

Udtørring i forskellige vækstfaser i byg Vækstforløb, næringsstofoptagelse og udbytte

Drought in different growth phases in barley. Growth, nutrient uptake and yield

UFFE JØRGENSEN

Resumé

Vårbyg blev udtørret i veldefinerede vækstfaser indtil ca. 90 pct. af den plantetilgængelige vandmængde var brugt. Vandfaktoren var under fuldständig kontrol, idet forsøgsarealet automatisk overdækkedes af et tag ved nedbør. Herved kunne ikke blot effekten af tørke bestemmes, men også effekten af øvrige klimaforhold i de tre forsøgsår, 1986-88. Forsøget gennemførtes i et karforsøgsanlæg. Udvalgte forsøgsled var dog også udlagt i et rammeanlæg.

Resultaterne udpegede ikke en specielt tørkefølsom fase i byg – størst udbyttenedgang efter udtørring fandtes i forskellige vækstfaser i de tre forsøgsår. Det skyldtes formodentlig de vekslende klimabetingelser under udtørningsforløbene, idet der kunne påvises en negativ korrelation mellem potentiel fordampning og udbytte. Tørke i busk-

ningsfasen havde tendens til at fremme buskningen med et øget aksantal med færre og mindre kerner til følge. Tørke i strækningsfasen og omkring skridning havde en tendens til at reducere aksantallet, mens tørke under tidlig kernefyldning kunne medføre mindsket kernevægt. Halmudbyttet var mest påvirket af tidlig tørke. Vandudnyttelsen steg svagt efter de udtørninger, der kun havde ringe udbytteeffekt. Kun tørke ved høj potentiel fordampning medførte markant dårligere vandudnyttelse.

Det procentuelle N-indhold steg efter udtørring, mens det procentuelle indhold af K og P ikke blev nævneværdig påvirket af tørke. Bygagrøden gav det største udbytte i 1987, hvor en kølig juli måned muliggjorde en lang kernefyldningsperiode.

Nøgleord: Vanding, byg, vækstfaser, klima, udbyttekomponenter, næringsstofoptagelse.

Summary

Irrigation was withheld from spring barley in well defined growth phases until about 90% of the plant available water was used. The application of water was under full control as a shelter automatically covered the experimental area in case of rain. The experiment was conducted in contain-

ers but some of the treatments were also conducted in larger wooden frames.

The results did not indicate one particularly drought sensitive growth phase in barley; the largest yield decrease was found in different growth phases in each of the three experimental

years. This can be explained by the changing weather conditions during the drought periods as a negative correlation between potential evapotranspiration and yield was found. Early drought had a tendency to increase tillering resulting in more ears having less and smaller grains. Drought during both stem elongation and heading tended to reduce the number of ears while drought in the phase of early grainfilling could result in reduced grain weight. Straw yield was most sensitive to early drought. The water use

efficiency was slightly improved after those drought treatments which only affected yield marginally. Only drought during high potential evapotranspiration caused a pronounced reduction in water use efficiency.

The percentage content of nitrogen increased in droughted barley while the percentage content of potassium and phosphate showed no essential change after drought. The barley crop gave the greatest yield in 1987 when cool weather in July resulted in a long grainfilling period.

Key words: Irrigation, barley, growth phases, climate, yield components, nutrient uptake.

Indledning

Viden om landbrugsafgrøders tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser er nødvendig for at kunne give vejledning om udbytteoptimerende og resourcebesparende vandingspraksis. Denne viden er desuden vigtig ved prioritering mellem afgrøder i perioder, hvor vandingskapaciteten er begrænsende.

Flertallet af de danske vandingsforsøg med byg (1, 2, 3, 10, 15) er udført under markforhold, hvor de enkelte års nedbørsforhold har haft afgørende indflydelse på forsøgsbehandlingerne. Derfor udførtes fra 1986-88 nærværende undersøgelse i to forsøgsanlæg, der ved nedbør automatisk blev overdækket af selvkørende tage.

Men selv ved kontrolleret vandtilførsel i forsøgsanlæg er der tidligere fundet varierende resultater fra år til år (16), hvilket nødvendiggør, at klimaforholdene inddrages i tolkningen af resultaterne, som det fx er beskrevet af Day *et al.* (6).

Forsøgets formål var at undersøge effekten af veldefinerede udtørninger i nøje afgrænsede vækstfaser på vækstforløb, udbyttestruktur og næringsstofoptagelse i vårbyg, samt at belyse vekselvirkningen mellem udtørring og det aktuelle klima. I forsøget blev endvidere målt plantefysiologiske reaktioner på tørke (14).

Materialer og metoder

Forsøgsplan

Forsøget blev udført dels i et karanlæg med forsøgsenheder á 0,0755 m², dels i et rammeanlæg med forsøgsenheder á 2,5 m² (13). Der blev gennemført tre års dyrkning af vårbyg (Triumph) efter følgende forsøgsplan:

Forsøgsled	Udtørningsfaser (Feekes skala)
Treatment	Drought phases

- | | |
|---|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Fuldt vandet, <i>fully irrigated</i> |
| 2 | Buskning (-6), <i>tillering</i> |
| 3 | Strækning (6-10), <i>stem elongation</i> |
| 4 | Skridning (10.1-10.5.4), <i>heading</i> |
| 5 | Tidlig kernefyldning (11.1), <i>early grainfilling</i> |
| 6 | Sen kernefyldning, modning (11.2-11.4), <i>late grainfilling, ripening</i> |
| 7 | Strækning + skridning, <i>stem elongation + heading</i> |
| 8 | Strækning + tidlig kernefyldning, <i>stem elongation + early grainfilling</i> |

Forsøgsled 2-6 blev påført én udtørring, mens led 7-8 blev påført to udtørninger med en mellemliggende opvanding.

Alle forsøgsled var repræsenteret i karanlægget, mens kun led 1, 3, 4 og 5 var repræsenteret i rammeanlægget. Enkelte kombinationer af forsøgsled og år udgik på grund af fejl eller forkert timing af udtørningsbehandlingen. Det skal endvidere bemærkes, at forsøgsled 7 i 1986 blev udtørret i faserne skridning + tidlig kernefyldning og forsøgsled 8 i faserne skridning + sen kernefyldning, modning.

Tidspunkter for de enkelte udtørningsbehandlinger fremgår af tabel 1. Globalstråling og middeltemperatur gennem dyrknings sæsonen i de tre år er angivet i tabel 2.

Karanlæg

Jordtype, gødsugning og såning

Jorden i karrene blev hvert år skiftet med jord fra

samme mark (jordtype JB1). I bunden blev lagt 27 cm underjord (rødsand) med en plantetilgængelig vandmængde på 5,8 volumenprocent, og ovenpå blev lagt 30 cm fra pløjelaget (mørkt sand) med 9,4 volumenprocent tilgængeligt vand. Der var således i alt ca. 44 mm tilgængeligt vand i karrene. Ved såning (tilstræbt planteantal: 400 pr. m²) blev grundgødet med P, K og Mg i form af 1080 kg (0-5-13) og 300 kg kieserit pr. ha. Mikro-næringsstoffer blev vandet ud i form af Hornumblanding. Praksis for N-gødskning blev tilpasset forsøgsbetingelserne i løbet af forsøgsperioden.

Mængder og tidspunkter for N-gødskning fremgår af tabel 3.

Vanding

Vandingen blev styret ved hjælp af tensiometre placeret i 20 og 40 cm's dybde. Det fuldt vandede forsøgsled blev vandet ved et jordvandsdeficit på maksimalt 25 mm. En udtørring bestod i udsættelse af vanding til jordvandspotentiallet i 40 cm's dybde var under -80 kPa. Der var da et jordvandsdeficit på ca. 40 mm svarende til, at 90 pct. af det plantetilgængelige vand var brugt.

Tabel 1. Tidspunkter for udtørring (jordvandsdeficit > 25 mm).
Periods of drought (soil water deficit > 25 mm).

		Vækstfase (forsøgsled) - Growth phase (treatments)				
		Buskning (2) Tillering	Strækning (3+7+8) Stem elongation	Skridning (4+7) Heading	Tidl. kernef. (5+8) Early grainf.	Modning (6) Ripening
Karanlæg <i>Containers</i>	1986	20/5- 2/6	-	11/6-20/6	25/6- 1/7	4/7- 6/8
	1987	19/5- 2/6	12/6-17/6	1/7- 6/7	6/7-10/7	22/7-27/7
	1988	19/5-27/5	6/6-10/6	13/6-20/6	24/6- 1/7	1/7-26/7
Rammeanlæg <i>Frames</i>	1986	-	10/6-18/6	-	23/6- 2/7	9/7-11/8
	1987	-	15/6-25/6	25/6- 2/7	2/7- 8/7	-
	1988	-	6/6-13/6	13/6-20/6	27/6- 4/7	-

Tabel 2. Klimaparametre ved Jyndeved 1986-1988.
Climate at Jyndeved 1986-1988.

	Middeltemperatur (°C) Mean temperature (°C)					Globalstråling (MJ/m ²) Global radiation (MJ/m ²)				
	april	maj	juni	juli	aug.	april	maj	juni	juli	aug.
1986	5,5	11,9	14,3	15,9	14,7	326	540	634	526	442
1987	7,4	8,9	11,7	15,0	14,2	387	468	383	498	370
1988	6,0	12,0	14,8	15,7	14,9	391	618	527	477	418

Tabel 3. Tildelingstidspunkter og mængder af kvælstof til byg.
Dates for supply and quantities of nitrogen to barley.

	1986	1987	1988
Karanlæg <i>Containers</i>	30/4: 140 kg/ha 6/6: 15 kg/ha	30/4: 80 kg/ha 4/6: 80 kg/ha 24/6: 15 kg/ha	21/4: 80 kg/ha 27/5: 80 kg/ha
Rammeanlæg <i>Frames</i>	1/5: 120 kg/ha	30/4: 60 kg/ha 4/6: 60 kg/ha	20/4: 60 kg/ha 18/5: 60 kg/ha

Målinger

For hvert forsøgsled blev høstet 5-6 kar til opgørelse af udbytte. Desuden blev for hver udtørningsfase høstet tre kar til afgrødeanalyse dels ved udtørningens afslutning, dels 14 dage senere.

Ved afgrødeanalyse efter en udtørring blev målt tørstofmængde i strå og aks og analyseret for indhold af N, P og K. Ved endelig høst optaltes desuden antal aks, kornvægten bestemtes (ikke i 1986) og kernernes størrelsesfordeling blev målt.

Høstindeks blev beregnet som kerneudbytte/ (kerne + halmudbytte). Kerner pr. aks blev beregnet som kerneudbytte/(kernevægt × aksantal). Alle udbyttetotal er angivet ved 100 pct. tørstof.

Rammeanlæg

I rammeanlægget var for hvert forsøgsled udlagt to gentagelser til afgrødeanalyse samt to til opgørelse af høstudbytte. Til afgrødeanalysen blev høstet en prøveflade á 0,54 m² ved afslutningen af en udtørring og igen 14 dage senere. Jordtypen var som i karrene grovsand, jorden blev ikke skiftet under forsøget, men byggen byttede hvert år plads i anlægget med en ærteafgrøde. Ved såning blev der grundgødet med P, K og Mg i form af 1000 kg (0-5-12) og 300 kg kieserit pr. ha. Udtørring skete efter samme kriterium som i karrene.

Resultater

Vækstforløb

I det fuldt vandede forsøgsled var vandfaktoren ikke begrænsende for væksten. Alligevel var der store forskelle mellem planteproduktionens forløb i de tre forsøgsår (fig. 1).

Den umiddelbare effekt af udtørring på planteproduktionen fremgår af fig. 2 for 1987. Det ses, at forskellen i akkumuleret tørstof mellem det fuldt vandede og de udtørrede forsøgsled var uændret efter 14 dage med optimal vandforsyning til de tidligere udtørrede forsøgsled. Ved høst var den procentuelle udbyttenedgang som følge af tørke stadig af samme størrelsesorden som umiddelbart efter udtørringsbehandlingerne.

Udbytte

Resultaterne for kerneudbyttet udpeger ikke en bestemt fase som den mest tørkefølsomme. Når der ses på effekten af én udtørring (forsøgsled 2-6) i karanlægget, fandtes i 1986 det laveste udbytte efter udtørring i tidlig kernefyldning (led 5),

i 1987 efter udtørring i strækningsfasen (led 3) og i 1988 efter udtørring i buskningsfasen (led 2) (fig. 3). Resultaterne fra rammeanlægget var ikke sammenfaldende hermed (fig. 4), idet tørke i strækningsfasen (led 3) alle år medførte størst udbyttenedgang. Af figurerne fremgår endvidere, hvilke udbytteparametre der blev påvirket ved udtørring.

I 1986 indtraf modningen brat og tidligt i vækstforløbet, og omløjring fra strå til kerne var ineffektiv, som det fremgår af det lave høstindeks for alle forsøgsled. Udtørring reducerede høstindekset yderligere, tydeligst i forsøgsled 3 i rammer samt 5 og 8 i kar. Men det var forskellige udbytteparametre, der var påvirket. Tørke i strækningsfasen (led 3 i fig. 4) reducerede kerneantallet pr. m² (samme effekt ses i 1988). Men da aksantallet ikke blev optalt i rammerne, kan det ikke afgøres, om reduktionen skyldtes færre aks eller færre kerner pr. aks. Tørke i tidlig kernefyldning (led 5) i karrene standsede kernefyldningen, som det fremgår af kerneudbyttet pr. aks (fig. 3) og af, at forekomsten af kerner mindre end 2,2 mm var signifikant ($P < 0,001$) øget til 29 pct. sammenlignet med 15 pct. i fuldt vandet.

I 1987 bevirkede tørke i strækningsfasen (led 3) i karforsøget en signifikant nedgang i kerneudbyttet som følge af et mindre udbytte pr. aks. Da kernevægten var let øget, skyldtes det lave udbytte pr. aks et mindsket kerneantal pr. aks nemlig 18,4 mod 20,2 i fuldt vandet ($P < 0,04$). Udtørring i buskningsfasen (led 2) medførte en signifikant stigning i aksantallet, hvilket dog modsvarede af en nedgang i udbyttet pr. aks, hvorved det endelige kerneudbytte ikke blev signifikant påvirket.

I 1988 var der ligeledes tendens til et øget aksantal efter udtørring i buskningsfasen (led 2), men den efterfølgende nedgang i udbyttet pr. aks var så stor, at kerneudbyttet blev signifikant reduceret. Baggrunden herfor var signifikant mindre kernevægt (fig. 3) og kerneantal pr. aks (ikke vist).

Halmudbyttet synes særlig påvirkeligt af udtørring i buskningsfasen (led 2), der både i 1986 og 1988 medførte den største udbyttenedgang.

Effekten af udtørring var ikke additiv, hvilket fremgår af resultaterne fra forsøgsled 7 og 8, der blev udtørret to gange. Mest ekstremt ses i 1986 for led 7, at efter to udtørringer fandtes et større kerneudbytte end efter kun én udtørring (led 5). Det kan skyldes, at den første udtørring i led 7 har

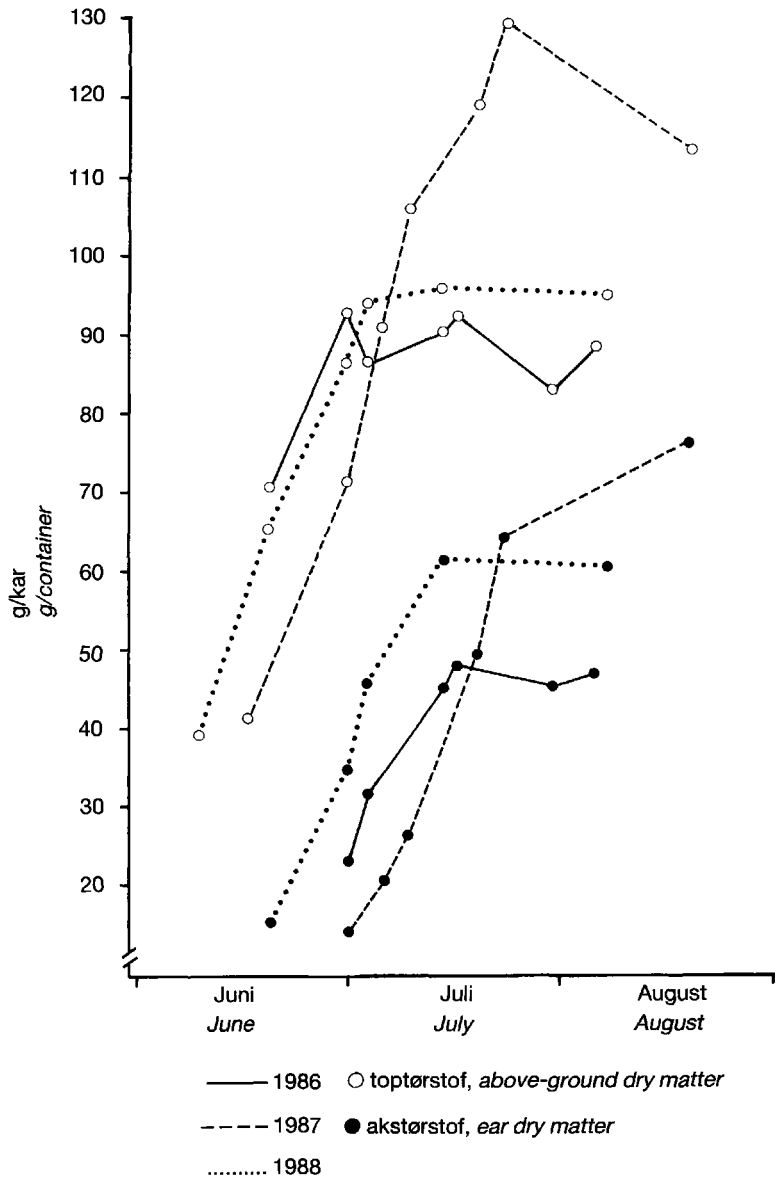


Fig. 1. Tørstofakkumulation i fuldt vandet byg i karanlægget.
 Accumulation of dry matter of fully irrigated barley in containers.

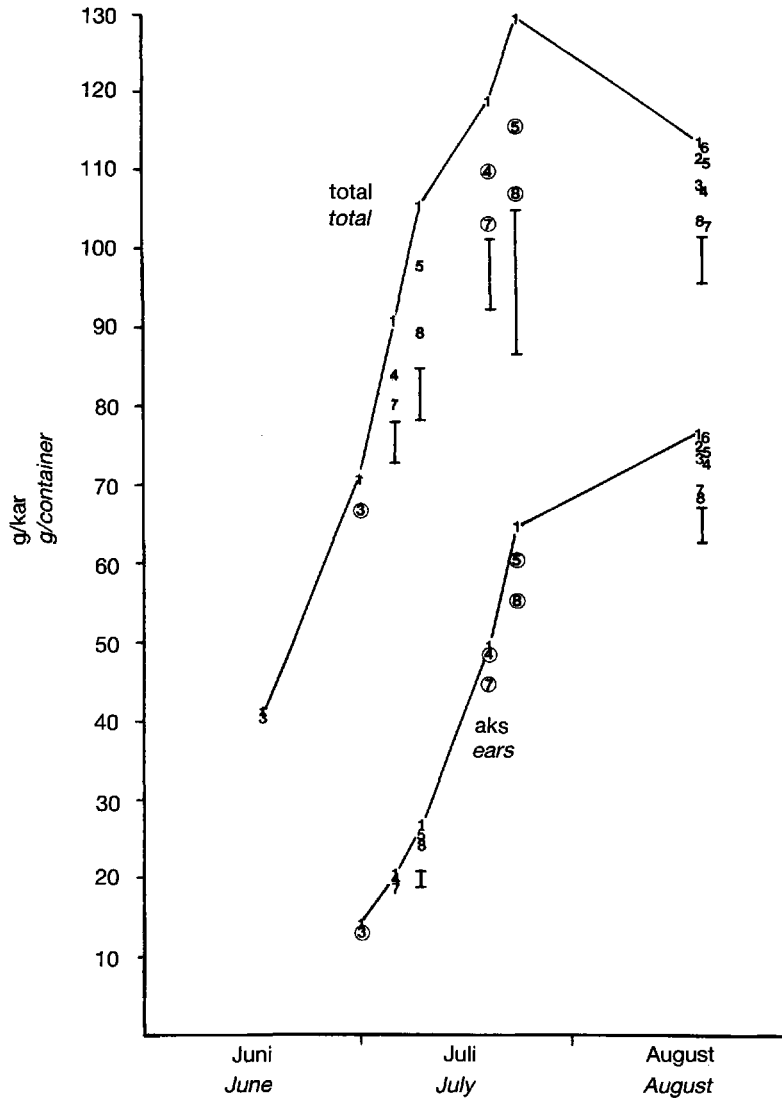


Fig. 2. Akkumulering af akstørstof og total toptørstof i fuldt vandet (led 1, optrukket linie) og udtørrede (2-8) forsøgsled i kar, 1987. Prøver blev taget ved udtørringernes slutning, 14 dage senere (indcirklede symboler) og ved endelig høst. LSD₉₅ er vist på prøvedatoer, hvor der var signifikant behandlingseffekt.

Accumulation of ear dry matter and total top dry matter in fully irrigated (treatment 1, full drawn line) and droughted (2-8) treatments in containers 1987. Samples were taken at maximum drought, 14 days after rewetting (encircled symbols) and at the final harvest. LSD₉₅ is shown on dates where significant difference was found between treatments.

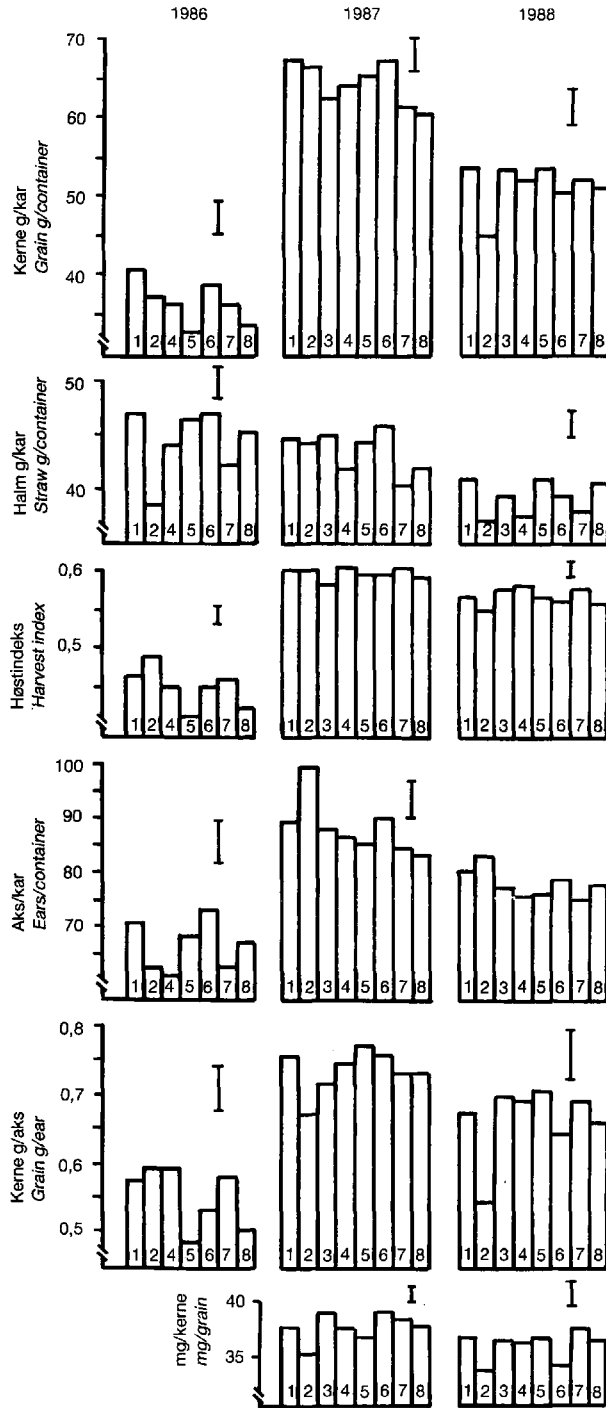


Fig. 3. Udbytteparametre i byg dyrket i karforsøgsanlæg. LSD₉₅ er angivet, hvor der var signifikant behandlingseffekt. Udtøringsfaser: 2: Busk. 3: Str. 4: Skr. 5: T.kern. 6: S. kern. 7: Str. + Skr. 8: Str. + t. kern.
 Yield parameters in barley grown in containers. LSD₉₅ is shown where significant difference was found between treatments. Drought phases: 2: Till. 3: St. el. 4: Head. 5: E. grain. 6: L. grain. 7: St. el. + head. 8: St. el. + e. grain.

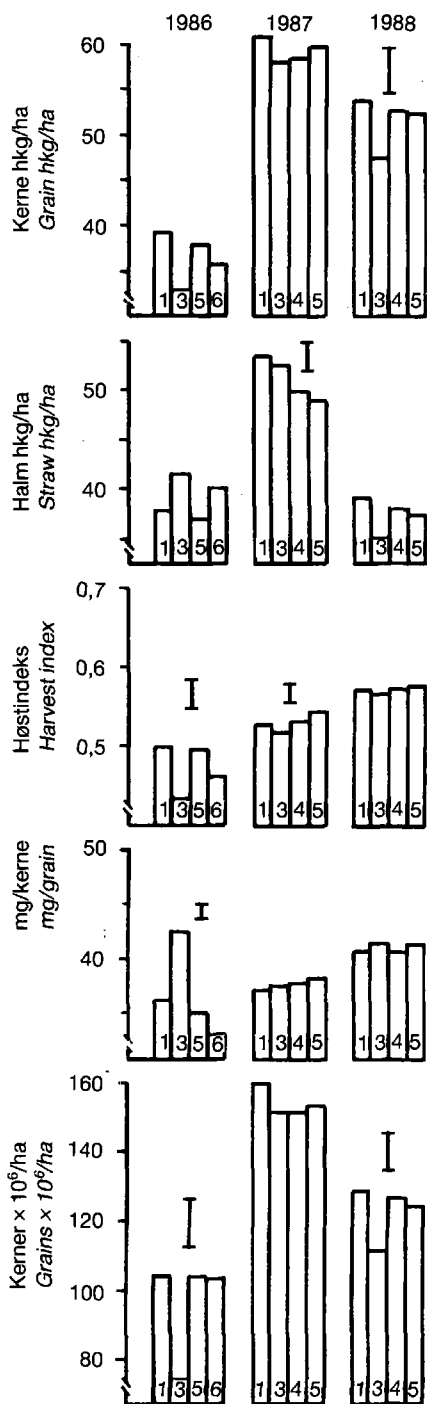


Fig. 4. Udbytteparametre i byg dyrket i rammeforsøgsanlæg. LSD_{05} er angivet, hvor der var signifikant behandlingseffekt. Udtørningsfaser: 3: Str. 4: Skr. 5: T. kern. 6: S. kern.
 Yield parameters in barley grown in frames. LSD_{05} is shown where significant difference was found between treatments.
 Drought phases: 3: St. 4: Head. 5: E. grain. 6: L. grain.

igangsat omlægning fra strå til kerne, og processen er forløbet over en længere periode og derfor mere fuldstændigt end i led 5, som har det mindste høstindeks.

Sammenligning af de to forsøgsled med dobbelt udtørring viser, at to udtørringer i træk (led 7) påvirkede kerneudbyttet mindre og halmudbyttet mere end to udtørringer med en mellemliggende fuldt vandet fase (led 8).

Klimaforholdene i slutningen af udtørningsforløbet havde indflydelse på udbyttereduktionens størrelse. Det fremgår af fig. 5, der viser sammenhængen mellem potentiel fordampning (målt med fordampningsmåler HL 315) de sidste to døgn af udtørningsforløbet og relativt udbytte. Resultaterne stammer fra begge forsøgsanlæg, og figuren er dannet på baggrund af en lineær model for relativt udbytte som funktion af fordampning og forsøgsled, hvilket gav en signifikant forbedret beskrivelse af udbyttet ($P < 0,02$). Hældningskoefficienten var ikke signifikant forskellig mellem linierne for de enkelte forsøgsled. Af figuren kan udledes, at en stigning i potentiel fordampning på 1 mm pr. døgn i den sidste del af en udtørring, medførte en udbyttenedgang på 4,8 procentpoint. Det bemærkes, at desto senere i vækstforløbet udtørringen er påført, desto større fordampning skal der til, før udbyttet påvirkes ($P < 0,1$). Resultater af udtørring i sen kernefyldning, modning (led 6) er ikke inddraget i analysen, da der ikke var nogen udbytteeffekt af denne behandling.

Vandudnyttelse

Vandudnyttelsen beregnet som udbyttet af henholdsvis totaltørstof og kernetørstof pr. mm vand forbrugt af de enkelte forsøgsled fremgår af fig. 6 og 7.

I de fleste tilfælde har udtørningsbehandlingen medført en øget eller uændret vandudnyttelse. I de tilfælde, hvor vandudnyttelsen er faldet markant, har der samtidig med udtørringen været stor potentiel fordampning.

Næringsstofoptagelse

Ved udtørring blev produktionen af organisk stof reduceret mere end optagelsen af N, hvilket bevirkede, at det procentuelle N-indhold ved høst var signifikant størst i udtørrede forsøgsled både

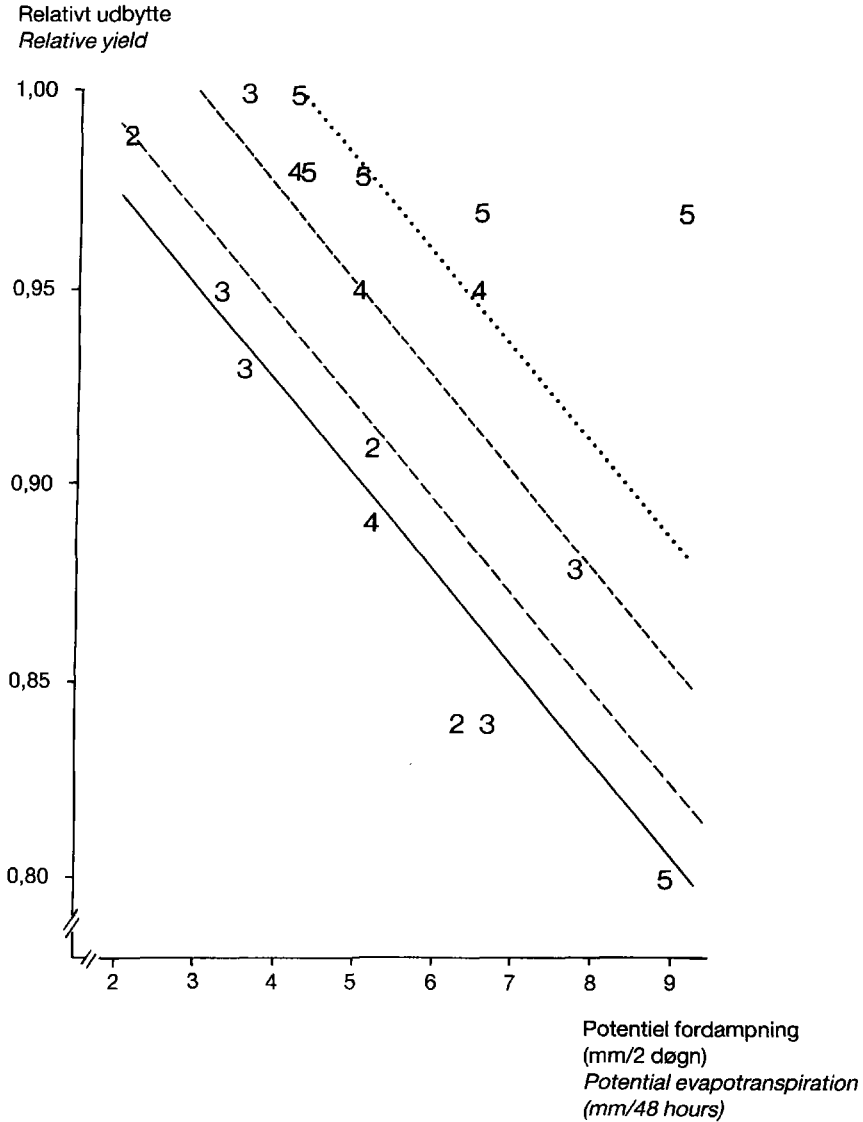


Fig. 5. Relativt udbytte (udtørret/fuldt vandet) som funktion af potentiel fordampning i de sidste to døgn af udtørringerne. $R^2 = 0,58$ ved brug af 2/9 af frihedsgraderne. Data fra både kar og ramme. — led 2, --- led 3, led 4, led 5.

Relative yield (droughted/fully irrigated) as a function of potential evapotranspiration the last two days of drought. $R^2 = 0.58$ using 2/9 of the degrees of freedom. Data both from containers and frames. — treatment 2, --- treatment 3, treatment 4, treatment 5.

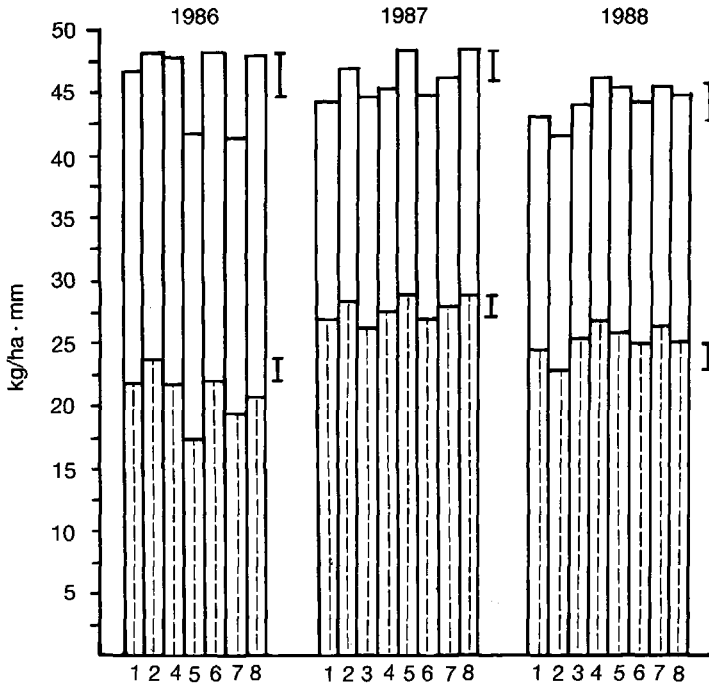


Fig. 6. Vandudnyttelse for produceret kernetørstof (skraveret) og totaltørstof. Karforsøgsanlæg. LSD_{95} er vist, hvor der var signifikant behandlingseffekt. Udtørningsfaser: 2: Busk. 3: Str. 4: Skr. 5: T. kern. 6: S. kern. 7: Str. + Skr. 8: Str. + t. kerne.

Water use efficiency calculated for grain dry matter (hatched) and for total dry matter. Containers. LSD_{95} is shown where significant treatment effect was found. Drought phases: 2: Till. 3: St. el. 4: Head. 5: E. grain. 6: L. grain. 7: St. el. + head. 8: St. el. + e. grain.

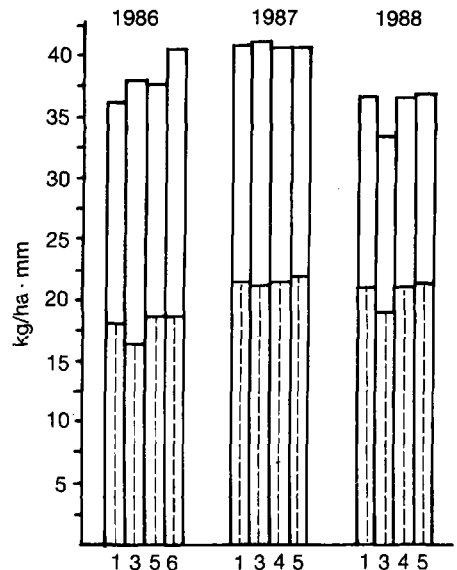


Fig. 7. Vandudnyttelse for produceret kernetørstof (skraveret) og totaltørstof. Rammeforsøgsanlæg. Ingen signifi kante forskelle. Udtørningsfaser: 3: Str. 4: Skr. 5: T. kern. 6: S. kern.

Water use efficiency calculated for grain dry matter (hatched) and for total dry matter. Frames. No significant differences. Drought phases: 3: St. el. 4: Head. 5: E. grain. 6: L. grain.

i halm og kerne (angivet som gennemsnit, da der ikke blev fundet interessante forskelle mellem de udtørrede forsøgsled) (tabel 4). K- og P-optagelsen var reduceret i samme omfang som tørstofproduktionen, og de procentiske indhold var stort set ens i det fuldt vandede og i udtørrede forsøgsled. Udtørring havde, som følge af ovennævnte forhold, ikke signifikant indflydelse på totaloptagelsen af N, mens optagelsen af K i halm og kerne og P i kerne var reduceret efter udtørring. Analyser udtaget i løbet af vækstsæsonen ved afslutningen af de enkelte udtørringsbehandlinger viste samme tendens til øget procentuelt indhold af N og stort set uændret indhold af K og P (ikke vist).

Den optagne N-mængde i overjordiske plantedele svarede til den tilførte gødningsmængde, mens der blev optaget mere K, end der var tilført.

P-optagelsen svarede derimod kun til godt 40 pct. af gødningstilførslen.

Aksresterne (aks minus kerner) havde samme procentuelle indhold af N og P som halmen, mens de havde et K-indhold, der lå mellem indholdet i halm og kerne.

Selv om der blev tilført mindst N i 1986 og mest i 1987 (tabel 3), var N-procenten i kernen højest i 1986 og lavest i 1987 (tabel 5). Fosfor viste derimod det største procentuelle indhold i 1987, hvilket kombineret med den meget store tørstofproduktion betød, at optagelsesprocenten var næsten dobbelt så stor i 1987 som i 1986. Fig. 8 viser optagelsesforløbet for P i de tre år, og det ses, at meroptagelsen i 1987 fandt sted i den lange, kølige kernefyldningsperiode i juli måned. Nettooptagelsen af N og K standsede derimod tidligere, henholdsvis 3. og 9. juli 1987.

Tabel 4. Indhold ved høst af N, K og P i halm, aksrester (aks minus kerner) og kerner samt total optagelse i overjordiske plantedele i procent af gødningstilførslen. Gennemsnit fra karanlægget 1986-1988.

Content (per cent and mg/container) at harvest of N, K and P in straw (halm), ear residues (ear minus grains) (aksrester) and grains (kerne) and also total uptake in above-ground plant material as a percentage of supplied fertilizer. Means of 1986-1988.

	Fuldt vandet <i>Fully irrigated</i>	Gns. af udtørrede led <i>Mean of droughted treatments</i>	LSD ₉₅
N pct. halm	0,58	0,62	0,03
N pct. aksrester	0,55	0,58	n.s.
N pct. kerne	1,75	1,83	0,05
N i halm mg/kar	218	220	n.s.
N i aksrester mg/kar	38	37	n.s.
N i kerner mg/kar	924	899	n.s.
N-optagelse pct. af tilført	94	92	n.s.
K pct. halm	2,50	2,49	n.s.
K pct. aksrester	1,59	1,59	n.s.
K pct. kerne	0,61	0,60	n.s.
K i halm mg/kar	939	887	47
K i aksrester mg/kar	110	102	n.s.
K i kerner mg/kar	328	300	13
K-optagelse pct. af tilført	131	122	5
P pct. halm	0,04	0,05	0,004
P pct. aksrester	0,04	0,04	n.s.
P pct. kerne	0,29	0,29	n.s.
P i halm mg/kar	16	17	n.s.
P i aksrester mg/kar	3	3	n.s.
P i kerner mg/kar	160	147	6
P-optagelse pct. af tilført	44	41	2

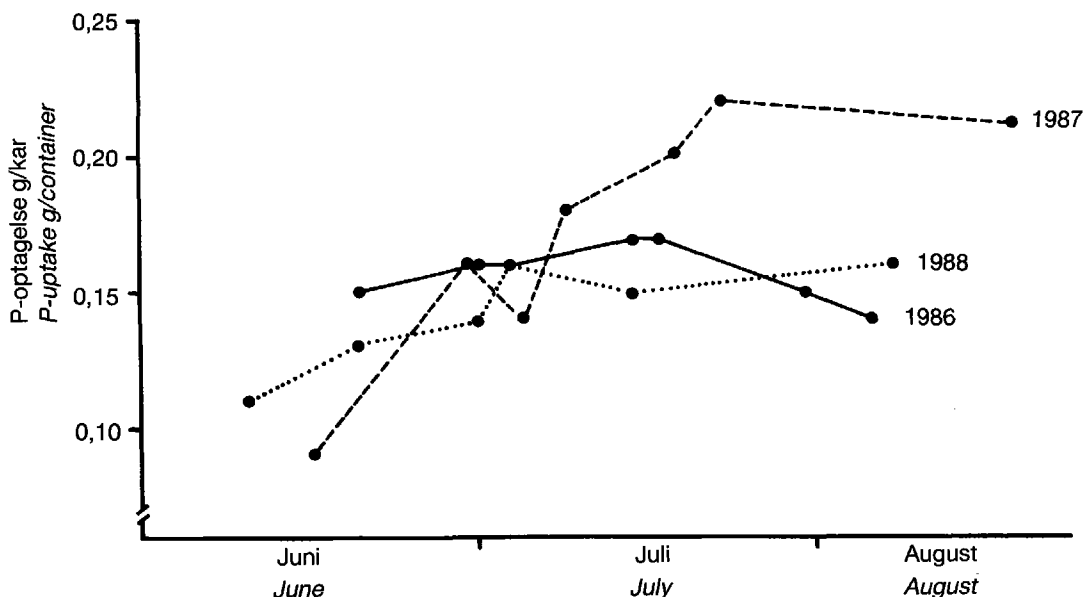


Fig. 8. Total P-optagelse gennem vækstsæsonen i fuldt vandet byg i kar.
Total P-uptake during the growing season in fully irrigated barley in containers.

Diskussion

Vækstforløb og udbytte

Der er udført mange undersøgelser for at påvise de mest tørkefølsomme faser i bygens vækst. Ofte har udtørningsgraden dog ikke været ens i de forskellige faser, og for udendørs forsøg vil der altid være en effekt af det aktuelle klima i en given fase.

Der er således et behov for en vurdering af tørkefølsomheden under hensyntagen til udtørningsgrad og klima. Det kan ske ved at sammenholde relativt udbytte med relativ fordampning (1, 7, 9, 16, 19). Herved fandt *Mogensen* (19) størst tørkefølsomhed i de tidlige vækstfaser aftagende indtil afsluttet skridning, når grønskudsproduktionen ikke indregnedes. Han fandt derimod ikke væsentlige faseforskelle, hvis udbyttet fra grønskuddene blev medregnet. *Andersen* (1) fandt derimod lav tørkefølsomhed ved udtørring fra stadium 3 til 8 (Feekes skala) og høj følsomhed ved udtørring fra stadium 8 til 10.5 og 10.5 til 11.3, dog med nogen årsvariation.

Alternativt kan udbyttet relateres til vandforbrug korrigeret for atmosfærens damptryksdeficit. Herved fandt *Day et al.* (6) en retlinet sam-

menhæng, stort set uafhængig af udtørningsfase og år.

Ved forsøg under fuldstændig kontrollerede forhold i vækstkammer kan både jordens udtørningsgrad og klimaet holdes ensartet ved udtørring i alle faser. *Imtiyaz* (12) fandt under sådanne forhold frem til, at hovedskuddene var mest tørkefølsomme under blomstringen, mens kernefyldningsfasen var lige så følsom, hvis grønskudsproduktionen indregnes.

De forholdsvis kortvarige udtørringer i nærværende forsøg medførte ikke nogen grønskudsproduktion af betydning. I overensstemmelse med de varierende observationer i litteraturen fandtes, på trods af veldefinerede udtørringsbehandlinger, forskelle i udbyttreaktioner mellem år og mellem forsøgsanlæg. Ud over udtørringsfasen og udtørningsgraden synes klimaforholdene under udtørringen, som tidligere påpeget af *Jørgensen* (16), at have haft afgørende indflydelse på udbytteeffekten (se fig. 5). Det er derfor vigtigt, at der i modeller til vandingsstyring (fx MARKVAND (22)) tages højde for det aktuelle klimas

Table 5. Årsvariation i kernens procentuelle indhold af N, K og P samt i næringsstoffernes totaloptagelse i overjordiske plantedele i procent af gødningstilsførslen. Gennemsnit af alle forsøgsled i karantælagget.

Yearly variation in the content of N, K and P in grains (kerne) and in total uptake in above-ground plant material as a percentage of supplied fertilizers. Mean of all treatments in containers.

	1986	1987	1988	LSD ₀₅
N pct. kerne	2,02	1,52	1,82	0,04
K pct. kerne	0,65	0,58	0,59	0,01
P pct. kerne	0,28	0,31	0,27	0,01
N-optagelse pct. af tilført	91	91	96	2
K-optagelse pct. af tilført	126	128	125	n.s.
P-optagelse pct. af tilført	33	56	39	1

betydning ved fastlæggelse af det optimale vandingsstidspunkt.

At der var tendens til størst følsomhed for høj potentiel fordampning under udtørring i de tidlige vækstfaser stemmer overens med *Day et al.* (6), der fandt, at byg kun reagerede på sen tørke, når temperaturen var ekstrem høj. Det skal dog sammenholdes med, at risikoen for høj potentiel fordampning er størst i de sene vækstfaser.

En bygafrødes kerneudbytte afhænger af størrelsen af de tre udbyttekomponenter aksantal, kerneantal pr. aks og kernevægt. Hvis én komponent påvirkes af kulturpraksis eller klimaforhold, vil der ofte ses en kompensatorisk effekt på en af de andre komponenter. Man finder derfor sjældent entydige sammenhænge mellem størrelsen af én udbyttekomponent og kerneudbyttet (5, 26). Tørke i en given vækstfase vil dog normalt påvirke en given udbyttekomponent (5).

Både i 1987 og 1988 medførte udtørring i buskningsfasen en øget aksproduktion, færre kerner pr. aks og en lavere kernevægt i lighed med, hvad *Day et al.* (5) og *Dragland* (8) fandt. Tørke i strækningsfasen og omkring skridning havde en tendens til at mindske aksantallet, hvilket hænger sammen med, at der netop på dette tidspunkt i juni måned kan ske et henfald af overflødige sideskud (26), og der er tidligere fundet god korrelation mellem vandunderskud på dette tidspunkt og endeligt aksantal (5).

Tørke i tidlig kernefyldning kan mindske kernevægten (5), som det var tilfældet i 1986 i karantælagget. Tørken har formodentlig afkortet kernefyldningsperioden (17) og forårsaget en ufuldstændig omlejrning fra halm til kerne.

Halmudbyttet reduceredes efter tidlig tørke (buskningsfasen) i lighed med resultater opnået af *Andersen* (1) og *Day et al.* (5).

At effekten af udtørring ikke altid var additiv skyldes formodentlig, at første udtørring påvirkede forløbet af vækst og omlejrning, da der ikke i 2. udtørringsforløb kunne påvises en øget evne til stresstilpasning i form af osmotisk tilpasning eller prolinophobning (14).

I tråd med resultater fra *Søegaard* (26) fandtes i 1986 efter engangstilsørsel af kvælstof (tabel 3) et generelt lavt aksantal og et lavt høstindeks, hvilket en meget varm periode fra slutningen af juni også kan have bidraget til (jævnfør *Vos* (27)). Det meget kølige klima i 1987 gav derimod betingelser for et stort aksantal (jævnfør *Søegaard* (26)) og en lang kernefyldningsperiode (jævnfør *Vos* (27)) og dermed det største kerneudbytte af de tre år. Længden af perioden fra begyndende skridning til vandforbruget standsede var henholdsvis 30, 53 og 44 dage i de tre forsøgsår og var således tæt korreleret med udbyttet i fuldt vandede forsøgsled.

Forsøget blev udført i et karforsøgsanlæg, hvor dyrkningsbetingelserne så vidt muligt var tilnærmet betingelserne under markforhold (13). Der var dog et hurtigere udtørringsforløb i karrene, og man bør ikke kvantitativt overføre resultaterne til markforhold. Relative forskelle kan derimod forventes at være generelle.

Vandudnyttelse

Vandudnyttelsen var i dette forsøg af samme størrelsesorden som fundet ved andre undersøgelser (6, 11, 12, 16), og det er da også alment accepteret, at der er tæt korrelation mellem vandforbrug og udbytte (4). Kun udtørring ved høj potentiel fordampning medførte tydelig reduktion i vandudnyttelsen. Dette peger på, at disse udtørringer ikke blot har reduceret udbyttet som følge af stomatalukning under udtørringen, men at der

er sket specifikke tørkeskader fx i form af et øget skudhenfald. Vandudnyttelsen var noget højere i karanlægget end i rammeanlægget, hvilket kan skyldes mindre risiko for perkolation og mere optimale vækstvilkår i karanlægget (13). At udtørring kan forbedre vandudnyttelsen er også fundet af *Imtiyaz* (12) og effekten skyldes, at en øget stomatomodstand mindsker fordampningen mere end fotosyntesen (14). Det kølige år 1987 gav den bedste vandudnyttelse analogt med iagttagelser af *Day et al.* (6), som forklarer det med, at en lille forskel i damtryk mellem blade og atmosfære generelt giver en høj vandudnyttelse.

Næringsstofoptagelse

Da udtørringsbehandlingerne i forsøget var forholdsvis kortvarige, var effekterne på stofproduktionen og næringsstofoptagelse generelt ret små og mindre end de klimabetingede forskelle fra år til år.

Som fundet i mange andre undersøgelser (17, 20, 23, 26) medførte udtørring en øget N-procent i både halm og kerne. Derimod var P- og K-procenten som hos *Hejlesen* og *Andersen* (10) stort set upåvirket af udtørring, og totaloptagelsen var kraftigst påvirket for disse to næringsstoffer. Forskellen kan formodentlig forklares ved, at diffusion spiller en stor rolle ved transport af P og K til rødderne, mens N primært transporteres til rødderne ved massflow (18). Ved udtørring mindskes diffusionshastigheden væsentlig hurtigere end massflow. Endvidere kan P-koncentrationen i jordvæsken falde ved faldende jordvandspotential på grund af stigende Ca-koncentration og dermed fældning af $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, hvorimod N blot opkoncentreres i takt med udtørringen (21).

De forholdsvis små tørkebetingede ændringer i næringsstofindholdet har næppe påvirket udbyttet, som det kan være tilfældet efter langvarig udtørring, hvor fx afgrødens P-koncentration kan halveres (5).

N-koncentrationen var lavest i 1987, hvor der var en meget stor tørstofproduktion, der således »fortyndede« kvælstofindholdet. Det er i overensstemmelse med *Spennemann* (24), der fandt negativ korrelation mellem kernestørrelse og N-procent. Det kølige klima i 1987 kan endvidere have favoriseret stivelsesindlejring fremfor proteinindlejring (25).

At den højeste optagelsesprocent for N fandtes i 1988, skyldtes formodentlig, at der dette år ikke blev tilført ekstra N i juni måned. En mindre un-

dersøgelse i 1988 viste således, at af 15 kg N tilført d. 13. juni blev kun de 6 kg udnyttet.

P-koncentrationen i kernen var i modsætning til N-koncentrationen højest i 1987, hvilket hang sammen med den lange kernefyldningsperiode, hvorunder P-optagelsen fortsatte. At P-optagelsen, modsat N og K, fortsætter gennem kernefyldningen, fremgår ligeledes af resultater fra *Hejlesen* og *Andersen* (10).

At der er genfundet mere K i toptørstoffet ved høst end tilført er i modstrid med andre undersøgelser (10, 26). Det skyldes formodentlig, at afgrøden på grund af den automatiske overdækning ikke har været udsat for regn og dermed nedvaskning af K fra de modnende planter, som det normalt sker under markforhold (10).

Konklusion

Tørke kan reducere udbyttet af vårbyg i alle faser fra buskning til tidlig kernefyldning. Høj potentiel fordampning i sidste del af udtørringsforløbet forårsager stor udbyttereduktion. Derfor bør man ved vurdering af vandingsbehovet i en bygafgrøde tage højde for det aktuelle klima og ikke blot vækstfasen og jordens vandindhold. Udtørring under sen kernefyldning og modning har ingen effekt på udbyttet.

Kortvarig udtørring har ikke stor effekt på næringsstofoptagelsen og forårsager ikke næringsstofmangel. Hvor N-indholdet i afgrøden har betydning for kvalitetsvurdering som eksempelvis ved maltbygproduktion, skal man dog være opmærksom på det stigende indhold efter tørke.

Litteratur

1. *Andersen, M. N.* 1989. Estimation of drought sensitivity in pea and barley in different growth stages. Adv. Irr. Proc. 2nd Northw. Eur. Irr. Conf. 1987. 47-65.
2. *Anonym* 1967. Forskellig tidspunkt for påbegyndelse af vanding til korn, byg, havre, rug og hvede. Statens Planteavlsvforsøg, Meddelelse nr. 818.
3. *Anonym* 1972. Vanding af byg og havre på sandjord. Statens Planteavlsvforsøg, Meddelelse nr. 1056.
4. *Aslyng, H. C.* 1978. Vanding i jordbruget. DSR Forlag, 167 pp.
5. *Day, W.; Legg, B. J.; French, B. K.; Johnston, A. E.; Lawlor, D. W. & Jeffers, W. De C.* 1978. A drought experiment using mobile shelters: the effect of drought on barley yield, water use and nutrient uptake. J. Agr. Sci., Camb. 91, 599-623.

6. Day, W.; Lawlor, D. W. & Day, A. T. 1987. The effect of drought on barley yield and water use in two contrasting years. *Irrig. Sci.* 8, 115-130.
7. Doorenbos, J. & Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 33.
8. Dragland, S. 1979. Virkninger av forskjellig vasstilgang til bygg og hvete. *Forskn. Fors. Landbr.* 30, 399-413.
9. Gregersen, A. K. & Olesen, J. E. 1983. Sandsynlige værdier for merudbytte ved vanding i vårbyg, græs og kartofler. *Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. S 1668*, 32 pp.
10. Hejlesen, E. & Andersen, J. B. 1984. Stofproduktion og næringsstofoptagelse i vinter- og vårbyg ved forskellige vandingsfrekvenser. *Tidsskr. Planteavl* 88, 49-61.
11. Imtiyaz, M.; Kristensen, K. J. & Mogensen, V. O. 1982. Influence of irrigation on water extraction, evapotranspiration, yield and water use efficiency of spring wheat and barley. *Acta Agric. Scand.* 32, 263-271.
12. Imtiyaz, M. 1983. Growth, yield and water relations of barley as influenced by soil moisture stress. *Doktorafh. KVL*, 202 pp.
13. Jørgensen, U. 1991. Karförsögsanlæg til undersøgelse af planters tørkefølsomhed. *Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. S 2121*.
14. Jørgensen, U. 1991. Udtørring i forskellige vækstfaser i byg og ærter. *Osmotisk tilpasning, prolinindhold og fotosyntese. Tidsskr. Planteavl* 95, 181-203.
15. Jørgensen, V. 1974. Vanding af byg 1968-73. *Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1117*.
16. Jørgensen, V. 1980. Vandingsfrekvensens indflydelse på udbytte og vandforbrug i byg. *Tidsskr. Planteavl* 84, 335-341.
17. Lawlor, D. W.; Day, W.; Johnston, A. E.; Legg, B. J. & Parkinson, K. J. 1981. Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content. *J. Agric. Sci., Camb.* 96, 167-186.
18. Mengel, K. & Kirkby, E. A. 1982. Principles of plant nutrition. *International Potash Institute*, 655 pp.
19. Mogensen, V. O. 1980. Drought sensitivity at various growth stages of barley in relation to relative evapotranspiration and water stress. *Agron. J.* 72, 1033-1038.
20. Morgan, A. G. & Riggs, T. J. 1981. Effects of drought on yield and on grain and malt characters in spring barley. *J. Sci. Agric.* 32, 339-346.
21. Nye, P. H. & Tinker, P. B. 1977. Solute movement in the soil-root system. *Blackwell*, 342 pp.
22. Plauborg, F. & Olesen, J. E. 1991. Udvikling og validering af modellen MARKVAND til vandingsstyring i landbruget. *Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. S 2113*.
23. Simán, G. & Linnér, H. 1980. Styrning av stråsådesgrödans kärnavkastning och proteinhalt genom kvävegödsling efter växtanalys och genom bevattning. *Inst. markvet. avd. växtnär. Uppsala. Rapport 126*, 85 pp.
24. Spennemann, F. 1966. Der Einfluss verschiedener Klimafaktoren auf den Eiweißgehalt und die Siebsortierung bei zweizeiligen Sommergersten. *Z. Acker-Pflanzenbau* 124, 120-133.
25. Spiertz, J. H. J. 1979. Weather and nitrogen effects on rate and duration of grain growth and on grain yield of wheat cultivars. In: *Spiertz, J. H. J. & Kramer, Th. (eds). Crop Physiology and Cereal Breeding. Proc. Eucarpia workshop, Wageningen.* 60-64.
26. Sjøgaard, K. 1986. Deling af kvælstofgødning til vandet byg. *Tørstofproduktion, N-optagelse, N-balance og N-styring. Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. S 1859*, 110 pp.
27. Vos, J. 1979. Effects of temperature and nitrogen on carbon-exchange rates and on growth of wheat during kernel-filling. In: *Spiertz, J. H. J. & Kramer, Th. (eds). Crop Physiology and Cereal Breeding. Proc. Eucarpia workshop, Wageningen.* 80-89.

Manuskript modtaget den 19. december 1990.