

Landbrugsministeriet

Statens Planteavlsvforsøg



Karforsøgsanlæg til undersøgelse af planters tørkefølsomhed

*Container experimental plant for
investigations of plant drought resistance*

Uffe Jørgensen
Afdeling for Kulturteknik
6360 Tinglev

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

Beretning nr. S 2121 - 1991

Landbrugsministeriet

Statens Planteavlsvforsøg



Statens
Planteavlsvcenter
Lottevej 2
2800 Lyngby, Danmark 10

Karforsøgsanlæg til undersøgelse af planters tørkefølsomhed

*Container experimental plant for
investigations of plant drought resistance*

Uffe Jørgensen
Afdeling for Kulturteknik
6360 Tinglev

Tidsskrift for Planteavl's Specialserie

Beretning nr. S 2121 - 1991

Sats: Informationstjenesten

Karforsøgsanlæg til undersøgelse af planters tørkefølsomhed

Container experimental plant for investigations of plant drought resistance

Uffe Jørgensen

Resumé

I beretningen er beskrevet et forsøgsanlæg med 244 kar á 0,0755 m², som er nedsænket i niveau med det omgivende værn. Til vurdering af karforsøgsanlæggets egnethed til undersøgelse af planters tørkefølsomhed er målinger og dyrkningsresultater herfra sammenlignet med resultater opnået under markforhold og med resultater fra et forsøgsanlæg med forsøgsenheder på 2,5 m². Begge anlæg er forsynet med et rullende tag, der i tilfælde af nedbør automatisk overdækker forsøgsarealet.

Undersøgelserne viste, at jordens middeltemperatur i karrene ikke var væsentligt forskellig fra temperaturen målt under markforhold, men døgnsvingningerne var størst i karrene. Både vand-

forbrug og planteproduktion beregnet i forhold til karrenes jordoverflade var stor på grund af luftrum mellem de runde kar, og udtørring forløb hurtigere i kar end i de større forsøgsenheder. Variansen på målinger af udbytte og fysiologiske parametre var af samme størrelsesorden i kar og i de større forsøgsenheder.

Karforsøg kan benyttes til detaljerede undersøgelser af afgrøders tørkefølsomhed i veldefinerede vækstfaser samt til belysning af principielle sammenhænge mellem plantefysiologiske parametre i tørkestressede planter. Der må dog tages forbehold mod direkte overførsel af udbytteresultater til markforhold.

Nøgleord: Karforsøg, vanding, tørkestress, jordtemperatur, bladledningsevne, vandudnyttelse, varianskomponenter.

Summary

An experimental plant with 244 cylindrical containers of 0.0755 m² is described for investigations of plant drought resistance. The containers are 0.6 m deep. They are lowered in the ground and surrounded by a 1 m cropping zone as protection against edge effects. Results from growing spring barley and peas in the containers were compared with results of growing the crops situated under

field like conditions in an experimental area, where the plots were wooden frames of 2.5 m². Both experimental areas are protected from rain by movable shelters.

Irrigation by semi-automated equipment and other cultivation treatments of the crops in the containers were performed satisfactorily and with less consumption of time per experimental unit than

used for the larger frame plots. Irrigation was scheduled by using tensiometers, while soil water content at heavy drought was determined by weighing the containers.

The mean soil temperature in the containers did not differ considerably from the temperature in the field. But the containers showed the largest fluctuations in temperature between day and night. Water use and plant production calculated per unit soil surface of the containers were large because of the air space between the cylindrical containers, and consequently drought stress developed more rapidly here than in the frames. The variance in

measurements of yield and physiological parameters was of the same order of magnitude in containers and frames both inside and between plots. Lodging of peas in late growth stages caused a greater variance in pea yield than in barley yield.

Container experiments can be used for detailed investigations of drought resistance in well defined growth stages of suitable crops. Also, fundamental relations between plant physiological parameters in drought stressed plants can be investigated. However, direct extrapolation of yield results to field scale is not recommendable.

Key words: Container experiment, irrigation, drought stress, soil temperature, leaf conductance, water use efficiency, components of variance.

Indledning

Forsøg til belysning af planters tørkefølsomhed er vanskelige at gennemføre under markforhold, hvor det enkelte forsøgsårs nedbørsforhold får afgørende indflydelse på udtørringstidspunkt og -grad. For at opnå den ønskede udtørring kan der imidlertid opstilles permanente plastic-overdækninger i marken (4, 6), men herved reduceres indstrålingen. Derfor har der på Jyndeved forsøgsstation i en årrække været udført vandingsforsøg i tre forsøgsanlæg, hvor et tag automatisk kører hen over parcellerne i tilfælde af nedbør (11, 12). Man har således mulighed for fuldstændig styring af vandingsbehandlingerne, men ellers er planterne stadig udsat for det naturlige klima. Forsøgsanlæg af denne type udgør således i vandingsforsøg et værdifuldt alternativ til markforsøg og klimakammerforsøg (14).

Forsøgsarealet i de to ældste anlæg ved Jyndeved er inddelt i 32 og 56 rammer á ca. 2,5 m² adskilt af plader af henholdsvis pvc og krydsfiner. Da forsøgsanlæg med rullende tag er en stor investering, er det ønskeligt med mange forsøgsenheder i samme anlæg, hvilket endvidere giver mulighed for at arbejde med flere forsøgsbehandlinger og/eller flere gentagelser. På den baggrund blev der i 1986 bygget et tredje anlæg (se fig. 1), hvor planterne kan dyrkes i 244 kar på hver 0,0755 m².

I årene 1986-88 udførtes et forsøg med udtørring af byg og ærter i forskellige vækstfaser - blandt andet med det formål at belyse karforsøgs anvendelighed til undersøgelse af planters tørkefølsomhed. Forsøget blev i reduceret omfang udført i det mindste

rammeforsøgsanlæg for at sammenligne resultaterne fra de to typer anlæg.

I nærværende beretning gives en detaljeret beskrivelse af karforsøgsanlæggets udformning og funktion, og enkelte resultater fra forsøget med byg og ærter er vist til illustration af vækstforhold og forsøgsbetingelser i karforsøgsanlægget.

For en nærmere beskrivelse af forsøgsplan, udbytteresultater og plantefysiologiske målinger henvises til (7, 8, 9).

Materialer og metoder

Karforsøgsanlæg

Forsøgsareal og kar

Ved dyrkning af planter i fritstående kar er temperatur-, lys-, fordampnings- og pladsforholdene meget forskellige fra forholdene i en markafgrøde. Det er særlig uheldigt ved studier af vandforbrug og tørkestress, hvor de mikroklimatiske forhold har stor betydning. For at mindske disse effekter blev karrene placeret i fire grøfter, således at karoverfladen er i højde med det omgivende areal (se fig. 1 og 2). Åbningerne mellem karrene og grøftens kant blev udfyldt med skumgummi for at mindske luftcirkulationen. Langs grøftens kanter blev sået et 1 m bredt værn. For at skåne værnet mod nedtrampning blev der udlagt trædefliser med passende mellemrum.

Karrene er konstrueret af pvc-rør med en bund af krydsfiner. 1 cm over karrenes bund blev boret et



Fig. 1. Oversigt over karforsøgsanlægget. I forgrunden ses føleren, der ved nedbør aktiverer taget.

Frakørt står taget 6 m øst for forsøgsarealet, så skyggeeffekten er minimal.

View of the experimental plant. The sensor that activates the shelter in case of rain is seen in the foreground. The shelter is parked 6 m east of the experimental area in order to reduce the effect of shade.

par små huller til afdræning af eventuelt overskydende vand. Karrene er 61 cm høje med en diameter på 31 cm og har således et volumen på 46 liter.

I hver grøft er der plads til tre rækker á 24 kar. Det udvendige mål af en grøft er 8 m x 1 m. Planterne i 72 kar havde derfor i forsøget reelt 8 m² at udvikle sig på, mens jordoverfladen i de 72 kar kun var 5,4 m². Det plantedækkede areal var således 1,47 gange større end karrenes jordareal. Resultater for udbytte og vandforbrug er i beretningen angivet pr. jordarealenhed.

Jordfyldning

Jorden i karrene blev udskiftet hvert år, og blev alle år taget fra samme mark (grovsand, JB1). I bunden af karrene blev lagt 2 cm ral til afdræning, derover 27 cm underjord (rødsand) og øverst 30 cm jord fra markens pløjelag (mørkt sand). Ved hjælp af en vibrator blev jorden rystet sammen til en jordtæthed på 1,4 - 1,5 g/cm³.

I 1986 og 1987 blev jorden fyldt i karrene lige inden dyrkningsæsonen, mens jorden til dyrkning

i sommeren 1988 blev påfyldt i december 1987. Det antages at være mest hensigtsmæssig at få fyldt karrene i god tid før såning, da den kraftige iltning af jorden under opblanding og ifyldning kan påvirke jordens egenskaber.

Såning

Ved hjælp af en skabelon blev der markeret huller til frøene, som såedes enkeltvis og bagefter blev dækket med jord iblandet PK-gødning og kieserit. Der blev sået 40 bygkerner eller 12 ærter pr. kar. Ved lugning og eftersåning blev tilstræbt en plantetæthed på henholdsvis 400 bygplanter og 100 ærter pr. m² efter fremspiring.

Vandingsstyring

Forsøgsvandning blev styret ved hjælp af tensiometre. For hvert forsøgsled var der placeret tensiometre i fem kar - to i 20 cm's dybde og tre i 40 cm's dybde. I 1987 blev der bestemt retentionskurver på jorden i karrene. Da jorden hvert år blev taget fra samme mark og blev pakket på samme måde, blev det

antaget, at retentionskurven var repræsentativ for alle tre år. Markkapacitet defineret som vandindhold ved pF2,0 i overjorden og pF1,7 i underjorden var 62 mm for hele karret. Heraf var ca. 44 mm plantetilgængeligt vand. På grund af karrenes ringe dybde afdrænedes jorden aldrig til mere end 60 cm vandsøjle. Derfor kunne karrene rumme ca. 30 mm vand ud over den definerede markkapacitet, før der skete afdræning. Ved vanding blev karrene dog kun bragt op på et vandindhold på 62-70 mm.

Det sidste år blev der konstrueret et system, så karrene kunne vejes ved hjælp af en el-drevet talje og en hængevægt (Berkel). Herved udgjorde karrene en form for vejbare lysimetre med en nøjagtighed på $\pm 100 \text{ g} = \pm 1,3 \text{ mm}$ vand. Bestemmelse af det eksakte vandindhold i jorden krævede dog, at den ifyldte jord var afvejet meget nøjagtigt. Det var ikke muligt at veje kar med voksende ærter, der var filtret sammen med nabokarrenes planter.

Vanding

Vanding af et kar skete ved at tilføre den ønskede vandmængde til en dunk ved siden af grøften (fig. 2). Herfra løb vandet via en slange med seks drypdyser ud i karret. Indledende undersøgelser af vandfordeling ved forskelligt dyseantal viste tilfredsstillende fordeling ved brug af seks dyser. Vandmængden blev doseret ved hjælp af et vandur, der afgav en elektronisk impuls til en styreenhed med impulstæller. Når den forvalgte vandmængde var nået, lukkede en magnetventil for vandstrømmen. Prøver viste, at doseringen skete med en nøjagtighed på $\pm 1 \text{ mm}$.

Arbejdsomt var vandingen rationel. De 244 kar kunne således vandes med omtrent samme tidsforbrug som vanding af de 32 rammer. Anvendes klare slanger, bør disse og drypdyserne udskiftes hvert år, da algevækst i slangene giver problemer med tilstoppede dyser i andet brugsår.



Fig. 2. Grøft med tre rækker kar med ærter. Til venstre ses de dunke, hvorfra vandet via slanger med drypdyser siver ud i karrene.

Ditch with container grown peas in three rows. Irrigation water is dosed into the bottles at the left hand side and from the bottles it trickles out in the containers through tubes with drip-nozzles.

Rammeforsøgsanlæg

Rammernes dimensioner er 2,1 m x 1,2 m, og den ifyldte jord (grovsand, JB1) ligger på arealets naturlige grund. Der var ifyldt 30 cm underjord (rødsand) og 30 cm overjord (mørkt sand) med omtrent samme tæthed som i karrene. Jorden blev ikke skiftet under forsøget, men afgrøderne roterede hvert år. Vandingen skete ved hjælp af et flytbart stativ med drypdyser. Afstanden imellem dyserne var 15 cm. Forsøgsvanding blev styret dels ved hjælp af tensiometre, dels ved hjælp af neutronmoderationsmetoden.

Målinger til vurdering af forsøgsbetingelser

Jordtemperatur

I sommeren 1987 og foråret 1988 blev jordtemperaturen målt i karrene og i et nærliggende markforsøg. Begge steder blev der målt i byg med ensartet behandling med hensyn til såtidspunkt, gødsning og vanding. I 1987 målt i dybderne 5, 15 og 30 cm, mens der i 1988 kun blev målt i 5 cm's dybde. Der blev målt én gang i timen ved hjælp af modstandstermometre (to PT100-følere pr. dybde i 1987, tre i 1988), og målingerne blev lagret på en datalogger (MDL-1000). I 1987 blev der benyttet forskellige kalibreringsprocedurer for følere i kar og i mark, hvorfor de absolutte værdier ikke kan sammenlignes. Døgnsvingningernes forløb kan derimod godt sammenlignes.

Fotosyntese

Enkeltblades CO_2 -forbrug (nettofotosyntese), ledningsevne samt vand- og energibalance blev målt ved hjælp af et transportabelt udstyr (LCA-2, Analytical Development Company, Herts, England). I bladkammeret målt temperatur, luftfugtighed og indstråling, mens luftens CO_2 -indhold før og efter passage af bladkammeret blev målt ved hjælp af infrarød gasanalyse.

Resultater

Jordtemperatur

I fig. 3 er vist jordtemperaturens forløb over to døgn kort efter fremspiring 1988 og et forløb over syv døgn i maj måned, hvor planterne dækkede jorden. Både før og efter dækning af jorden fandtes et ret ensartet temperaturniveau for kar og mark dog med de største døgnsvingninger i karrene. For døgnets middeltemperatur gjaldt, at i perioder med stigende

temperaturer blev den størst i karrene, mens den blev lavest i karrene i perioder med faldende temperatur, som det er illustreret med et eksempel i fig. 4.

Størrelsen af døgnsvingningerne i juni måned 1987 for kar og mark er angivet i tabel 1 for dybderne 5, 15 og 30 cm. Det ses igen, at svingningerne var størst i karrene, men også at svingningernes størrelse aftager med dybden. Af fig. 5 fremgår desuden, at der i karrene, som det normalt findes under markforhold, skete en tidsmæssig forskydning af temperaturkurvernes vendepunkter med dybden.

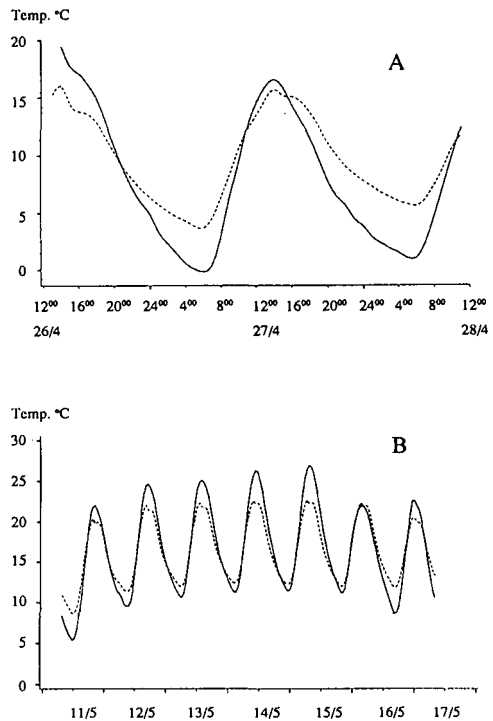


Fig. 3. Jordtemperatur i 5 cm's dybde i kar og mark. 1988. A. 10 dage efter fremspiring. B. Planterne dækkede jorden.

— kar, - - - - - mark.

Soil temperature at 5 cm depth in the containers and in the field. 1988. A. 10 days after germination. B. Soil covered by the crop.

— containers, - - - - - field.



Fig. 4. Døgnet's middeltemperatur i 5 cm's dybde i kar og mark. 1988. — kar, - - - - mark.
Mean of 24 hours soil temperature at 5 cm depth in containers and in the field. 1988.
 — containers, - - - - field.

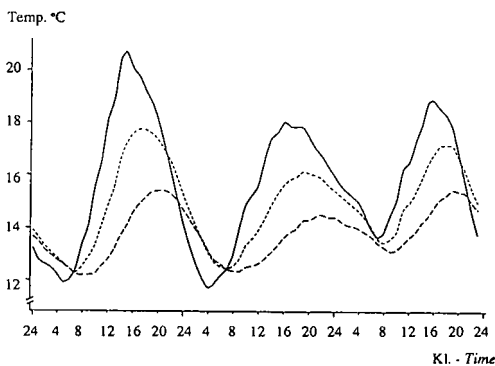


Fig. 5. Jordtemperatur i 5, 15 og 30 cm's dybde i kar, juni 1987.
 — 5 cm, - - - - 15 cm, - · - · 30 cm.
Soil temperature at 5, 15 and 30 cm depth in containers, June 1987.

Tabel 1. Temperatursvingning over døgnet (°C) i gennemsnit af 17 dage i juni 1987.
Difference between maximum and minimum soil temperature (°C) as mean of 17 days in June 1987.

Dybde, cm <i>Depth, cm</i>	Kar <i>Container</i>	Mark <i>Field</i>	LSD ₉₅
5	4,9	3,0	0,9
15	3,1	1,8	0,7
30	2,0	1,0	0,4

Karrenes vandindhold

Bestemmelse af karrenes vandindhold med tensiometre og ved vejning gav samstemmende resultater, når det skete indenfor tensiometrenes virkeområde (fig. 6). Figuren stammer fra 10 dages vejning og tensiometermåling i to kar med byg. I hvert kar var der både et tensiometer i 20 og 40 cm's dybde.

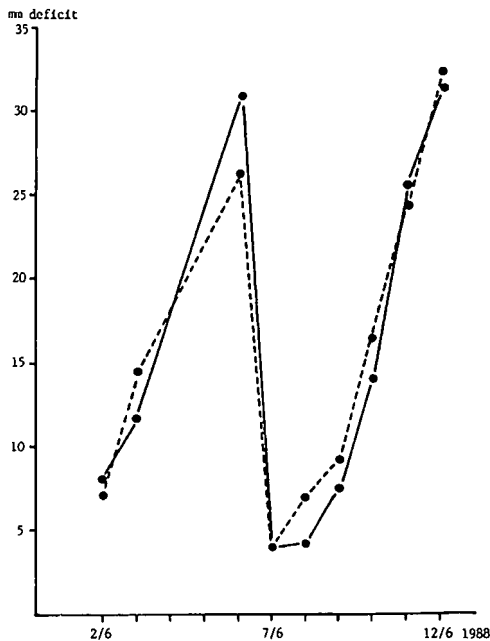


Fig. 6. Vandunderskud i jorden bestemt dels ved hjælp af tensiometre, dels ved at veje karrene.
 — tensiometerbestemt, - - - - bestemt ved vejning.
Soil water deficit determined by tensiometers and by weighing of the containers.
 — tensiometer determination, - - - - determined by weighing.

Vandforbrug

Det kunne forventes, at vandforbruget pr. jordarealenhed i karrene var stort af to grunde. Dels var „fordampningsoverfladen“ fra plantedækket 1,47 gange så stor som jordoverfladen, dels kunne forventes en „ørkeneffekt“ i form af advektion fra det åbne areal omkring kar og værn.

Tabel 2. Vandforbrug og vandudnyttelse (VU) (kg frø/ha • mm) i fuldt vandede forsøgsled.
Water use (mm) and water use efficiency (VU) (kg seed/ha • mm) in fully irrigated treatments.

		<u>Kar - Containers</u>		<u>Rammer - Frames</u>		<u>Mark - Field</u>	
		forbrug, mm	VU	forbrug, mm	VU	forbrug, mm	VU
1986	Byg - Barley	249	21,8	210	18,2	278	19,9
	Ærter - Peas	631	16,3	348	14,1	253	20,1
1987	Byg	336	26,7	278	21,7	161	30,7
	Ærter	371	19,9	258	15,6		
1988	Byg	292	24,4	250	21,2		
	Ærter	413	22,0	226	17,1		

I tabel 2 er angivet vandforbruget pr. jordarealenhed for hele dyrknings sæsonen i de tre forsøgsår. Til sammenligning ses værdierne fra rammeforsøget og et par værdier fra andre markforsøg ved Jydeved. Vandforbruget var størst i karrene, men divideres der med faktoren 1,47, som korrektion for forholdet mellem plantedække og jordoverflade, udjævnes forskellen. Vandforbruget var heller ikke stort i forhold til det producerede plantetørstof, hvilket fremgår af vandudnyttelsen, der var højere i kar end i rammer.

Af tabellen ses også, at vandforbruget i karrene var væsentligt højere for ærter end for byg, hvilket ikke var tilfældet i rammer og mark. Det skyldes formodentlig, at væmet etableredes bedre omkring byggen end omkring ærterne.

Vandforbruget af byg i strækingsfasen blev fulgt ved daglige vejninger af karrene i en periode på 10 dage i 1988. I det fuldt vandede led var fordampningen 34,4 mm i perioden. En fordampningsmåler viste i samme periode et forbrug på 21,3 mm. Hvis overfladefaktoren 1,47 indregnes, findes et forhold (afgrødefaktor) mellem fordampningen fra byg og fra fordampningsmåler på 1,1. Heller ikke dette resultat tyder på nogen „ørkeneffekt“ i karanlægget, idet både Jørgensen (10) og Andersen (1) fandt en afgrødefaktor på 1,3 for byg i markforsøg i juni måned.

Selv om der var samme jordtype i kar og rammer, blev udtørningsforløbet kortest i karrene. Det fremgår således af eksemplet i fig. 7, at selv om jordvandspotentiallet den 1/6 var størst i karrene, nåede de først maksimal udtørring, og de blev opvandet den 10/6, mens rammene først blev opvandet den 13/6.

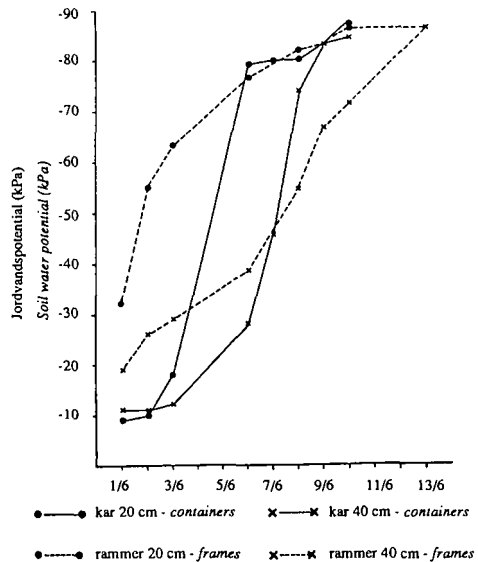


Fig. 7. Udtørningsforløb i byg i kar og rammer målt 1988 med tensiometre i 20 og 40 cm's dybde.

Development of drought stress in barley in containers and frames 1988 measured with tensiometers at 20 and 40 cm depth.

Stofproduktion

Forløbet af tørstofakkumuleringen i byg i henholdsvis kar og rammer (fig. 8) viser, at akkumuleringen pr. jordarealenhed var ca. 1,5 gange højere i kar end i rammer, svarende til faktoren 1,47

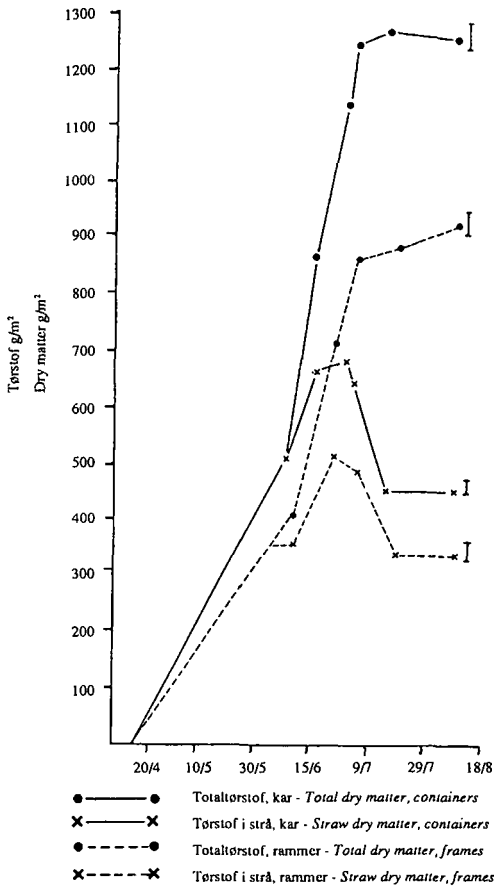


Fig. 8. Tørstofakkumulering i byg i kar og rammer, 1988. For hver parameter er med søjle angivet \pm spredningen på middelværdien i gennemsnit over måletidspunkterne. Tre gentagelser i kar, to i rammer.

Barley dry matter accumulation in containers and frames, 1988. Bars indicate \pm standard error as a mean of the measurement dates. Three replicates in containers and two in frames.

mellem plantedække og jordareal i karanlægget. Forløbet af omlejringen fra strå til kerne var dog stort set parallelt i de to anlæg.

Afgrødefysiologisk reaktion på fordampningsstress

Bladenes ledningsevne, CO_2 -forbrug og vandudnyttelse (CO_2 -forbrug/fordampning) i fuldt vandet

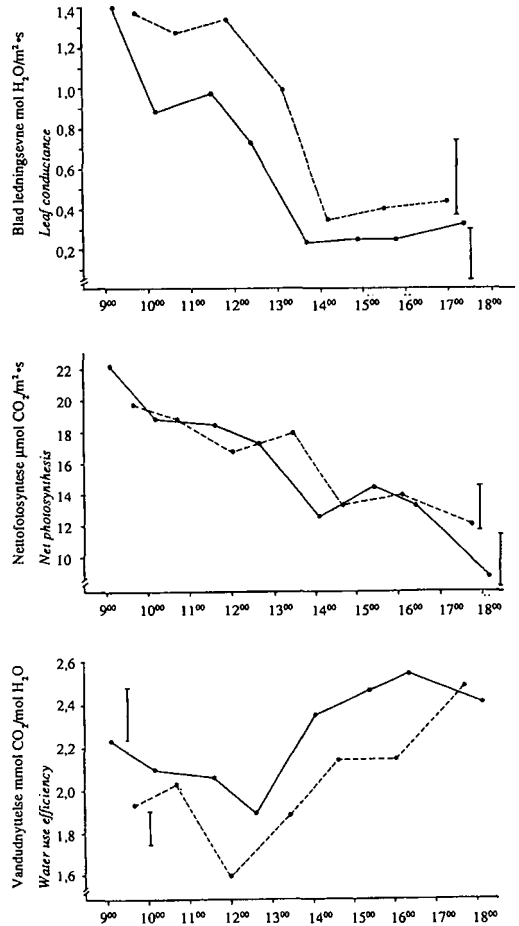


Fig. 9. Bladledningsevne, netfotosyntese og vandudnyttelse i fuldt vandet byg i kar (—) og rammer (-----). Målingerne er foretaget på bladet under fanebladet den 10.06.88. For hvert forsøgsanlæg er angivet \pm spredningen på middelværdien i gennemsnit af måletidspunkterne. Tre gentagelser i kar, to i rammer.

Leaf conductance, net photosynthesis and water use efficiency in fully irrigated barley in containers (—) and frames (-----). Measurements were undertaken on the leaf below the flag leaf on June 10, 1988. Bars indicate \pm standard error for each site as a mean of the measurement hours. Three replicates in containers and two in frames.

byg i løbet af en dag med klart solskin er vist i fig. 9. Målingerne er foretaget på bladet nedenfor fanebladet, og hvert punkt er gennemsnit af to målinger i hver af de tre gentagelser. Jordvandspotentialiet i kar og rammer var stort set ens og ingen steder under -30 kPa.

Det ses, at bladenes ledningsevne hele dagen var mindst for byg i kar, hvilket også var tilfældet med fordampningen (ikke vist). Bladtemperaturen var derimod højest i karrene (ikke vist). CO₂-forbruget var ikke forskelligt mellem byg i kar og rammer, hvilket kombineret med forskellen i fordampning betød, at vandudnyttelsen ved CO₂-fiksering, ligesom det blev fundet for kerneudbyttet (tabel 2), var bedst i karrene.

De statistiske analyser af resultaterne viste, at der var en systematisk effekt af karrenes placering i den østlige, midterste eller vestlige række i grøfterne.

Variansen på udbytte og fysiologiske parametre

En fordel ved de mange forsøgsheder i kar anlægget er, at det ved statistisk vurdering af behandlingseffekter er muligt at opnå målinger fra mange uafhængige gentagelser. Flere målinger i samme forsøgsheder kan ikke betragtes som uafhængige og medvirker blot til en sikrere bestemmelse af enhedens værdi.

For at opnå statistisk fordel af flere uafhængige gentagelser er det dog en betingelse, at dyrkningen

i de små kar ikke medfører en øget tilfældig variation imellem forsøgshederne. I små forsøgsheder, hvor forholdet mellem omkreds og areal er stort, er der en øget risiko for randeffekter, som kan give sig udtryk i en øget variation inden for forsøgshederne.

I to måleserier af bladenes ledningsevne i byg blev der for hvert forsøgsled målt på 2-5 blade i hver ramme eller kar, og det var således muligt at vurdere variansen både inden for og mellem forsøgsheder. Første måleserie bestod af syv gentagne målinger i løbet af en dag, mens anden måleserie blev udført over fem dage. Varianskomponenterne for ledningsevnen er angivet i tabel 3, og variansen på differensen mellem to forsøgsled er beregnet efter formlen:

$$\text{Var}_{\text{diff}} = 2 (S_p^2/b + S^2/(b c))$$

S_p og S er spredningen henholdsvis mellem og inden for forsøgshederne, b er antal gentagelser pr. forsøgsled og c antal målinger pr. forsøgsheder. Variansen på differensen mellem to forsøgsled er et udtryk for, hvor store behandlingsforskelle der kan påvises statistisk. Det fremgår af formlen, at kun flere gentagelser pr. forsøgsled kan mindske variansbidraget både fra S_p og S, hvilket er en af årsagerne til, at det er ønskværdigt med mange gentagelser. For måleserie 1 var variansen lidt større i rammer end i kar både mellem og inden for forsøgsheder. For måleserie 2 var variansen derimod størst i karrene.

Tabel 3. Varianskomponenter fra to måleserier af bladledningsevne. Værdierne er gennemsnit fra hhv. syv og fem målerunder. Enhed mol/m²•s.

Components of variance from two series of measurements of leaf conductance. Values are means of 7 and 5 measurements, respectively. Unit mol/m²•s.

Serie Series	Anlæg Area	Varians - Variance		
		mellem fs.enheder between exp. plots	inden for fs.enheder inside exp. plots	på differens mellem forsøgsled on difference between treatments
1	Kar Containers	0,0172	0,0225	2 x (0,0172/3 + 0,0225/6) = 0,0190
1	Rammer Frames	0,0294	0,0292	2 x (0,0294/2 + 0,0292/6) = 0,0391
2	Kar	0,0046	0,0427	2 x (0,0046/3 + 0,0427/9) = 0,0126
2	Rammer	0,0029	0,0181	2 x (0,0029/2 + 0,0181/10) = 0,0065

Tilsvarende er i tabel 4 vist varianskomponenter fra en måleserie af bygs højdetilvækst i strækningssfasen. Der er målt over syv dage. I karrene målt hver dag på 3 skud x 3 kar = 9 målinger pr. forsøgsled. I rammerne målt på 5 skud x 2 rammer = 10 målinger pr. forsøgsled. Variansen inden for forsøgsheder var mindst i karrene, hvor der til gengæld var størst varians mellem forsøgshederne. Sammenlagt betyder det, at variansen på differensen mellem to led var størst i karrene.

En noget anden form for målinger er udbyttebestemmelser, der giver et resultat, som er summen af en hel vækstsæsons påvirkninger. Der er kun mulighed for én bestemmelse pr. gentagelse. I tabel 5 er angivet variansen mellem forsøgsheder i kar og rammer for udbyttet af frø og halm. Resultaterne er gennemsnit over tre år. De viser dels, at variansen var væsentlig større for ærter end for byg, dels at der er tendens til større varians i rammer end i kar.

Ingen af de fundne forskelle i variansernes størrelse mellem de to forsøgsanlæg er signifikante.

Diskussion

I litteraturen beskrives ofte to typer forsøgsanlæg til studier af tørkestress, dels ramme/lysimeter-anlæg (fx 2, 8, 9, 11), dels vækstkamre eller udendørs anlæg med fritstående kar eller pletter (fx 5, 16). Der er ikke fundet beskrivelser af automatisk overdækkede karforsøgsanlæg, som er tilnærmet markforhold ved nedsænkning af karrene og etablering af værn.

De tre forsøgsår viste, at det rent praktisk var muligt at gennemføre vandingsforsøg i karforsøgsanlægget, og at arbejdsforbruget til vanding og anden pasning var væsentlig mindre pr. forsøgsheder end i et forsøgsanlæg med rammer.

Byg var en velegnet afgrøde til dyrkning i karanlægget på grund af den oprette vækst, mens ærternes væltning i slutningen af vækstsæsonen gav problemer med værnedækning og medførte større tilfældig variation i udbytteresultaterne end

Tabel 4. Varianskomponenter ved måling af højdetilvækst i byg. Værdierne er gennemsnit fra syv målerunder. Enhed mm/døgn.

Components of variance from height measurements in barley. Values are means of seven measurements. Unit mm/24 hours.

	Varians - Variance		
	mellem fs.enheder <i>between</i> <i>exp. plots</i>	inden for fs.enheder <i>inside</i> <i>exp. plots</i>	på differens mellem forsøgsled <i>on difference between treatments</i>
Kar - Containers	18,6	89,4	$2 \times (18,6/3 + 89,4/9) = 32,3$
Rammer - Frames	7,8	104,4	$2 \times (7,8/2 + 104,4/10) = 28,7$

Tabel 5. Variansen mellem forsøgsheder i hhv. frø- og halmudbytte. Værdierne er gennemsnit af tre år. Enhed g tørstof/m².

The variance between experimental plots on grain and straw yield, respectively. Values are means of three years. Unit g dry matter/m².

	Frø - Seed		Halm - Straw	
	ært - pea	byg - barley	ært - pea	byg - barley
Kar - Containers	1433	168	698	168
Rammer - Frames	3103	340	547	396

for byggens vedkommende. Dette var dog også tilfældet i rammeanlægget.

Både byg og ærter egnede sig ved, at det var muligt at så adskillige planter pr. kar, således at individvariationens indflydelse på udbyttet blev mindsket. Desuden var alle de målte udbytteparametre kontinuerte variable, hvilket ikke forudsætter et så stort individantal for at opnå et pålideligt estimat for parameteren som ved undersøgelse af parametre med diskret fordeling (fx antal revnede gulerødder).

De statistiske analyser af både udbytteresultater og fysiologiske parametre målt i karanlægget viste, at der var en systematisk effekt af et kars placering i henholdsvis den østlige, midterste eller vestlige række i en grøft. Rækkkerne bør derfor ved udformning af forsøgsplaner betragtes som blokke.

Nedsænkningen af karrene i grøfter sikrede, at jorden primært blev opvarmet og afkølet fra oven, som det fremgår af, at temperatursvingningerne blev mindre med dybden og tidsmæssigt blev forskudt. Døgnet's middeltemperatur i jorden i karrene var ikke væsentligt forskellig fra temperaturen i marken, men døgnsvingningerne var større. Luften omkring karrene bevirkede, at jordtemperaturen ændredes hurtigere end i marken. Ifølge Kramer (13) kan høj jordtemperatur have en negativ indflydelse på vandoptagelsen, hvilket således kan have betydning i karrene midt på dagen. I perioder med stigende temperatur blev døgnet's middeltemperatur højest i karrene. Det betyder, at karrene opvarmes hurtigere i foråret, hvilket kan medføre en lidt tidligere fremspiring end i marken.

Erfaringerne fra forsøget viste, at vandingsstyringen af arbejds-mæssige grunde foregik bedst ved hjælp af tensiometre, der dog ikke kan måle udtørring til mere end ca. -85 kPa. I forsøget blev der udtørret til ca. 40 mm's deficit svarende til et jordvandspotential på ca. -200 kPa i 20 cm's dybde på denne jordtype. Hvis der ønskes nøjagtige målinger af vandforbruget ved stor udtørring, kan karrene vejes, som de blev det i denne undersøgelse. Det vil dog sandsynligvis være mere hensigtsmæssigt, at benytte sig af måling efter TDR-metoden (bestemmelse af jordens dielektricitetskonstant), der i modsætning til neutronmoderationsmetoden egner sig til måling af vandindhold i et lille jordvolumen (2). Metoden er dog endnu ikke tilstrækkeligt afprøvet under danske forhold.

Da tensiometrene i henholdsvis 20 og 40 cm's dybde var placeret i forskellige gentagelser, fandtes kun ét udtryk for jordvandsindholdet pr. forsøgsbehandling. Ønskes bestemmelse af jord-

vandsindholdet i et givet kar til sammenligning med en anden parameter målt i samme kar, kan det ske ved vejning eller evt. TDR-måling.

Variansen mellem gentagelser beregnet for udvalgte parametre var ikke større i karanlægget end i rammeanlægget. Hvis dette gælder generelt, betyder det - sammenholdt med de mange forsøgsheder i karanlægget - at der her er forbedret mulighed for at undersøge effekten af mange forsøgsbehandlinger og/eller opnå større statistisk sikkerhed ved undersøgelse af behandlingsforskelle.

Fordampningen pr. jordarealenhed var stor fra karrene, fordi „planteoverfladen“ var større end jordoverfladen. Udtørringsforløbet i karrene blev derfor kortere end på en tilsvarende jordtype i marken. Længden af et udtørringsforløb kan have betydning for planternes stresstilpasning - fx for graden af osmotisk tilpasning (15) og for, om stofproduktionen mindskes som følge af reduceret bladareal, som det sker ved langsom udtørring eller som følge af lavere fotosyntese pr. bladareal efter hurtig udtørring (9).

Udtørringsforløbet i karrene kan forlænges ved at anvende en jordtype med et lidt større indhold af tilgængeligt vand end i marken. Alternativt kan fordampningen pr. jordareal mindskes ved at anvende firkantede kar, der ikke levner lufttrum mellem karrene.

Med et veletableret, 1 m bredt værn, som det lykkedes at etablere omkring bygafgrøden, var fordampningen pr. plantedækket areal af samme størrelsesorden, som fandtes i rammerne, og som kan forventes at findes i marken. Imidlertid voksede værnet omkring ærterne ikke tilstrækkeligt til, og der opstod et ekstraordinært stort vandforbrug.

En måling af bladenes ledningsevne viste mindre værdier i kar end i rammer på trods af samme jordvandspotential og makroklima i de to forsøgsanlæg. Det kunne tyde på størst stresspåvirkning i karanlægget, men da der ikke fandtes andre indikationer på „ørkeneffekt“ eller øget tørkestress her, kan den mindre ledningsevne evt. skyldes små forskelle i bladalder mellem forsøgsanlæggene, idet bladenes ledningsevne falder med alderen (9).

En afgrødes rodfordeling i jordprofilen kan have betydning for tærskelværdier for indtræden af tørkestress (3), men det gælder dog specielt, hvor der er mulighed for dyb rodudvikling. På grovsandet jord er roddybden normalt begrænset til 50-60 cm, hvilket svarer til kardybden. Rodfordelingen i karrene har derfor næppe større indflydelse på udviklingen af tørkestress, end almindelig jordvariation har for forsøg under markforhold.

Ved anvendelse af små forsøgsenheder risikerer man, at væksten i én enhed er påvirket af de behandlinger, som er påført naboehederne. Legg et al. (14) nævner følgende naboeffekter, som specielt kan være et problem i vandingsforsøg: Horisontal vandbevægelse i jorden, skygning som følge af forskellig plantehøjde og tilstrømning af vanddamp, CO₂ og varme. Horisontal vandbevægelse mellem naboplots har ikke fundet sted i dette forsøg, mens der kan have været en virkning af de andre forhold (8). De korte udtørningsforløb til forholdsvis lave udtørningsgrader af jorden har dog begrænset virkningerne heraf, og hverken variansen inden for eller mellem gentagelser var større i kar end i rammer, der ellers på grund af det 33 gange så store areal kunne tænkes at være mindre udsat for randvirkninger.

Det ændrede forhold mellem plantedække og jordoverflade betyder sammen med en risiko for nabovirkning, at man må være varsom med at drage kvantitative konklusioner på baggrund af forsøg i kar anlægget. Anlægget er derfor bedst egnet til grundlæggende studier, men kan også benyttes til „screening“ af et større materiale for at påvise fx særlig tørkefølsomme vækstfaser, eller til at påvise relative forskelle mellem forsøgsbehandlinger.

Konklusion

Forsøg til undersøgelse af planterens tørkefølsomhed kan udføres i et karforsøgsanlæg, som det er skitseret i beretningen. Anlæggets fordele består i et stort antal forsøgsenheder, som kræver lille arbejdsindsats pr. enhed og giver mulighed for at undersøge effekten af mange behandlinger med en tilfredsstillende statistisk sikkerhed. Karrene er placeret i grøfter omgivet af et værn, hvorved jordtemperatur og mikroklima kun afviger lidt fra markforhold.

Planterne i de runde kar bredte sig ud over karrenes grundareal, hvorved planteproduktion og vandforbrug blev stort i forhold til grundarealet. Resultater fra karforsøget kan derfor næppe anvendes til direkte modellering af sammenhæng mellem jordvandsindhold, fordampning og udbytte. Derimod kan udbytte- og kvalitetsresultater fra kar anlægget udpege vækstfaser, som er særlig følsomme for tørkestress og samtidig kan måling af plantefysiologiske størrelser og udbyttekomponenter give øget viden om mekanismerne bag tørkes udbyttepåvirkninger.

Afgrøder, der skal undersøges i karforsøg, bør kunne dyrkes med flere planter i hvert kar for at undgå for stor indflydelse fra individvariationen. Endvidere må vurderes, om der kan opnås tilstrækkeligt plantemateriale til at belyse de relevante udbytte- og kvalitetsparametre.

Erkendtlighed

Cand. scient *Karen Søgaard* var ansvarlig for udformning og opbygning af karforsøgsanlægget samt gennemførelse af forsøg i 1986.

Projektet blev finansieret af Landbrugets Samaråd for forskning og forsøg (Program: Vand, vanding og planteproduktion, 6-4).

Litteratur

1. *Andersen, M. N.* 1989. Estimation of drought sensitivity in pea and barley in different growth stages. Adv. Irrig. Proc. 2nd Northw. Eur. Irrig. Conf. 1987, 47-65.
2. *Baker, J. M. & Lascano, R. J.* 1989. The spatial sensitivity of time-domain reflectometry. Soil Sci. 147, 378-384.
3. *Berliner, P. R. & Oosterhuis, D. M.* 1987. Effect of root and water distribution in lysimeters and in the field on the onset of crop water stress. Irrig. Sci. 8, 245-255.
4. *Dragland, S.* 1975. Nitrogen- og vassbehov hos kepaløk. Forskn. Fors. Landbr. 26, 93-113.
5. *Imtiyaz, M.* 1983. Growth, yield and water relations of barley as influenced by soil moisture stress. Doktorafh. KVL, 202 pp.
6. *Jensen, F.* 1987. Vandingsbehov i forskellige vækstfaser hos ærter. Tidsskr. Planteavl 91, 113-119.
7. *Jørgensen, U.* 1991. Udtørring i forskellige vækstfaser i byg. Vækstforløb, næringsstofoptagelse og udbytte. Tidsskr. Planteavl 95, (under trykning).
8. *Jørgensen, U.* 1991. Udtørring i forskellige vækstfaser i ærter. Vækstforløb, næringsstofoptagelse og udbytte. Tidsskr. Planteavl 95, (under trykning).
9. *Jørgensen, U.* 1991. Udtørring i forskellige vækstfaser i byg og ærter. Osmotisk tilpasning, prolinindhold og fotosyntese. Tidsskr. Planteavl 95 (under trykning).

10. *Jørgensen, V.* 1979. Planternes vandforbrug, klimaforhold og planteproduktion. Tidsskr. Planteavl 83, 287-304.
11. *Jørgensen, V.* 1980. Vandingsfrekvensens indflydelse på udbytte og vandforbrug i byg. Tidsskr. Planteavl 84, 335-341.
12. *Jørgensen, V.* 1984. Vandforsyningsens indflydelse på udbytte og kvalitet af kartofler. Tidsskr. Planteavl 88, 453-468.
13. *Kramer, P. J.* 1983. Water relations of plants. Academic Press, 489 pp.
14. *Legg, B. J., Day, W., Brown, N. J. & Smith, G. J.* 1978. Small plots and automatic rain shelters: a field appraisal. J. Agr. Sci., Camb. 91, 321-336.
15. *Turner, N. C. & Begg, J. E.* 1981. Plant-water relations and adaption to stress. Plant Soil 58, 97-131.
16. *Wahab, A. M. A. & Zahran, H. H.* 1979. The effect of water stress on $N_2(C_2H_2)$ -fixation and growth of four legumes. Agricultura 28, 383-400.

Afdelinger mv. under Statens Planteavlsvforsøg

Direktionen

Direktionssekretariatet, Skovbrynet 18, 2800 Lyngby.....	45 93 09 99
Informationstjenesten, Skovbrynet 18, 2800 Lyngby	45 93 09 99
Afdeling for Biometri og Informatik, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	45 93 09 99

Landbrugscentret

Centerledelse, Fagligt Sekretariat, Forskningscenter Foulum, Postbox 23, 8830 Tjele.	86 65 25 00
Afdeling for Grovfoder og Kartoffler, Forskningscenter Foulum, Postbox 21, 8830 Tjele	86 65 25 00
Afdeling for Industriplanter og Frøavl, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde.....	42 36 18 11
Afdeling for Sortsafprøvning, Teglværksvej 10, 4230 Skælskør	53 59 61 41
Afdeling for Kulturteknik, Flensborgvej 22, 6360 Tinglev.....	74 64 83 16
Afdeling for Jordbiologi og -kemi, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby.....	45 93 09 99
Afdeling for Planteernæring og -fysiologi, Vejenvej 55, 6600 Vejen	75 36 02 77
Afdeling for Jordbrugsmeteorologi, Forskningscenter Foulum, Postbox 25, 8830 Tjele	86 65 25 00
Afdeling for Arealdata og Kortlægning, Enghavevej 2, 7100 Vejle	75 83 23 44
Borris Forsøgsstation, Vestergade 46, 6900 Skjern.....	97 36 62 33
Lundgård Forsøgsstation, Kongeåvej 90, 6600 Vejen	75 36 01 33
Rønhave Forsøgsstation, Hestehave 20, 6400 Sønderborg.....	74 42 38 97
Silstrup Forsøgsstation, Oddesundvej 65, 7700 Thisted	97 92 15 88
Tylstrup Forsøgsstation, Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup.....	98 26 13 99
Ødum Forsøgsstation, Amdrupvej 22, 8370 Hadsten	86 98 92 44
Laboratoriet for Biavl, Lyngby, Skovbrynet 18, 2800 Lyngby.....	45 93 09 99
Laboratoriet for Biavl, Roskilde, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde.....	42 36 18 11

Havebrugscentret

Centerledelse, Fagligt Sekretariat, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Afdeling for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev.....	65 99 17 66
Afdeling for Blomsterdyrkning, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Afdeling for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev.....	65 99 17 66
Afdeling for Landskabsplanter, Granlidevej 22, Hornum, 9600 Års.....	98 66 13 33
Laboratoriet for Forædling og Formering, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Laboratoriet for Gartneriteknik, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev.....	65 99 17 66
Laboratoriet for Levnedsmiddelforskning, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	65 99 17 66

Planteværnscentret

Centerledelse, Fagligt Sekretariat, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10
Afdeling for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby.....	45 87 25 10
Afdeling for Jordbrugszoologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10
Afdeling for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse.....	53 58 63 00
Afdeling for Pesticidanalyser og Økotoksikologi, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	53 58 63 00
Bioteknologigruppen, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10

Centrallaboratoriet

Centrallaboratoriet, Forskningscenter Foulum, Postbox 22, 8830 Tjele	86 65 25 00
--	-------------