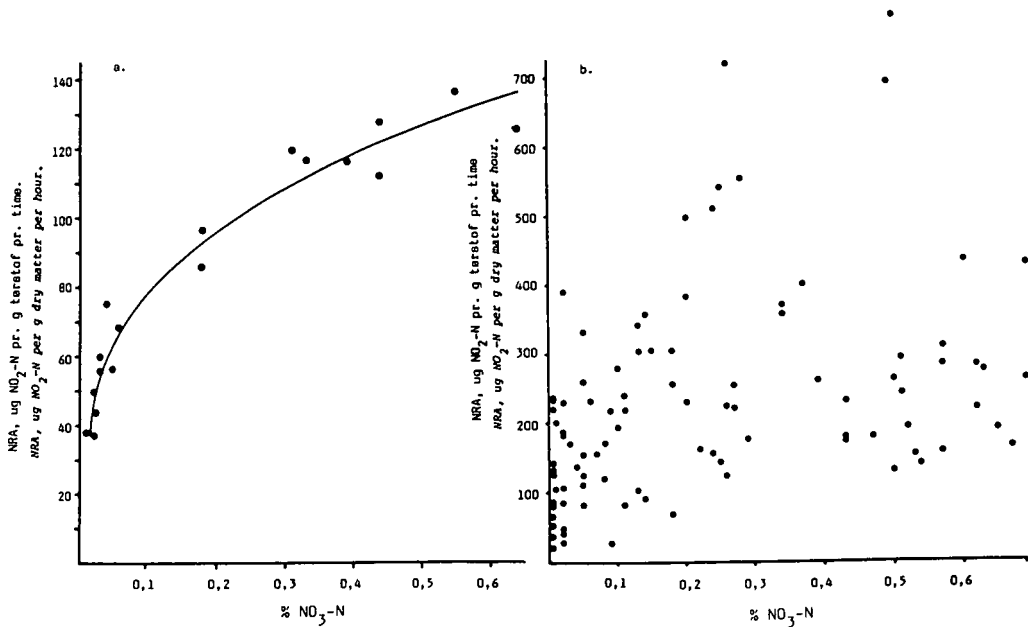


Fig. 11. Nitratreduktase aktivitet, NRA, som funktion af NO_3 -koncentration.

a. Rammeforsøg, 2.-4. slæt 1981, svag udtørring.

b. Overdækkede markparceller, 1982.

Nitrate reductase activity, NRA, as a function of NO_3 -concentration.

a. Small plot experiment, 2nd-4th cut 1981, low water stress.

b. Roofed field plots, 1982.

Nitratreduktaseaktivitet - nitratindhold

I rammeforsøget steg både planterne NO_3 -indhold og nitratreduktaseaktivitet (NRA) ved slæt med stigende kvælstoftilførsel, jvf. fig. 5. I fig. 11a er NRA som funktion af NO_3 -indholdet vist for svag udtørring. Det ses, at NRA steg logaritmisk med stigende NO_3 -indhold. Vandingsfrekvensen påvirkede ikke NRA og NO_3 -indholdet ved slæt på samme måde, jvf. fig. 5, hvorfor der ikke vil være nogen direkte sammenhæng, når vandingsfrekvensen varieres.

I de overdækkede markparceller, hvor der løbende blev taget prøver, var der ingen sammenhæng mellem NRA og NO_3 -indholdet, hverken når tiden eller når både tiden og udtøringsgraden blev varieret. I fig. 11b er alle resultater fra de

Tabel 4. Korrelation mellem tørstofproduktionshastighed og NO_3 -indhold, indhold af totalkvælstof (TN) og aktivitet af nitratreduktase (NRA) og ribulose 1,5 difosfat carboxylase (RuDPCa).

The correlation between rate of dry matter production and NO_3 -content, content of nitrogen and activity of nitrate reductase (NRA) and ribulose 1.5 diphosphate carboxylase (RuDPCa).

Slætperiode Growth period	Korrelationskoefficient Correlation coefficient			
	NRA	RuDPCa	$\text{NO}_3\text{-N}$	TN
1. - 3. 175 N, sv	0,70 ²	0,73 ¹	0,59 ¹	0,55 ¹
1. - 5.	0,77 ³	-	-	-
1. - 3. 100 N + 175 N, sv	0,68 ³	0,55 ¹	0,56 ²	0,50 ¹
1. - 5.	0,74 ³	-	-	-
1. - 3. 175 N, sv + st	0,71 ³	0,55 ¹	0,55 ²	0,53 ²
1. - 3. 100 N+175 N, sv+st	0,71 ³	0,46 ²	0,55 ³	0,51 ³

¹: Signifikant ved 5 pct. ²: Signifikant ved 1 pct. ³: Signifikant ved 0,1 pct.

overdækkede markparceller indtegnet. De forholdsvis mindre værdier af NRA i fig. 11a skyldes, at der her kun er vist resultater fra slæt, som er det tidspunkt, hvor aktiviteten normalt er mindst.

Tørstofproduktion i relation til de undersøgte parametre

I de overdækkede markparceller har det været muligt at sammenligne de undersøgte parametre med hastigheden af tørstofproduktionen. Denne kunne kun beregnes for et tidsforløb, og defineredes som den procentiske forøgelse af tørstofmængden pr. døgn fra én prøveudtagning til den næste. Enzymaktivitetsmålingerne og koncentrationerne af nitrat og totalkvælstof er øjeblikksmålinger, og for at kunne relatere disse til hastigheden af produktionen var det nødvendigt med et udtryk fra tilsvarende tidsinterval. Dette blev opnået ved at beregne gennemsnitsresultatet for de to prøveudtagninger.

I tabel 4 er korrelationskoefficienten angivet for hastigheden af tørstofproduktionen som funktion af de undersøgte parametre. Kun korrelationer med signifikans er angivet. Der er dels udregnet for 1.-3. slætperiode, da denne del af vækstperioden var mest ensartet m.h.t. vækstmåde og klima, og for 1.-5. slætperiode. Hvor udtørningsgraden er med i beregningerne, er der kun udregnet for 1.-3. slætperiode, da vandtilførslen kun blev varieret i denne periode.

Der var kun signifikant positiv korrelation mellem hastigheden af tørstofproduktionen og henholdsvis aktiviteten af RuDPC, NO_3 -indholdet og indholdet af totalkvælstof i den første del af vækstperioden (1.-3. slætperiode). Korrelationskoefficienterne var forholdsvis lave. Kun hvor hverken kvælstof eller vandtilførslen blev varieret var der en forholdsvis tæt korrelation mellem hastigheden af tørstofproduktionen og aktiviteten af RuDPC, $r = 0,73$. Derimod var der i hele vækstperioden (1.-5. slætperiode) en positiv korrelation mellem hastigheden af tørstofproduktionen og NRA. Korrelationskoefficienten var næsten af samme størrelse uanset tidsperiode og uanset variation i kvælstof og/eller vandtilførslen.

Diskussion

Stomataresistens

Klima

Stomataresistensens (SR) størrelse og døgnvariation synes at være klimaaf-

hængig. Ved stor potentiel fordampning var SR således forholdsvis større og steg i løbet af dagen uanset jordens fugtighedsgrad. Ved en lille fordampning steg SR derimod kun ved stærk udtørring, både stigningen og den absolutte størrelse var mindre end ved en stor fordampning. Garwood og Tyson (1975) fandt, at SR i vandede planter ikke steg fra kl. 13⁰⁰ til kl. 16⁰⁰. De har ikke undersøgt klimaafhængigheden. Døgnmålingerne af bladpotentialer viser, at det osmotiske potentiale kun ændres lidt gennem døgnet, mens bladvandpotentialet falder kraftigt, når lysindstrålingen stiger om morgenen, for at stige igen, når lysindstrålingen falder om aftenen, med de laveste værdier midt på dagen (Jensen, 1980, Rawson et al, 1978). SR havde i nærværende undersøgelse normalt en anden døgnvariation, da SR var størst sidst på dagen. Radin og Parker (1979) fandt, at en forøgelse af temperaturen bevirkede, at stomata blev lukket ved et mindre bladvandpotential. Ligeledes bevirker en lavere luftfugtighed (Mansfield & Davies, 1981) og lavere lysintensitet (Garwood & Tyson, 1975) en stigning i SR. Der er ikke mulighed for i nærværende resultater, at adskille effekten af lys, temperatur og luftfugtighed, men kombinationen af disse afspejles i den potentielle fordampning, hvor det blev fundet, at en stigende fordampning bevirkede en stigende SR.

Ved faldende bladvandpotentialer synes der at være en vis tærskelværdi, hvorunder SR stiger kraftigt, når stomata lukkes. Over denne værdi påvirkes SR ikke af bladvandpotentialet. Størrelsen af denne tærskelværdi refereres vidt forskellig. Hsiao (1973) har således givet en oversigt over resultater, hvor tærskelværdien varierer fra -7 til -16 bar. Denne variation skyldes en lang række faktorer. Det kan nævnes, at tærskelværdien er afgrødespecifik (Hsiao, 1973). Tærskelværdien er lavere i planter, der tidligere har været udsat for tørkestress (Simmelsgaard, 1976), i markforsøg frem for væksthushorsøg (Davies, 1977) og som tidligere nævnt ved højere temperatur.

Ligesom ved bladvandpotentialer synes der ved stigende vanddeficit i jorden i nærværende undersøgelse at have været en tærskelværdi, hvorover SR steg kraftigt. Under identiske klima- og vækstforhold iøvrigt, må der forventes en direkte proportionalitet mellem værdier for det kritiske bladvandpotential i bladene og de tilsvarende værdier for potentialer i jordvandet. En række faktorer primært fordampningsbetingelserne komplicerer imidlertid billedet. Turner og Begg (1981) mener ikke, der er nogen direkte relation mellem blad-

vandpotentialiet og jordvandpotentialiet. Garwood og Tyson (1975) har om morgenen og ikke senere på dagen fundet en lineær relation mellem bladvandpotentialiet og aktuel vanddeficit i jorden. Dvs. vanddeficit kan ikke opfattes som et direkte udtryk for bladvandpotentialiet, da de refererede målinger er foretaget mellem kl. 14⁰⁰ og kl. 16⁰⁰. Tærskelværdien for vanddeficit i jorden, for hvilken SR stiger, synes at afhænge af klimaet, ved at en stigende potentiel fordampning har forårsaget en mindre tærskelværdi. Ved en potentiel fordampning på 2-4 mm pr. dag steg SR ved et underskud på ca. 30 mm, hvorimod der ved en fordampning på 0-2 mm pr. dag først fandtes en stigning ved ca. 40 mm underskud.

Kvælstoftilførsel

Kvælstoftilførslen fandtes, uanset udtørningsgrad, ikke at have nogen effekt på SR. Shimshi og Kafkafi (1978) fandt, at SR i hvede var større i planter ved lav end ved høj N. Dette bekræftes også af Radin og Parker (1979), som har fundet, at stomata i bomuld lukker sig ved et mindre bladvandpotentialie ved høj N end ved lav N. Goudriaan og van Keulen (1979) har derimod fundet, at der i majs er en lineær relation mellem SR og nettofotosynteseraten, og denne relation er ens ved forskellig kvælstoftilførsel. Da nettofotosyntesen er større ved høj end ved lav kvælstoftilførsel, vil det sige, at SR er større ved høj end ved lav kvælstoftilførsel. Der er således ikke overensstemmelse mellem de i litteraturen fundne relationer mellem SR og kvælstoftilførslen.

Bladalder

Ved vandmangel var SR i nærværende undersøgelse større i ældre blade end i yngre blade, mens der ingen forskel var i planter velforsynet med vand. Stomata lukkes i hvede ved et mindre (-19 bar) bladvandpotentialie i det yngste blad end i ældre blade, hvor stomata lukkes ved -14 bar i næst yngste blad og ved -7 bar i de ældste blade (Millar & Denmead, 1976). Det osmotiske potentialie mindskes fra basis med de ældre blade til toppen med de yngste blade, dvs. trykpotentialiet er størst i de yngste blade (Turner, 1974). Hvis der er identiske bladvandpotentialer i alle blade, vil stomata ved vandstress først lukkes i ældre blade, hvilket stemmer overens med nærværende resultater.

Lys har en positiv effekt på åbning af stomata, da lys bevirker, at kaliumioner diffunderer ind i løbecellerne (Turner & Begg, 1973). Dette stemmer overens med Garwood og Tyson (1975), som har fundet, at uanset udtørningsgrad er SR mindre i blade med direkte lysindstråling end i skyggeblade, samtidig er bladvandpotentiallet mindre i lysblade end i skyggeblade. Førstnævnte vil også bevirke at ældre blade ofte har en større SR. I dette forsøg har denne lys/skygge påvirkning ikke haft nogen indvirkning på SR målingerne, da disse udelukkende er foretaget på lyseksponerede blade.

Nitratreduktase, ribulose 1,5 difosfat carboxylase, klorofyl og NO_3 -indhold ----- Kvælstoftilførsel

En øget kvælstoftilførsel bevirkede en stigning i klorofylindholdet og i de undersøgte enzymaktiviteter, nitratreduktase (NR) og ribulose 1,5 difosfat carboxylase (RuDPC), i hele slætteperioden. Denne effekt af kvælstoftilførsel er ikke ukendt og bekræftes bl.a. af Barker (1979), Avdeeva og Andreeva (1973) og Johnson et al (1976) med hensyn til henholdsvis klorofylindhold, RuDPC aktivitet og nitratreduktase aktivitet (NRA). Baszynski et al (1972) fandt, at klorofyl a/b steg betydeligt - fra 2,7 til 3,4 - i majs, når planterne blev udsat for kvælstofmangel. I nærværende undersøgelse blev der også konstateret en stigning i klorofyl a/b ved kvælstofmangel, men stigningen var betydelig mindre. Klorofyl b findes hovedsagelig i fotosystem II. Aktiviteten af denne stiger kraftigt i forhold til fotosystem I ved kvælstofmangel (Hall et al, 1972).

Da substratet tilsættes ved aktivitetsmåling af NR, er resultaterne et mål for den potentielle aktivitet. Dvs. enzymaktiviteten er ikke direkte begrænset af den tilstedeværende NO_3 -mængde i planterne. Da enzymaktiviteten er substratinducibelt vil NO_3 -indholdet dog indirekte begrænse enzymaktiviteten. Der var kun en direkte sammenhæng mellem NO_3 -indholdet og NRA, når kvælstoftilførslen var eneste variable. Når vandtilførslen og plantealder også blev varieret, var der ingen sammenhæng. Med hensyn til kvælstoftilførsel bekræftes dette af Pokhriyal et al (1980), som i markforsøg fandt en høj korrelation mellem NRA pr. grønmasse og NO_3 -indholdet i bladene i hvede ved forskellige kvælstoftilførsel og bladalder. Plaut (1973) fandt i vækstrum, som i dette forsøg, at ved variation i jordvandpotentiallet er der ingen sam-

menhæng mellem NRA og NO_3 i planterne. Han konkluderer, at NO_3 -koncentrationen i planterne og NO_3 -optagelsen ikke er en begrænsende faktor for induktionen af NR.

Mange forsøg med NRA i relation til NO_3 -optagelse har peget i retning af 2 NO_3 -pools i planterne. En lille metabolisk pool, som kan inducere NRA og er tilgængelig for reduktion, og en større opmagasinerings pool (Ferrari et al, 1973, Shaner & Boyer, 1976). Når NRA og NO_3 -indholdet ikke altid er snævert korreleret, kan det skyldes en forskellig fordeling mellem de to pools (Srivastava, 1980). Det kan muligvis også skyldes ukontrollable forsøgsbetingelser. I markforsøg modsat f.eks. klimakammerforsøg vil en del klimafaktorer være variable. Sådanne variable vil påvirke både NO_3 -indholdet og NRA. Ligeledes kan man i visse plantearter udtage blade med veldefineret alder og udviklingstrin, som f.eks. Pokhriyal et al (1980), har gjort i deres undersøgelse. I græs i vegetativ fase er det ikke muligt at udtage så veldefinerede prøver.

Tørkestress - vanding

Tørkestress bevirkede en kraftig reduktion i NRA, hvorimod RuDPC aktiviteten var mindre påvirkelig af tørkestress. Klorofylindholdet pr. tørstofenhed og klorofyl a/b blev ikke ændret af varierende vandtilførsel. Da tørstofprocenten er størst ved stærk udtørring, kan klorofylindholdet pr. enhed friskvægt her være betydelig større end ved svag udtørring, hvilket muligvis er årsag til, at tørkestressede planter kan synes mørkere end ikke tørkestressede. NRA reduceredes allerede ved et forholdsvis lille vanddeficit, hvilket bekræftes af Morilla et al (1973) og Plaut (1973), som fandt at NRA reduceredes, når bladvandpotentiallet blev mindre end henholdsvis -2 og -3 bar. At RuDPC aktiviteten kan reduceres ved tørke bekræftes af Johnson et al (1974), som har fundet en lineær relation mellem RuDPC aktiviteten og bladvandpotentiallet i fanebladet i byg og hvede.

NR synes at være mere tørkefølsom end mange andre enzymer. Det er således fundet, at NR er mere tørkefølsom end f.eks. NO_2 -reduktase (Heuer et al, 1979), NADH-oxidase og PAL (Bardzik et al, 1971). Ligeledes har Huffaker et al (1970) som i nærværende undersøgelse fundet, at RuDPC er mindre tørkefølsom end NR.

Vanding efter stærk udtørring bevirkede en kraftig stigning i de 2 målte enzymaktiviteter, når kvælstoftilførslen ikke var begrænsende. Herved blev enzymaktiviteten i en periode efter vanding ofte højere end i kontrolplanterne. I denne periode var den procentiske produktionsstigning også større end i kontrolplanterne (Søegaard, 1984 I). Bardzik et al (1971) fandt ligeledes, at NRA i majs dyrket i vermiculit steg efter rehydrering, men aktiviteten blev ikke større end i kontrolplanterne. Aparicio-Tejo og Sánchez - Diaz (1982) fandt, at NRA steg kraftigt i lucerne efter vanding, her var der desværre ingen målinger i kontrolplanterne.

Aktiviteten af RuDPC ved slæt var størst ved stærk udtørring uafhængig af aktuel vanddeficit. Dette må skyldes kombination af en forholdsvis lille tørkefølsomhed og en stor følsomhed over for vanding efter tørke. Derimod synes NRA ved slæt at være afhængig af det aktuelle vanddeficit, hvilket også må forventes p.g.a. enzymets store tørkefølsomhed.

Døgnvariation

Bowerman og Goodman (1971) og Larsen (1973) har fundet, at NRA følger lysintensiteten og er således maksimal midt på dagen. Harris og Whittington (1981) fandt imidlertid, at NRA bliver mindre i løbet af dagen. Dette bekræfter nærværende undersøgelse, hvor NRA og NO_3 -indholdet blev mindre i løbet af dagen, og den største reduktion var at finde ved stærk udtørring. Bowerman og Goodman (1971) fandt imidlertid ikke nogen ændring af betydning i NO_3 -indholdet i rajgræs dyrket i klimakammer. Dette kan muligvis være årsag til, at NRA fulgte lysintensiteten, da NRA ikke er blevet begrænset af et faldende NO_3 -indhold.

Tørstofproduktion

Der er ofte fundet en tæt korrelation mellem nettofotosyntesen og henholdsvis NRA (Johnson et al, 1976, Wickremasinghe et al, 1980) og RuDPC aktiviteten (Eagles & Treharne, 1969), når kvælstof er den eneste variable. Ligeledes er der, når vandtilførslen varieres, fundet en god korrelation mellem nettofotosynteseraten og RuDPC aktiviteten (O'Toole et al, 1977). Der mangler imidlertid i litteraturen informationer om påvirkningen af enzymaktiviteten, når både kvælstof og vandtilførslen varieres.

I nærværende forsøg blev der fundet en tæt korrelation mellem hastigheden af tørstofproduktionen og NRA samt mellem hastigheden af tørstofproduktionen og aktiviteten af RuDPC i den første del af vækstperioden, når vand og kvælstoftilførslen ikke blev varieret. Variationen i hastigheden af tørstofproduktionen var for 50% vedkommende forbundet med variation i NRA.

Restvariationen kan bl.a. være et resultat af klimaændringer og plantealder. Den totale enzymaktivitet er afhængig af bladarealet. Da bladprocenten ved slæt er mindst i begyndelsen og bliver større senere i vækstperioden (Søegaard, 1984 I), og da produktionen er større i den reproduktive end i den vegetative vækstfase (Leafe, 1978), må nettofotosyntesen og dermed enzymaktiviteten være betydelig større pr. bladareal i de første slæt. Ligeledes har den form, hvorved kvælstoffet optages betydning for nitratinholdet og for NRA (Jung et al, 1980).

Konklusion

Ved vanding efter udtørring blev planterne ved tilstrækkelig næringsstofftilførsel særdeles aktive, både med hensyn til enzymaktivitet og optagelse af kvælstof. Hastigheden af tørstofproduktionen blev også større end i kontrolplanterne (Søegaard, 1984 I). På denne måde kompenseres delvis for nedgangen i tørstofproduktionen under det tidligere tørkestress.

Planternes kemiske sammensætning, enzymaktivitet og stomataresistens/transpiration kan ændres kraftigt i løbet af dagen. Det er derfor nødvendigt med et veldefineret prøveudtagningetidspunkt.

Det aktuelle vanddeficit i jorden, hvor stomataresistensen steg kraftigt, steg ved faldende potentiel fordampning. Stomata lukkes således ved et mindre vanddeficit, når den potentielle fordampning er stor. Det blev således også i rammeforsøget fundet, at merudbyttet for hyppigere vanding blev større ved stigende potentiel fordampning (Søegaard, 1984 I).

Både klimates indvirkning på effekten af tørkestress og planternes forøgede aktivitet efter vanding er vigtige faktorer, som påvirker udnyttelse af vandingsvandet.

Erkendtlighed

Projektet har økonomisk været baseret på bevillinger fra Statens Jordbrugs- og

Veterinærvidenskabelige Forskningsråd.

Litteratur

- Aparicio-Tejo, P. & Sánchez-Díaz, M** (1982): Nodule and leaf nitrate reductases and nitrogen fixation in *Medicago sativa* L. under water stress. *Plant Physiol.* 69, 479-482.
- Aslam, M., Huffaker, R.C. & Travis, R.L.** (1973): The interaction of respiration and photosynthesis in induction of nitrate reductase activity. *Plant Physiol.* 52, 137-141.
- Atkins, C.A., Pate, J.S. & Layzell, D. B.** (1979): Assimilation and transport of nitrogen in nonnodulated (NO_3 -grown) *Lupinus albus* L. *Plant Physiol.* 64, 1078-1082.
- Avdeeva, T.A. & Andreeva, T.F.** (1973): Nitrogen nutrition and activities of CO_2 -fixing enzymes and glyceraldehyde phosphate dehydrogenase in broad bean and maize. *Photosynthetica* 7, 140-145.
- Bardzik, J.M., Marsh, H.V. & Havis, J.R.** (1971): Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. *Plant Physiol.* 47, 828-831.
- Barker, A.V.** (1979): Nutritional factors in photosynthesis of higher plants. *Journal of Plant Nutrition* 1, 309-342.
- Bassham, J.A. & Krause, G.H.** (1969): Free energy changes and metabolic regulation in steady-state photosynthetic carbon reduction. *Biochim. Biophys. Acta* 189, 207-221.
- Baszynski, T., Brand, J., Barr, R., Krogmann, D.W. & Crane, F.L.** (1972): Some biochemical characteristics of chloroplasts from mineral-deficient maize. *Plant Physiol.* 50, 410-411.
- Beevers, L. & Hageman R.H.** (1969): Nitrate reduction in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 20, 495-522.
- Begg, J.E. & Turner, N.C.** (1976): Crop water deficits. *Adv. in Agron.* 28, 161-217.
- Bowerman, A. & Goodman, P.J.** (1971): Variation in nitrate reductase activity in *Lolium*. *Ann. Bot.* 35, 353-366.
- Boyer, J.S.** (1970): Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiol.* 46, 236-239.

- Chollet, R. & Ogren, W.L. (1975): Regulation of photorespiration in C_3 and C_4 species. *The Botanical Review* 41, 137-179.
- Davies, W.J. (1977): Stomatal responses to water stress and light in plants grown in controlled environments and in the field. *Crop Science* 17, 735-740.
- Deane-Drummond, C.E., Clarkson, D.T. & Johnson, C.B. (1980): The effect of differential root and shoot temperature on the nitrate reductase activity, assayed in vivo and in vitro in roots of *Hordeum vulgare* (barley). *Planta* 148, 455-461.
- Eagles, C.F. & Treharne, K.J. (1969): Photosynthetic activity of *Dactylis glomerata* L. in different light regimes. *Photosynthetica* 3, 29-38.
- Ferrari, T.E. Yoder, O.C. & Filner, P. (1973): Anaerobic nitrite production by plant cells and tissues: Evidence for two nitrate pools. *Plant Physiol.* 51, 423-431.
- Friedrich, J.W., Chemical, A., Ny, S. & Huffaker, R.C. (1980): Stomatal resistance and ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase as determinants of photosynthesis. *Agronomy Abstracts*, 81.
- Garwood, E.A. & Tyson, K.C. (1975): The response of S24 perennial ryegrass swards to irrigation. 2. Variation in soil - and plant - water status. *J. Br. Grassld Soc.* 30, 51-62.
- Goodman, P.J., Fothergill, M. & Hughes, D.M. (1974): Variation in nitrate reductase, nitrite, and nitrite reductase in some grasses and cereals. *Ann. Bot.* 38, 31-37.
- Goudriaan, J. & van Keulen, H. (1979): The direct and indirect effects of nitrogen shortage on photosynthesis and transpiration in maize and sunflower. *Neth. J. agric. Sci.* 27, 227-234.
- Hall, J.D., Barr, R., Al-Abbas, A.H. & Crane, F.L. (1972): The ultrastructure of chloroplasts in mineral-deficit maize leaves. *Plant Physiol.* 50, 404-409.
- Hansen, G.K. (1974): Resistance to water flown in soil and plants, plant water status, stomatal resistance and transpiration of italian ryegrass, as influenced by transpiration demand and soil water depletion. *Acta Agric. Scand.* 24, 83-92.
- Harris, P. & Whittington, W.J. (1981): Nitrate reductase and growth of ag-

- rostis species. British Grassland Society. Occ. Symp. No 13, 235-237.
- Heuer, B., Plaut, Z. & Federman, E. (1979): Nitrate and nitrite reduction in wheat leaves as affected by different types of water stress. *Physiol. Plant.* 46, 318-323.
- Hsiao, T.C. (1973): Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24, 519-570.
- Huffaker, R.C. & Peterson, L.W. (1974): Protein turnover in plants and possible means of its regulation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 25, 363-392.
- Huffaker, R.C., Radin, T., Kleinkopf, G.E. & Cox, E.L. (1970): Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. *Crop Science* 10, 471-474.
- Hunter, W.J., Fahring, C.J., Olsen, S.R. & Porter, L.K. (1982): Location of nitrate reduction in different soybean cultivars. *Crop Science* 22, 944-948.
- Jensen, H.E. (1980): Afgrødeproduktion og -kvalitet, lysenergi- og vandudnyttelse, nitrogenbalance og -transport i relation til nitrogen-og vandstatus. Eksperimentelle studier med *Lolium perenne*. Dissertation, 373 pp.
- Johnson, R.R., Frey, N.M. & Moss, D.N. (1974): Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. *Crop Science* 14, 728-731.
- Johnson, C.B., Wittington, W.J. & Blackwood, G.C. (1976): Nitrate reductase as a possible predictive test of crop yield. *Nature* 262, 133-134.
- Jones, M.B., Leafe, E.L. & Stiles, W. (1980): Water stress in field-grown perennial ryegrass. II. Its effect on leaf water status, stomatal resistance and leaf morphology. *Ann. appl. Biol.* 96, 103-110.
- Jones, R.W. & Sheard, R.W. (1977): Conditions affecting in vivo nitrate reductase activity in chlorophyllous tissues. *Can. J. Bot.* 55, 896-901.
- Jordan, D.B. & Ogren, W.L. (1981): Species variation in the specificity of ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase. *Nature* 291, 513-515.
- Jung, Von J., Dressel, J. & Umlauf, J. (1980): Nitratreduktaseaktivität als Indikator für den Stickstoffversorgungsgrad der Pflanzen. *Landwitsch. Forsch.* 33, 136-143.
- Kawashima, N. & Wildman, S.G. (1970): Fraction I Protein. *Ann. Rev. Plant*

- Physiol. 21, 325-358.
- Larsen, F.** (1973): Nitrate i grønsager. Ugeskrift for agronomer og hortonomer 9, 164-171.
- Leafe, E.L.** (1978): Physiological, environmental and management factors of importance to maximum yield of the grass crop. Prod. Symp.: Maximising yields of crops, 37-49.
- Mansfield, T.A. & Davies W.J.** (1981): Stomata and stomatal mechanisms. I.L.G. Paleg & D. Aspinall: The physiology and biochemistry of drought resistance in plants, 315-346.
- Millar, B.D. & Denmead, O.T.** (1976): Water relations of wheat leaves in the field. Agron. J. 68, 303-307.
- Morilla, C.A., Boyer, J.S. & Hageman, R.H.** (1973): Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn (*Zea mays* L.) having low leaf water potentials. Plant Physiol. 51, 817-824.
- Ogawa, T. & Shibata, K.** (1965): A sensitive method for determining chlorophyll b in plant extracts. Photochem. and Photobiol. 4, 193-200.
- O'Toole, J.C., Ozburn, J.L. & Wallance, D.H.** (1977): Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris*. Physiol. Plant. 40, 111-114.
- Paulsen, J.M. & Lane, M.D.** (1966): Spinach ribulose diphosphate carboxylase. I. Purification and properties of the enzyme. Biochemistry 5, 2350-2357.
- Peterson, L.W., Kleinkopf, G.E. & Huffaker, R.C.** (1973): Evidence for lack of turnover of ribulose 1,5-diphosphate carboxylase in barley leaves. Plant Physiol. 51, 1042-1045.
- Plaut, Z.** (1973): The effect of soil moisture tension and nitrogen supply on nitrate reduction and accumulation in wheat seedlings. Plant and Soil 38, 81-94.
- Pokhriyal, T.C., Sachdev, M.S., Grover, H.L., Arora, R.P. & Abrol, Y.P.** (1980): Nitrate assimilation in leaf blades of wheat of different age. Physiol. Plant. 48, 477-481.
- Radin, J.W. & Parker, L.L.** (1979): Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. II. Environmental interactions on stomata. Plant Physiol. 64, 499-501.
- Rawson, H.M., Turner, N.C. & Begg, J.E.** (1978): Agronomic and physiological

- responses of soybean and sorghum crops to water deficits IV. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves. Aust. J. Plant Physiol. 5, 195-209.
- Ruffy, Jr., T.W., Volk, R.J., McClure, P.R., Israel, D.W. & Raper, Jr., C.D. (1982): Relative content of NO_3^- and reduced N in xylem exudate as an indicator of root reduction of concurrently absorbed $^{15}\text{NO}_3^-$. Plant Physiol. 69, 166-170.
- Shaner, D.L. & Boyer, J.S. (1976): Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. I. Regulation by nitrate flux. Plant Physiol. 58, 499-504
- Shimshi, D. & Kafkafi, V. (1978): The effect of supplemental irrigation and nitrogen fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.). Irrigation Science 1, 27-38.
- Simmelsgaard, S.E. (1976): Adaptation to water stress in wheat. Physiol. Plant. 37, 167-174.
- Srivastava, H.S. (1980): Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. Phytochemistry 19, 725-733.
- Søegaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. I. Planteproduktion, vandudnyttelse, jordtemperatur og morfologisk udvikling ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl 5 1704a.
- Søegaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. II. Planternes kemiske sammensætning ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl 5 1704b.
- Turner, N.C. (1974): Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. Plant Physiol. 53, 360-365.
- Turner, N.C. & Begg, J.E. (1973): Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. I. At high soil water potential. Plant Physiol. 51, 31-36.
- Turner, N.C. & Begg, J.E. (1981): Plant-water relations and adaptation to stress. Plant and soil 58, 97-131.
- Wickremasinghe, R.L., Fernando, V. & Ekanayake, A. (1980): Nitrate reductase of tea as an indicator of yield and of effect of mulching material. Plant and Soil 55, 3-7.

VAND OG KVÆLSTOF TIL ALMINDELIG RAJGRÆS.

IV. MARKFORSØG MED GRÆS I RENBESTAND OG IBLANDET HVIDKLØVER.

Application of water and nitrogen to perennial ryegrass.

IV. Field experiment in pure sward and mixed sward with white clover:Indholdsfortegnelse

	side
Resumé.....	115
Summary.....	116
Indledning.....	116
Metodik.....	117
Resultater.....	117
Udbytte.....	117
Stubhøjde.....	121
Kløverprocent.....	122
Kvælstof.....	124
Planternes kemiske sammensætning.....	126
Diskussion.....	129
Overdækket ramme-forsøg - mark-forsøg.....	131
Konklusion.....	131
Erkendtlighed.....	132
Litteratur.....	132

Resumé

I årene 1980-82 gennemførtes forsøg på grovsandet jord med forskellig vand og kvælstoftilførsel. Tørstofudbyttet var større ved vanding til markkapacitet ved 25 mm underskud end ved 45 mm. Stigningen var i gennemsnit 4 pct. i græs og 14 pct. i kløvergræs. Kløverprocenten faldt med stigende udtørningsgrad, og faldet var forholdsvis større med stigende kvælstoftilførsel.

I kløvergræs blev der ved lav kvælstoftilførsel (25 kg N pr. ha pr. slæt) høstet mere græstørstof (14 hkg/ha) end i græs i renbestand. Ved samme kvælstofniveau var den høstede kvælstofmængde ca. 200 kg større pr. ha i kløvergræs end i græs.

Uafhængigt af udtørningsgraden var der en positiv korrelation mellem tørstofudbyttet og træstofprocenten, mens der kun i græs var en negativ korrelation mellem tørstofudbyttet og kvælstofkoncentration.

Nøgleord: Almindelig rajgræs, kløvergræs, vandingfrekvens, kvælstof.

Summary

Experiments were carried out over the period 1980-82 on sandy soil with different water and nitrogen application. The dry matter yield was greater with irrigation to field capacity at 25 mm deficit than at 45 mm. The increase was on average 4 % in pure swards and 14 % in mixed swards. The per cent of clover decreased with increasing water deficit, and the decrease was relatively greater with increasing nitrogen application.

In mixed swards with low nitrogen application (25 kg N per ha per cut) more grass dry matter (14 hkg/ha) was harvested than in pure swards. At the same nitrogen level the harvested amount of nitrogen was c. 200 kg per ha greater in mixed than in pure swards.

With increasing water deficit the percentage content of potassium and phosphorous decreased in both pure and mixed swards. In mixed swards the content of calcium and magnesium decreased likewise, while the content of calcium increased and the content of magnesium was constant in pure swards.

There was a positiv correlation, independent of the water deficit, between the dry matter yield and the content of crude fibre. However, there was a negative correlation between the dry matter yield and the content of nitrogen only in pure swards.

Key words: Perennial ryegrass, grass/clover, irrigation frequency, nitrogen.

Indledning

Der blev i 1980-1982 udført grundlæggende undersøgelser med forskellig vand og kvælstoftilførsel i alm. rajgræs, hvor vandtilførslen blev kontrolleret ved hjælp af overdækninger. Forsøgsresultater fra dette er beskrevet af Søegaard (1984 I, 1984 II og 1984 III).

Nogle af forsøgsbehandlingerne fra de kontrollerede forsøg blev yderligere gennemført som almindelig markforsøg. Alm. rajgræs i renbestand blev her sammenlignet med alm. rajgræs i blanding med hvidkløver.

Metodik

Vanding

Der blev vandet til markkapacitet ved udtørningsgraderne:

m: Middel udtørring. :0,85 bar i 15 cm
 dybde, hvilket svarer til ca. 25 mm underkud
 st: Stærk udtørring. 45 mm underskud..

Gødskning

Gødningsniveauerne i kg pr. ha pr. slæt:

	N	P	K
0 N:	0	10	50
25 N:	25	13	67
50 N:	50	16	84
100 N:	100	19	100
175 N:	175	22	117

Kløvergræs: 0 N, 25 N, 50 N og 100 N.

Græs: 25 N, 100 N og 175 N.

Som kvælstofgødning blev anvendt kalkammonsalpeter. Hvert forår blev der tilført 45 kg Mg pr. ha.

I 1980 var der ikke forsøg med kløvergræs. Ligeledes blev 25 N i græs udeladt i 1980 og 100 N i kløvergræs i 1981.

Kløverprocenten ved slæt blev bestemt ved at udtage ca. 300 g plantemateriale efter høst. Dette blev adskilt i græs og kløver, som derefter blev tørret til konstant vægt ved 80 °C. Der blev lavet 4 gentagelser pr. led.

ResultaterUdbytte

Tørstofudbyttet for hele vækstperioden er vist i tabel 1. I 1981 blev der på grund af hurtigere vækst taget 5 slæt. Der blev kun høstet 4 slæt i de øvrige

Tabel 1. Tørstofudbytte i hkg/ha. *Dry matter yield in hkg/ha.*

Græs/Grass	25 N	100 N	175 N	LSD	Gns./Ave.	
1980 m		142,6	144,0		143,3	
st		134,6	137,8		136,2	
LSD					2,6	
Gns./Ave.		138,1	140,9	n.s.		
1981 m	46,3	144,1	166,9		119,1	
st	40,1	141,8	157,4		113,1	
LSD					3,6	
Gns./Ave.	43,2	143,0	162,2	4,8		
1982 m	51,8	111,3	119,3		94,1	
st	48,8	111,3	120,4		93,5	
LSD					n.s.	
Gns./Ave.	50,3	111,3	119,9	6,9		
Kløvergræs						
Grass/clover	0 N	25 N	50 N	100 N	LSD	Gns./Ave.
1981 m	84,9	101,8	111,3			99,3
st	75,1	90,0	97,3			87,5
LSD						3,6
Gns./Ave.	80,0	95,9	104,3		4,4	
1982 m	90,3	115,2	122,1	131,4		114,7
st	76,4	96,2	106,8	120,0		99,9
LSD						6,5
Gns./Ave.	83,4	105,7	114,5	125,7	9,2	

m: Middel udtørningsgrad. *Medium water stress.*st: Stærk udtørningsgrad. *High water stress.*

Kvælstofniveauerne er angivet i kg N pr. ha pr. slæt.

Nitrogen levels are given in kg N per ha per cut.

forsøgsår. I fig. 1 er vandingernes tidsmæssige placering samt den potentielle fordampning vist. Med undtagelse af græs 1982 steg tørstofudbyttet signifikant ved hyppigere vanding. Udbyttetigningen var forholdsvis størst i kløvergræs. Der var således her en gennemsnitlig stigning på 14 pct., mens der i ren græs kun var 4 pct.

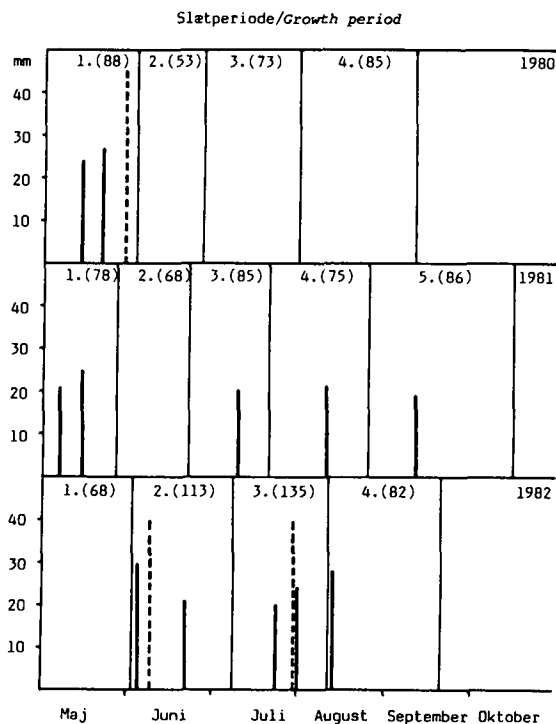


Fig. 1. Mængder af vandingsvand ved middel (—) og stærk (---) ud-tørringsgrad. Den potentielle fordampning (mm) summeret for hele slætperioden er angivet i parentes.

The amount of irrigation water at medium (—) and high (---) water stress. The potential evapotranspiration (mm) added for the whole growth period is shown in parentheses.

Tørstofudbyttet i de enkelte slæt ses i tabel 2. I tabellen er mængden af vandingsvand pr. slæt også angivet. Der blev i 1980 kun vandet i 1. slætperiode.

Tabel 2. Tørstofudbytte og vandtilførsel. Gennemsnit af kvælstofniveauer.

Dry matter yield and water application. Average of nitrogen levels.

	1. slæt 1st cut	2. slæt 2nd cut	3. slæt 3rd cut	4. slæt 4th cut	5. slæt 5th cut
<u>Græs/Grass</u>	hkg/ha				
<u>1980</u> m	54,7	22,7	37,2	28,7	
st	37,4	34,1	33,5	31,2	
LSD	2,2	2,2	1,8	n.s.	
<u>1981</u> m	29,8	25,0	23,2	23,6	17,5
st	21,7	32,8	20,9	20,4	17,3
LSD	2,0	1,5	1,5	1,2	n.s.
<u>1982</u> m	38,0	30,2	11,3	14,6	
st	37,8	25,7	10,8	19,1	
LSD	n.s.	2,0	n.s.	1,9	
<u>Kløvergræs Grass/clover</u>					
<u>1981</u> m	16,1	25,8	21,1	22,1	14,2
st	9,6	28,0	20,1	17,5	12,2
LSD	1,7	1,9	n.s.	1,2	n.s.
<u>1982</u> m	32,5	32,2	26,3	23,7	
st	32,3	25,3	17,5	24,8	
LSD	n.s.	2,1	4,7	n.s.	
	<u>Vandtilførsel, mm, Water application, mm</u>				
<u>1980</u> m	51	0	0	0	
st	45	0	0	0	
<u>1981</u> m	46	0	20	21	19
st	0	0	0	0	0
<u>1982</u> m	0	51	69	28	
st	0	40	40	0	

Vanding ved stærkt udtørring blev først foretaget kort før slæt, jvf. fig. 1. Vanding ved middel udtørring gav her et merudbytte på 17,3 hkg tørstof i græs sammenlignet med vanding ved stærkt udtørring. Dette gav i 2. slæt en kraftig eftervirkning, idet genvæksten ved middel udtørring var synligt dårligere end ved stærkt udtørring. Den dårligere genvækst skyldes især en reduktion i skudantallet. Ved høj kvælstoftilførsel kunne der endog forekomme områder helt uden grønne skud. Det bevirkede, at der blev høstet 11,4 hkg mere ved stærkt end ved middel udtørring. Den plantetilgængelige kvælstofmængde ($\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$) i pløjelaget var ved 1. slæt ca. 5 kg større ved stærkt end ved middel udtørring. Dette udgør kun en lille del af den tilførte kvælstofmængde og kan derfor kun have haft ringe indvirkning på udbyttet i 2. slæt. I 3. slæt var der en lille eftervirkning af forskellen i 2. slæt. Der blev her høstet 3,7 hkg mere ved middel end ved stærkt udtørring. I 4. slæt var der en lille og ikke signifikant forskel mellem udtørningsgraderne.

Merudbyttet i 1. slæt på 17,4 hkg blev på grund af den kraftige eftervirkning reduceret til 7,1 hkg for hele vækstperioden. Tilsvarende kunne for 1. og 2. slæt iagttages i 1981. Et merudbytte i 1. slæt på 8,1 hkg blev reduceret til 6,0 hkg for hele vækstperioden, selv om der i 1981 blev vandet ved middel udtørring i 3.-5. slæt.

I kløvergræs var der ligeledes en eftervirkning, som dog var betydelig mindre end i græs. I 1981 var der f. eks. et merudbytte på 6,5 hkg i 1. slæt for vanding ved middel udtørring. For hele vækstperioden var merudbyttet større (11,8 hkg) og ikke som i græs mindre end i 1. slæt.

I 3. slæt 1982 blev udbyttet i græs modsat kløvergræs meget lavt. I 3. slætperiode var den potentielle fordampning meget høj (3,9 mm/dag).

Stubhøjde

I 1981 og 1982 blev stubhøjden i græs i renbestand varieret ved middel udtørningsgrad, 100 N og 175 N. Tørstofudbyttet for hele vækstperioden ses i tabel 3. Det øvrige forsøg blev høstet med en stubhøjde på 7 cm.

Resultaterne fra 1982 kan ikke umiddelbart sammenlignes med resultater i tabel 1, da forsøget med stubhøjde ikke var placeret i sammenhæng med det øvrige forsøg. Det ses, at det højeste udbytte ved begge kvælstofniveauer fandtes ved den laveste stubhøjde. De fleste forskelle var dog ikke signifi-

kante.

I 1. slæt gav den lavere stubhøjde i gennemsnit 9,2 hkg større tørstofudbytte. Ved den højere stub blev dette ikke opvejet af en bedre genvækst og dermed større tørstofproduktion senere i vækstperioden. Udbyttet i 2. slæt var dog i gennemsnit 2,3 hkg større ved den højeste stub.

Tabel 3. Tørstofudbytte ved forskellig stubhøjde i græs (hkg/ha).

Dry matter yield at different stubble height in grass (hkg/ha).

Stubhøjde			
<i>Stubble height</i>		100 N	175 N
7 cm	1981	144,1	166,9
10 cm		140,4	153,0
LSD		n.s.	1,3
7 cm	1982	124,1	128,5
10 cm		115,4	126,3
LSD		n.s.	n.s.

Kløverprocent

Kløverprocenten i 1982 er vist i tabel 4. At tabellen ses, at kløverprocenten faldt kraftigt med stigende kvælstoftilførsel. Kløverprocenten var forholdsvis lav i 1. slæt og steg generelt gennem vækstperioden ved alle kvælstofniveauer. I 1981 blev kløverprocenten målt i 3.-5. slæt. Her var kløverprocenten af samme størrelsesorden ved 0 N, men var betydelig mindre ved de øvrige kvælstofniveauer. Ved 50 N var der således kun ca. 14 % kløver ved 3. og 9 % ved 4. slæt. I 2. slætperiode 1982, som var den første slætperiode med vanding, havde udtørningsgraden ringe og ikke signifikant indvirkning på kløverprocenten. I 3. slætperiode var kløverprocenten betydelig større ved middel end ved stærk udtørring. Her var den potentielle fordampning noget større (3,9 mm/dag) end i 2. slætperiode (3,2 mm/dag). Denne forskel blev også fundet i 4. slæt, selv om den gennemsnitlige potentielle fordampning var forholdsvis lav (2,1 mm/dag). I 3. og 4. slæt steg forskellen mellem middel og stærk udtørningsgrad kraftigt med stigende kvælstoftilførsel. Denne veksel-

virkning var signifikant i 4. slæt.

Når kløverprocenten kendes, kan tørstofmængden af henholdsvis græs og kløver beregnes. Ved 25 N blev der i kløvergræs ved begge udtørningsgrader høstet en større mængde græs end ved græs i renbestand.

Label 4. Kløvertørstof i procent af totaltørstof, 1982.

Dry matter of clover in per cent of total dry matter, 1982.

Kløverprocent, <i>Clover per cent</i>						
1. slæt	0 N	25 N	50 N	100 N	LSD	Gns./Ave.
<i>1st cut</i>						
m	64,5	19,0	19,0	8,8		27,9
st	67,6	19,5	17,3	9,8		28,6
LSD						n.s.
Gns./Ave.	66,1	19,2	18,2	9,3	5,2	

2. slæt

2nd cut

m	81,8	30,8	26,2	13,6		37,9
st	76,6	24,3	28,2	16,9		36,5
LSD						n.s.
Gns./Ave.	79,2	27,2	27,2	15,2	6,2	

3. slæt

3rd cut

m	86,8	62,4	45,3	21,3		53,9
st	84,8	49,6	30,2	11,6		44,0
LSD						3,4
Gns./Ave.	85,8	56,0	37,7	16,5	4,8	

4. slæt

4th cut

m	78,4	67,2	46,3	38,5		57,6
st	80,2	60,1	36,7	19,6		49,1
LSD						4,2
Gns./Ave.	79,3	63,6	41,5	29,1	5,9	

Der blev således i 1982 ved middel udtørningsgrad høstet 66 hkg tørstof af græs i kløvergræs, mens der i renbestand kun blev høstet 52 hkg. Under forudsætning af uændret kvælstofprocent i græstørstoffet, blev der i græsset optaget ca. 25 kg N pr. ha af det kløverfikserede kvælstof ved 25 N. Ved 100 N blev der tilnærmelsesvis høstet samme mængde græstørstof. Der blev her høstet 108 hkg græstørstof i kløvergræs og 111 hkg i renbestand ved middel udtørring.

Tabel 5. Den høstede kvælstofmængde, kg N/ha, 1. - 4. slæt.

The harvested nitrogen amount, kg N/ha, 1st - 4th cut.

Græs/Grass

kg N/slæt. kg N/cut.	25 N	100 N	175 N
kg N ialt. kg N in total	100 kg N/ha	400 kg N/ha	700 kg N/ha
1980 m		345	465
st		347	477
1981 m	69	320	506
st	57	316	475
1982 m	84	248	363
st	79	265	364

Kløvergræs Grass/clover

kg N/slæt. kg N/cut.	0 N	25 N	50 N	100 N
kg N ialt. kg N in total	0 kg N/ha	100 kg N/ha	200 kg N/ha	400 kg N/ha
1981 m	274	261	227	
st	234	213	193	
1982 m	339	341	335	365
st	277	267	278	308

Kvælstof

I tabel 5 er den høstede kvælstofmængde for 1.-4. slæt vist. I rent græs blev der høstet en mindre kvælstofmængde, end der blev tilført. Det gælder selv ved laveste kvælstofniveau (25 N). I kløvergræs blev den høstede kvæ-

stofmængde større end den tilførte. Kun ved 100 N blev der høstet mindre end den tilførte mængde. I kløvergræs faldt den høstede mængde i 1981 med stigende kvælstoftilførsel. I 1982 blev der høstet mest kvælstof ved 100 N, hvorimod der ingen forskel var ved de øvrige niveauer.

Tabel 6. Den høstede kvælstofmængde (N_h) og beregnet kvælstofbalance (N_Δ) i kg pr. ha.

The harvested amount of nitrogen (N_h) and calculated balance of nitrogen (N_Δ) in kg per ha.

		1981					1982			
slæt/cut		1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.
25 N										
Græs	N_h	15	23	15	16	12	34	25	13	13
Grass	N_Δ	11	2	9	6	13	-4	-5	16	2
Kløvergræs	N_h	43	73	68	77	51	65	77	100	99
Grass/clover	N_Δ	-23	-47	-37	-55	-27	-34	-58	-70	-79
100 N										
Græs	N_h	74	78	81	84	61	65	90	48	45
Grass	N_Δ	28	21	21	-5	58	39	6	54	48
Kløvergræs	N_h						93	106	90	76
Grass/clover	N_Δ						13	-12	6	31

N_h : N høstet/ha. *N harvested/ha.*

N_Δ : N tilført/ha + N høstet/ha + oplagret N (NH_4 -N + NO_3 -N) i jordlaget, 0-22 cm dybde.

N applied/ha + N harvested/ha + stored N (NH_4 -N + NO_3 -N) at 0-22 cm depth.

Middel udtørningsgrad. *Medium water stress.*

I tabel 6 er vist eksempler på den høstede kvælstofmængde (N_h). Desuden er angivet en kvælstofbalance (N_Δ). Det er den mængde af det tilførte kvælstof, som ikke er høstet eller oplagret i jorden som lettilgængeligt kvælstof (NH_4

og NO_3). N_Δ kan på grund af kløvers kvælstoffiksering blive negativ. I N_Δ indgår både kvælstoffiksering, immobilisering og tab ved denitrifikation og kvælstofudvaskning. Ved slæt var der i de fleste tilfælde meget lidt lettilgængeligt kvælstof i jorden. Ved 4. slæt 1981 og 2. slæt 1982 var der dog ved 100 N en del, hvorfor N_Δ blev forholdsvis lille.

Tabel 7. Planternes kemiske sammensætning, gennemsnit af 1.-4. slæt 1982.

The chemical composition of the plants, average of 1st-4th cut 1982.

		Total-N	$\text{NO}_3\text{-N}$	CF	K	Na	Ca	Mg	P
		% af tørstof, % of dry matter							
Græs	25 N	1,82	0,01	23,5	2,32	0,08	0,62	0,18	0,35
Grass	100 N	2,48	0,01	24,2	3,07	0,17	0,69	0,22	0,39
	175 N	3,21	0,14	23,9	3,00	0,26	0,83	0,24	0,40
	LSD	0,77	n.s.	n.s.	0,43	0,06	n.s.	0,05	n.s.
Kløver-									
græs	0 N	3,55	0,03	18,8	2,61	0,23	1,23	0,26	0,39
Grass/	25 N	2,97	0,03	21,8	2,80	0,20	0,91	0,23	0,39
clover	50 N	2,76	0,01	22,4	2,94	0,18	0,86	0,23	0,38
	100 N	2,80	0,03	23,0	3,27	0,22	0,81	0,23	0,41
	LSD	0,37	n.s.	1,6	0,24	0,03	0,19	n.s.	n.s.

CF: Træstof, *Crude fibre*.

Planternes kemiske sammensætning

I tabel 7 er planternes kemiske sammensætning vist for 1982 ved varieret gødningstilførsel. Ved de forskellige kvælstofniveauer blev kalium og fosfortilførslen også varieret, jvf. metodik. Ved stigende gødningstilførsel steg indholdet af kvælstof i græs, men faldt i kløvergræs. Indholdet af de enkelte kationer i græs steg med stigende gødningstilførsel, hvilket også blev fundet i det kontrollerede forsøg (Søegaard, 1984 II). I kløvergræs steg kaliumind-

holdet, mens calciumindholdet faldt med stigende gødningstilførsel. Natriumindholdet faldt indtil 50 N, og magnesiumindholdet var næsten konstant. Træstofprocenten steg i kløvergræs med stigende gødningstilførsel, mens der i gennemsnit for græs ikke synes at have været nogen forskel. Sidstnævnte skyldes især, at træstofprocenten hvert år i 1. slæt steg og i de øvrige slæt faldt med stigende gødningstilførsel. Der var ingen klar sammenhæng mellem gødningstilførslen og fosforindholdet i hverken kløvergræs eller græs.

Ved ens kvælstofniveau var det procentiske indhold af kvælstof, de enkelte kationer (især Ca) og fosfor højere i kløvergræs end i græs, mens træstofindholdet var lavere.

I græs blev der i 1980 og 1982 ved 100 N og 175 N høstet en lidt større kvælstofmængde ved stærk end ved middel udtørningsgrad, jvf. tabel 5, selv om tørstofudbyttet i 1980 var størst ved middel udtørring.

Kvælstofprocenten har således i gennemsnit været størst ved stærk udtørningsgrad. I kløvergræs var kvælstofprocenten derimod størst ved middel udtørningsgrad.

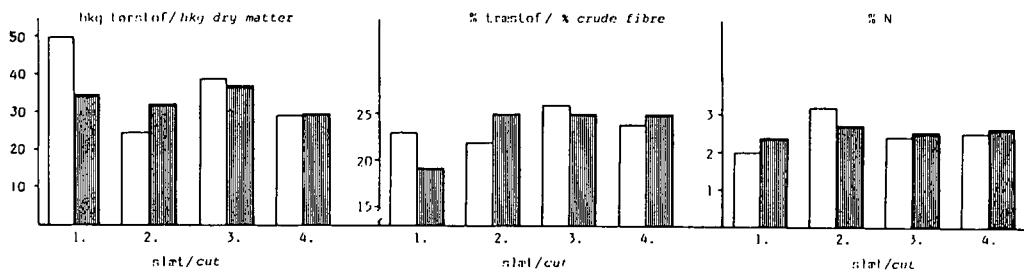


Fig. 2. Tørstofudbytte og indhold af træstof og kvælstof i 1980. Græs.

Dry matter yield and content of crude fibre and nitrogen in 1980. Grass.

□ 100 N. Middel udtørningsgrad./Medium water stress.

■ 100 N. Stærk udtørningsgrad./High water stress.

I fig. 2 er vist et eksempel på kvælstofprocent, træstofprocent og tørstofudbytte i græs. Det ses, at i det enkelte slæt har træstofprocenten været størst, hvor den høstede tørstofmængde var størst. Det omvendte synes at være tilfældet for kvælstofprocenten.

I tabel 8 ses, at der i græs var en negativ korrelation mellem tørstofudbyt-

tet og kvælstofprocenten. Beregningerne er foretaget på enkeltslæt og alle år for et enkelt kvælstofniveau ved begge udtørningsgrader. I både græs og kløvergræs var der en positiv korrelation mellem træstofprocenten og tørstofmængden. Korrelationskoefficienten var dog meget lille i græs.

Tabel 8. Korrelationskoefficienten for det procentiske indhold af kvælstof og træstof i relation til den høstede tørstofmængde.
The correlation coefficient for the percentage content of nitrogen and crude fibre in relation to the harvested dry matter.

		N	Træstof <i>Crude fibre</i>
Græs	100 N	-0,74 ³	0,42 ¹
<i>Grass</i>			
Kløvergræs	50 N	n.s.	0,75 ³
<i>Grass/clover</i>			

¹: Signifikant ved 5 pct. ³: Signifikant ved 0,1 pct.

Tabel 9. Det procentiske indhold af Ca og Mg efter slætperiode med vanding. Gennemsnit af kvælstofniveauerne.
The percentage content of Ca and Mg after growth period by irrigation. Average of nitrogen levels.

		Ca	Mg
Græs	m	0,71	0,23
Grass	st	0,75	0,23
LSD		0,04	n.s.
Kløvergræs	m	1,04	0,25
Grass/clover	st	0,97	0,23
LSD		n.s.	n.s.

Ved ændring i vandtilførslen i græs i renbestand vil foderenhedskoncentrationen (foderenheder pr. kg tørstof) falde ved et stigende tørstofudbytte på

grund af stigende træstofindhold og faldende kvælstofindhold. For hele vækstperioden var foderenhedskoncentrationen i gennemsnit 2 % mindre ved middel end ved stærk udtørring. I kløvergræs var der ingen forskel.

I slæt, hvor der blev vandet, steg i både græs og kløvergræs det procentiske indhold af kalium og fosfor ved hyppigere vanding. Indholdet af calcium og magnesium steg ligeledes i kløvergræs, dog ikke signifikant, mens calciumindholdet faldt og magnesiumindholdet var konstant i græs, jvf. tabel 9. Tilsvarende resultater for græs blev fundet i det kontrollerede forsøg med undtagelse af magnesiumindholdet, som faldt (Søegaard, 1984 II).

Diskussion

Udbyttetigningen i græs ved ændring af udtørringsgraden fra stærk til middel udtørring var forholdsvis mindre i nærværende undersøgelse end ved helt kontrolleret vandtilførsel (Søegaard, 1984 I). Dette skyldes især, at merudbyttet for hyppigere vanding i et slæt ofte blev kraftigt reduceret senere i vækstperioden på grund af reduceret genvækst. Ved stærk udtørringsgrad har græsproduktionen således senere, når der faldt nedbør, kunnet kompensere for en tidligere nedgang i tørstofproduktionen.

I et overdækket forsøg, som blev flyttet til nye markparceller efter hvert slæt, var der ingen problemer med reduceret genvækst, da der indtil forsøgsbehandling kun blev gødet med en lille mængde kvælstof (Søegaard, 1984 I). I dette forsøg blev der ved 175 N høstet 187 hkg tørstof i 1982 modsat 119 hkg i nærværende forsøg. En stor del af denne forskel må kunne tilskrives en dårlig genvækst.

Det er ofte observeret, at genvæksten reduceres efter høst af et stort slæt (Ennik et al, 1980). Reduceret genvækst forekommer især ved høj temperatur, i den reproduktive vækstfase (Ennik et al, 1980) og ved stor kvælstoftilførsel (Williams, 1970). Fortørring af afgrøden og kørsel ved høst nedsætter ligeledes genvæksten (Møller et al, 1979, Rasmussen & Møller, 1981).

Af årsager til reduceret skudvækst har der været nævnt mange. Der er f. eks. peget på en for lille mængde letopløselige kulhydrater (Ennik et al, 1980) og for høj kvælstofkoncentration i jorden lige efter slæt (Søegaard, 1984 I). Stor kvælstoftilførsel fremmer dannelsen af unormale skud, herunder skud som udvikles betydeligt over jordoverfladen (Minderhoud, 1978). I en højere stub

er der en større mængde kulhydrater (Watson & Ward, 1970) samt et større antal skud (Minderhoud, 1978). Samtidig vil der være en større mængde fotosynteseaktivt plantemateriale. Alligevel blev tørstofudbyttet i nærværende undersøgelse ikke større ved en højere stub, heller ikke ved høj N (175 kg N pr. ha pr. slæt) hvor der i høj grad var reduceret genvækst.

Ved lavere kvælstoftilførsel er det tidligere fundet, at udbyttet ved en højere stub mindskes (Møller & Nielsen, 1981) eller er uforandret (McFeely, 1978, Watt & Haggard, 1980).

Ved 25 N modsat 100 N blev det fundet, at den høstede græsmængde var større i kløvergræs end i renbestand. Dette antyder, at græsplanterne i kløvergræs ved lav N har været i stand til at optage noget af det kløvefikserede kvælstof. Dette bekræftes af Haystead og Marriott (1979), som fandt en betydelig mineralisering af det fikserede kvælstof efter høst og optagelse af det mineraliserede kvælstof i græsset. Falk (1980) fandt, at hvidkløver er eneste bælgeplante, hvorfra græs kan hente kvælstof (6 kg N/ha).

Den fikserede kvælstofmængde synes at have været forholdsvis stor. Der blev således ved 25 N i kløvergræs høstet ca. 200 kg N mere end i græs, hvilket er betydelig mere end 90-120 kg N, som refereret af Eiland (1983). Ligeledes blev der ved 0 N høstet ca. 25 % mere kvælstof end fundet af Gregersen (1980) på samme jordtype.

I det kontrollerede forsøg blev der vist, at hyppigere vanding i græs formindskede det procentiske kvælstofindhold og forøgede træstofindholdet (Søgaard, 1984 II). Dette synes ud fra nærværende resultater især at være forårsaget af et stigende tørstofudbytte. Der var således en negativ korrelation mellem tørstofudbytte og kvælstofindhold og en positiv korrelation mellem tørstofudbytte og træstofindhold, selv om udtørningsgraden blev varieret. I kløvergræs var der ingen sammenhæng mellem tørstofudbyttet og kvælstofindholdet, hvilket sandsynligvis skyldes det større kløverindhold og dermed større kvælstofindhold ved middel udtørningsgrad.

Ved ens kvælstofniveau var indholdet af især calcium og magnesium større i kløvergræs end i græs. Dette er sandsynligvis årsag til, at indholdet af de nævnte kationer i kløvergræs modsat græs faldt med stigende udtørningsgrad, da kløverprocenten samtidig faldt.

Overdækket rammeforsøg - markforsøg

Kontrolleret vandtilførsel ved hjælp af mobile overdækninger har i nærværende forsøg gjort det muligt at udføre grundlæggende undersøgelser over vand-klima-næringsstofrelationer. Resultater fra rammeforsøg med mobil overdækning og markforsøg har imidlertid ikke altid vist overensstemmelse. Det blev f. eks. i rammeforsøget ved forskellig udtørningsgrad, når den aktuelle fordampning (E_a) var mindre end den potentielle (E_p), fundet en negativ korrelation mellem E_p og den relative toptørstofproduktion (P_a/P_p). Dette kunne imidlertid ikke bekræftes af markforsøget, hvilket dog ikke er et bevis for at nævnte sammenhæng ikke eksisterer. Der har sandsynligvis under markforhold været faktorer, især det beskrevne genvækstproblem, som har tilsløret den nævnte sammenhæng. Udtørningsgradens indvirkning på plantekvaliteten har i de to forsøgsmetoder været tilnærmelsesvis ens. Der var dog en tendens til at være større forskel mellem udtørningsgraderne i rammeforsøget end i markforsøget.

Erfaringer fra nærværende forsøg har vist, at forsøg med vanding af græs, hvor resultaterne direkte skal anvendes i vejledningen, ikke bør foregå i rammeanlæg alene, men suppleres med markforsøg. Dette skyldes primært, at græs høstes flere gange i løbet af vækstperioden. Herved opstår let eftervirkninger fra det ene slæt til det næste og dermed nye variable, som ikke altid vil være ens i de to forsøgsmetoder.

Konklusion

Tørstofudbyttet steg, når der blev vandet til markkapacitet ved 25 mm underskud sammenlignet med vanding ved 45 mm underskud. Udbyttetigningen var større i kløvergræs end i græs i renbestand, hvilket antageligt skyldes kløverens større tørkefølsomhed.

Efter et stort slæt med merudbytte for vanding kunne reduceret genvækst bevirke at merudbyttet for hele vækstperioden blev forholdsvis mindre.

Ved lav kvælstoftilførsel kunne græsset udnytte en del af det kløvefikserede kvælstof. Græsproduktionen blev således større i kløvergræs end i renbestand.

Erkendtlighed

Projektet har økonomisk været baseret på bevillinger fra Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd.

Litteratur

- Eiland, F. (1983): Biologisk kvælstofbinding. J. Hansen & A. Kyllingsbæk: Kvælstof og Planteproduktion. Tidsskr. Planteavl S 1669, 26-28.
- Ennik, G. C., Gillet, M. & Sibma, L. (1980): Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. Proc. int. Symp. Eur. Grassland Fed., 67-76.
- Falk, B. (1980): Kvævebinding hos baljvæxter ved samodling med græs och i renbestånd - undersökning med en ny ^{15}N metodik. Dissertation, Uppsala, 80 pp.
- Gregersen, A. K. (1980): Vand og kvælstofgødning til flerårigt græs og kløvergræs. Tidsskr. Planteavl 84, 191-208.
- Haystead, A. & Marriott, C. (1979): Transfer of legume nitrogen to associated grass. Soil Biol. Biochem. 11, 99-104.
- McFeely, P. C. (1978): Effect of frequency and intensity of cutting and fertilizer nitrogen on herbage production and herbage nitrogen and potassium contents. Ir. J. agric. Res. 17, 217-229.
- Minderhoud, J. W. (1978): Pseudostolons and aerial tillers: Morphological phenomena of *Lolium perenne* L. Proc. Gen. Meeting Europ. Grassld Fed., 31-39.
- Møller, E., Nielsen, C. & Rasmussen, K. J. (1979): Genvækst efter fortørring af græsmarksafgrøder I. Dækningseffekt. Tidsskr. Planteavl 83, 497-504.
- Møller, E. & Nielsen, C. (1981): Genvækst efter fortørring af græsmarksafgrøder. III. Virkning af mekaniske behandlinger. Tidsskr. Planteavl 85, 127-138.
- Rasmussen, K. J. & Møller, E. (1981): Genvækst efter fortørring af græsmarksafgrøder. II. Jordpakning i forbindelse med høst og transport. Tidsskr. Planteavl 85, 59-71.
- Søegaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. I. Planteproduktion, vandudnyttelse, jordtemperatur og morfologisk udvikling ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl S 1704a

- Søgaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. II. Planternes kemiske sammensætning ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl, S 1704b.
- Søgaard, K. (1984): Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. III. Stomataresistens, klorofylindhold, nitratreduktase aktivitet og ribulose 1,5 difosfat carboxylase aktivitet ved kontrolleret vandtilførsel. Tidsskr. Planteavl, S 1704c.
- Watson, V. H. & Ward, C. Y. (1970): Influence of intact tillers and height of cut on regrowth and carbohydrate reserves of dallisgrass (*Paspalum dilatatum* Poir.). Crop Science 10, 474-476.
- Watt, T. A. & Haggard R. J. (1980): The effect of defoliation upon yield, flowering and vegetative spread of *Holcus lanatus* growing with and without *Lolium perenne*. Grass and Forage Science 35, 227-234.
- Williams, R. D. (1970): Tillering in grasses cut for conservation, with special reference to perennial ryegrass. Herbage Abstracts 40, 383-388.

Institutter m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafprøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 62 00
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	(03) 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	(04) 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	(08) 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Institut for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	(07) 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	(07) 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	(05) 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	(05) 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	(04) 74 21 04
Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	(08) 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Planteværnsafdelingen på »Godthåb«, Låsbyvej 18, 8660 Skanderborg ...	(06) 52 08 77
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00