

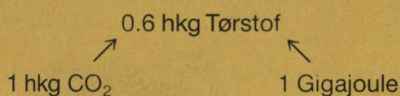


Statens
Planteavlsforsøg

Beretning nr. S 1903

Høstudbytte og klima

Erika Löhr og D. Müller
Københavns Universitet
Plantefysiologisk Institut

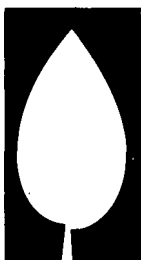


Klimaloven

Jo større den stående afgrøde er, jo mere afhænger udbyttet af de tre klimafaktorer, hvis intensitet svinger fra år til år:
Vand-, Temperatur- og Lysfaktoren

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1987



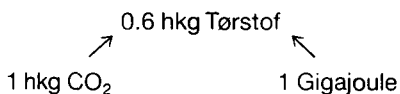
Statens
Planteavlsforsøg

Danmarks JordbrugsForskning
Biblioteket
Forskningscenter Flakkebjerg
4200 Slagelse

Beretning nr. S 1903

Høstudbytte og klima

Erika Löhr og D. Müller
Københavns Universitet
Plantefysiologisk Institut



Klimaloven

Jo større den stående afgrøde er, jo mere afhænger udbyttet af de tre klimafaktorer, hvis intensitet svinger fra år til år:
Vand-, Temperatur- og Lysfaktoren

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1987

<u>Indholdsfortegnelse</u>	Side
1. Planteproduktion og målestørrelser	5
2. Høstudbyttet afhænger i stigende grad af klimafaktorerne	6
3. Høstudbyttet og klimafaktorerne	7
4. Den fremtidige planteavlsforskning i Danmark	9
5. Bygafgrøder i Danmark	9
6. Fosfat og vandfaktoren	12
7-8. Begrundelse for at klimafaktorerne bør undersøges	13
9. Betydningen af daglig 24 timers analyse af stof- produktionen	14
10. Analysemetoder	14
11. Kultveilte, tørstofindtægt og tørstof-tab	19
12. Stoffordelingens betydning for nettoproduktionen	22
13. Forholdet mellem over- og underjordiske dele	25
14. Inddeling af klimafaktorerne i to grupper	26
15. Klimafaktorer i gruppe 1: Kultveiltetryk, luftstrømninger og daglængde	27
16. Klimafaktorer i gruppe 2: Vand-, temperatur- og lysfaktoren	31
17. Vandfaktoren	33
18. Temperaturfaktoren	35
19. Lysfaktoren	49
20. Klimaloven	65
Mindeord og tak	67
Resumé	69
Summary: Crop and Climate	73
Litteratur	76

1. Planteproduktion og målestørrelser.

I planteavlens måles jordarealerne i ha, høstudbyttet i hkg pr ha, belysningen i MJ pr m^2 (1 MJ = 1 megajoule = 1 mio joule) eller i ly (1 ly = 1 gramcalorie pr cm^2), tørstoftabet ved ånding i g kultveilde udskilt pr 100 g plantetørstof pr time, fotosyntesen, dvs brutto- og nettoproduktion af tørstof, i mg kultveilde forarbejdet pr 100 cm^2 bladareal, ensidig målt, pr time, og endelig nedbøren i mm eller cm.

Standardisering: I det følgende er alle stofskiftestørrelser anført pr ha bevoksning, pr ha bladareal og pr hkg tørstof.

Belysningen violet-rødt, bølgeområdet λ 400-700 nm, (nm = nanometer = 10^{-9} m, en tusind milliontedel af 1 m) er angivet i GJ pr ha, dels pr time, dels pr 24 timer. Tabel 7 og 8 kan forhåbentlig vinde forståelse for og fortrolighed med målestørrelsen GJ (1 GJ = 1 gigajoule = 10^9 J, dvs tusind mio joule). - Strålingen 400-700 nm udgør meget nær 50% af den totale indstråling, globalstrålingen, 300-3000 nm, *Aslyng 1980*.

Åndingstabet, dvs tørstoftabet ved ånding, meddeles i hkg tørstof tabt ved ånding pr ha bevoksning pr 24 timer. Fig 4,5,6 og 7 kan indprente dette det største negative led i regnskabet for nettoproduktionen, se tabel 2b og s 31-42.

Fotosyntesen, dvs brutto- og nettoproduktionen, er opgjort i hkg tørstof pr ha bladareal, ensidig målt, pr time i fig 8 og pr ha bevoksning i tabel 9. Brutto- og nettoproduktionen pr ha bevoksning pr time er illustreret i fig 9.

Nettoproduktionen, dvs bruttoproduktionen minus åndingstab, er målt i hkg tørstof pr ha bevoksning pr time i tabel 9 og pr 24

timer i fig 10. Se tabel 2a,2b,3 og 9, tag en fotokopi af fig 10.

Bladarealer er bladpladernes areal, ensidig målt, i ha. Kornarternes bladskeder har foruden støttefunktion også fotosyntese, som er indbefattet i brutto- og nettoproduktionen i tabel 2a,2b,3 og 9 samt fig 9 og 10. Bladarealer i dansk bøgeskov er godt kendt. Nogle tal, alt for få, for bladarealer i danske markafgrøder, se *Löhr 1975*, s 76-78.

Nedbøren bliver foruden i cm eller mm også angivet i hkg pr ha. Danmark modtager gennemsnitlig 60 cm nedbør årlig, dvs 60 000 hkg pr ha. Såfremt de 60 cm nedbør er målt ved 10⁰ C, bliver det ganske vist kun 59 984 hkg, svarende til en målefejl på 0.16 mm pr år, en helt ubetydelig fejl, navnlig i betragtning af, at den målte nedbør normalt kun udgør ca 85% af den faldne nedbør, hovedsagelig på grund af luftstrømninger i målehøjden 2 m (*P.Allerup & H.Madsen 1979*). *Lysgaard 1945* skriver: "1 mm nedbør = 1 kg vand pr m²." Bemærk hellere: 1 mm nedbør = 100 hkg vand pr ha, eller 1 cm nedbør = 1 000 hkg vand pr ha.

2. Høstudbyttet afhænger i stigende grad af klimafaktorerne.

Størrelsen af høstudbyttet, nettoproduktionen af stof, bestemmes alene af tre processer: Fotosyntese, stoffordeling og stoftab. Og størrelsen af de tre processer styres udelukkende af fire grupper af faktorer: Arvefaktorer, klimafaktorer, jordbunds-faktorer og sygdomsfaktorer. Tilsyneladende såre simpelt, i virkeligheden såre indviklet. Blandt andet optræder klimafaktorerne også som jordbunds-faktorer. Det gælder navnlig vand- og temperaturfaktoren, men også lysfaktoren, der indvirker på jordens temperatur.

Siden midten af 1800-tallet har man stræbt efter at gøre jordbunds-faktorerne så gunstige som muligt. Man har nærmet dem optimum, det bedste. Og man har med flid søgt at minimere sygdomsfaktorerne, nærmet dem til minimum. Kort sagt, siden midten af 1800-tallet har man stræbt efter at optimere jordbunds-faktorerne og minimere sygdomsfaktorerne. Derfor skrev Löhr i 1975: "Jo mere man optimerer jordbunds-faktorerne ved jordbehandling, gødskning og kalkning, jo mere bliver afgrøderne afhængige af de klimatiske faktorer, vand-faktoren og sygdomsfaktorerne", *Löhr 1975*, s. 229.

3. Er det rigtigt, at høstudbytterne i stigende grad afhænger af klimafaktorerne?

Spørgsmålet er af afgørende betydning. Alle danske undersøgelser bekræfter entydigt, at høstudbyttet i stigende grad afhænger af klimafaktorerne.

For markafgrøder gælder det undersøgelser af R.K.Kristensen 1937, 1941, G.Rasch 1950 og E. Poulsen 1956, og for æblehøsten undersøgelser af N.Dallum & S.Dalbro 1956. I R.K.Kristensens tal-materiale skejer havre på Askov Lermark ud, idet forskellen mellem højeste og laveste høstudbytte er større på ugødede parceller. Men årsagen er, at man i tidsrummet 1895-1922, hvorfra tallene stammer, ikke havde styr på Havreålen (*Heterodera avenae* Woll.), som tager toppen af udbyttet på de gødede parceller. På Askov Sandmark og efter Rasch i Lundmark artede havren sig som andre danske afgrøder med størst variation i høstudbyttet fra år til år på de gødede parceller. Fig 1 viser Fisher's resultater med Vinterhvede i Rothamsted i Sydengland. De gødede parceller er mere følsomme for en for-

øgelse i måneds-nedbøren på 25 mm (2500 hkg vand pr ha) end de ugødede. *Mikkelsen 1981* skriver s 7: "Et års produktionsresultat er i meget høj grad afhængig af klimaforhold".

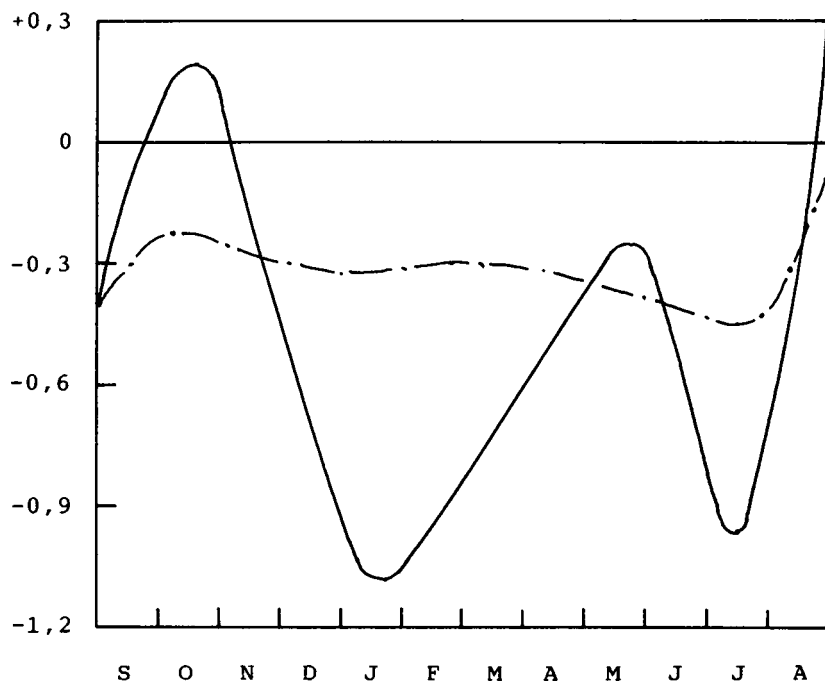


Fig. 1: Høstudbyttet varierer mest hos fuldgødede planter. Forsøg med Vinterhvede i Rothamsted i Sydengland. På den lodrette akse aflæses, hvor meget udbyttet i hkg kerne pr ha stiger (+) eller falder (-), når nedbøren i en måned er 25 mm over normalen. Den stiplede kurve viser, at udbyttet på de ugødede parceller falder ca 0.3 hkg lige meget i hvilken måned overskuddet af nedbør kommer. Den optrukne kurve viser, at udbyttet på de fuldgødede parceller varierer stærkt, eftersom overskuddet af nedbør kommer i oktober, merudbytte næsten 0.2 hkg, eller i januar, mindreudbytte næsten 1.1 hkg, eller i maj, mindreudbytte 0.3 hkg. - R.A. Fisher 1925.

Ord.: Yield of winter-wheat in hkg grain per ha

Abs.: Month

4. På grund af spørgsmålets store betydning for den fremtidige

planteavlsforskning i Danmark har vi forespurgt to af vore planteavlsforstandere: lic.agro. *Peter Lind* og lic.agro. *Erik Poulsen*.

Forstander *Peter Lind* skriver i brev af 14.september 1979: "Med den formulering dr. Löhr har givet sin tese "jo mere planteavlerne optimerer jordbundsfaktorerne, jo mere afhænger udbyttet af klimafaktorerne", er det min opfattelse, at dr. Löhr har ret, idet jeg lægger vægt på, at en forudsætning for tesens gyldighed - som også dr. Löhr fremhæver - er, at både de kemiske og fysiske jordbundsfaktorer er optimale eller i hvert fald så optimale som muligt.

Under den forudsætning må dr. Löhr efter min mening have ret".

Forstander, lic.agro. *Erik Poulsen* skriver i brev af 1. august 1979: "Din tese "jo mere optimale jordbundsfaktorer, jo mere kommer høst-udbyttet til at afhænge af klimafaktorerne" vil jeg give dig ret i, se vedlagte fra min hovedopgave 1956".

5. Bygafgrøder i Danmark.

I undersøgelserne af *R.K.Kristensen 1937, 1941, G.Rasch 1950* og *E.Poulsen 1956* mangler Danmarks vigtigste kornart: Toradet Nikkende Byg (*Hordeum distichum-nutans*(L)Schüb), en underart af Kulturbyg (*Hordeum vulgare* L) den kornart, hvis underarter og sorter allerede i 1600-tallet gav størst udbytte blandt vore kornarter, på Hørsholm gods i Nordsjælland op til 6-7 fold, ca 12 hkg kerne pr ha, (*Balle-Andersen & Tscherning 1968*). Og det er den kornart, som i 1979 indtog 88% af Danmarks kornareal, og som nu giver et udbytte på sandjord omkring 30 hkg og på lerjord omkring 50 hkg kerne pr ha. Ifølge *Sigurd Andersen 1965* kan der med vanding på sandjord avles

over 40 hkg og på lerjord over 60 hkg kerne pr ha af Vårbyg. Lignende tal hos *S.A.Mikkelsen 1981*.

Både hos Sigurd Andersen og hos *S.A.Mikkelsen* er lerjord betegnelsen for moræneler med over 15% ler, dvs partikler mindre end 0.002 mm. Medens sandjord dels betegner morænesand med under 15% ler, dels smeltevandssand. En mere detaljeret inddeling af de danske markafgrøders madjord hos *H.C.Aslyng 1976* og *Lorens Hansen 1976*. Desværre har sætternissen drillet dem begge med definitionen på ler.

I 1960-69 avledes i Danmark gennemsnitlig af byg 38.4 hkg kerne pr ha (højest 41.0, lavest 35.1) og i 1970-79 også gennemsnitlig 38.4 hkg kerne pr ha (højest 41.5, lavest 32.5). Forskellene i høstudbytte fra år til år skyldes ganske overvejende forskelle fra år til år i klimafaktorernes intensitet. Et kerneudbytte i byg på 60 hkg pr ha må hilses som et stolt resultat. I Japan er kerneudbyttet i ris steget fra 10 hkg omkring år 900 (!) til 19 hkg pr ha i årene 1720-1887, for så i store hop at stige til 40 hkg pr ha i 1956-62. Og man mener at kunne nå udbytter i ris på over 60 hkg kerne pr ha (*Ishizuka 1969*).

NB: Vårbyg og Vinterbyg. De ovenstående tal for høstudbytte i byg og de følgende tal til analyse af byggens brutto- og nettoproduktion gælder udelukkende Vårbyg, dvs de sommer-énårige bygsorter. Dyrkning af Vinterbyg, dvs de vinter-énårige bygsorter, er først blevet tilladt i Danmark efter 1978, og kun på visse betingelser, blandt andet skal afstanden til naboers bygmarker være mindst 100 m. - Forøvrigt omfatter de 4 grupper af Kulturbed: Toradet Nikkende, Toradet Opret, Seksradet Firkantet og Seksradet Sekskantet såvel former af Vårbyg som af Vinterbyg.

Vårbyg, Danmarks vigtigste kornart, forholder sig ganske som

Tabel 1. Vårbyg, høstudbyttets afhængighed af vanding og N-gødskning. Resultater fra Forsøgsstationen ved St. Jydevad vest for Tinglev, 1965-1976. Jordbund: Smeltevandssand med 93% sand, 4% ler og 3% humus (L. Hansen 1976). N givet som kalkammonsalpeter med 26% N, hvoraf halvdelen som ammonium-N og halvdelen som nitrat-N, kemisk sammensætning $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$. Alle parceller blev hvert år grundgødet med samme mængde P og K i vægtforholdet 4:21, i 1971 og 1972 med tilskud af Mg og i 1972 tillige med tilskud af Cu. - Tallene venligst stillet til rådighed af Statens Planteavls-Laboratorium i Lyngby, forstander, lic.agro. K. Sandvad.

Høstudbytte i hkg kerne, 85% tørstof pr ha.
Rekordårene i parentes

mindste gødskning største gødskning 1.1-
0.35 hkg N pr ha pr år 1.6 hkg N pr ha pr år

Uvandet. Største

udbytte	38 (1967)	51 (1972)
---------	-----------	-----------

Mindste

udbytte	<u>14 (1970)</u>	<u>14 (1976)</u>
---------	------------------	------------------

Differens	24 hkg	37 hkg
-----------	--------	--------

Vandet. Største

udbytte	49 (1974)	60 (1975)
---------	-----------	-----------

Mindste

udbytte	<u>30 (1973)</u>	<u>27 (1976)</u>
---------	------------------	------------------

Differens	19 hkg	33 hkg
-----------	--------	--------

andre planteafgrøder: Jo mere jordbundsfaktorerne optimeres, jo mere afhænger høstudbyttet af de klimatiske faktorer. Tabel 1 viser tal fra forsøgsstationen Jydevad, hvor Vårbygssorter har været fulgt dels uden, dels med vanding og med kvælstofgødskning fra 0.35

til 1.1-1.6 hkg N pr ha pr år i tolvåret 1965-1976. Det værdifulde talmateriale bliver bearbejdet af andre. Vi har fået lov til at publicere mindste og største høstudbytte i tolvåret på uvandede og vandede parceller, dels med mindste, dels med største N-gødskning. Det ses i tabel 1, at forskellen mellem største og mindste udbytte er 13-14 hkg større i parcellerne med stor N-gødskning end i dem med mindre N-gødskning, og det gælder både de uvandede og de vandede parceller. Dvs det årlige høstudbytte svinger, og udsvingene er størst i de bedst N-gødgede parceller - 33-37 hkg kerne pr ha - og mindst i de mindre N-gødgede parceller - 19-24 hkg kerne pr ha - i løbet af 1965-1976. Jo mere jordbundsfaktorerne nærmes det optimale, jo større den stående afgrøde er, jo mere afhænger høstudbyttet af klimafaktorerne, jo mere skifter høstudbyttet fra år til år, ligesom klimafaktorerne intensitet skifter fra år til år.

6. Fosfat og vandfaktoren.

Under specielle klimatiske forhold, som ikke forekommer i Danmark, og gødskningsforhold, som heller ikke præger dansk landbrug, kan fosfat "spare på vandet". *Salisbury & Ross 1978* skriver: "Plants exposed to low water levels, high light intensities, and such factors as high phosphorous and low nitrogen fertilization become drought hardy compared to plants of the same species not treated in this way". Det gælder åbenbart ikke-optimalt gødgede planter ("low nitrogen") i et subtropisk klima med sommertørke som i Middelhavslandene, og har absolut intet at gøre med optimalt gødgede landbrugsafgrøder i et fugtig tempereret klima som Danmarks. *R.K.Kristensen 1941* har ikke kunnet finde nogen fosfat-beskyttelse mod vandmangel

i sit ganske omfattende materiale. Han skriver: "De stærkest gødede forsøgsled har ikke vist nogen speciel modstandskraft over for virkningen af vandmangel". I Steenbjerg's store værk: Planternes Ernæring 1965 savnes et kapitel om høstudbytte og klimafaktorer. Skønt forfatteren dog vel har måttet være klar over klimafaktorerens stigende betydning for høstudbyttet. Steenbjerg's bog indeholder intet om tørkebeskyttende virkning af fosfat.

7. Der foreligger ingen danske eller udenlandske undersøgelser, som modsiger den foran anførte tese: "For jo mere man optimerer jordbunds-faktorerne ved jordbehandling, gødskning og kalkning, jo mere bliver høstudbyttet afhængig af de klimatiske faktorer, vandfaktoren og sygdomsfaktorerne" (Löhr 1975, s. 229). Denne tese er i overensstemmelse med den eneste lov for høstudbytter, der har gyldighed, optimumsloven (se nærmere s 61-63).

Aldeles slående bevis for optimumslovens gyldighed fremgår også af tallene i tabel 2a og af kurverne i fig 10.

8. Når og fordi høstudbyttet i landbruget i stigende grad afhænger af klimafaktorerne;

når og fordi planteavlerne stræber efter at optrappe høstudbytterne - og derved utilsigtet øger høstudbytternes afhængighed af klimafaktorerne;

når og fordi - så er det på tide nu og i kommende år at analysere klimafaktorerens indflydelse på høstudbyttet.

9. Kun den daglige 24 timers analyse af stofproduktionen kan vise, hvorledes bladareal, temperatur og belysning virker på stofproduktionen.

Til forsøgene på at analysere stofproduktionens afhængighed af bladareal og klimafaktorer anvendtes Vårbyg, sommer-énårig form af Toradet Nikkende Byg cv Emir (*Hordeum distichum-nutans*(L) Schüb forma ear-therophyticum cv Emir. Græsk: ear = forår, theros = sommer). Bygplanterne dyrkedes i cylindriske kar, højde 40 cm, indvendig diameter 25 cm, cirkulær jordoverflade 491 cm^2 , 15 bygplanter pr kar, svarende til 3 mio planter pr ha. Den største vanskelighed er den at få karbevoksninger helt som naturlige bevoksninger. Det er nødvendigt, at karforsøgsstationerne tager det problem op at frembringe naturlige bevoksninger i kar, hvilket er vanskeligt men vel ikke uløseligt. Karrene med bygplanter gravedes ned i en mark med samme bygsort som karrenes, således at bygplanterne i karrene fik omtrent samme sidelys og andre vejrforhold som planterne i den omgivende bygbevoksning. Fra begyndelsen af juni overgik bevoksningen i karrene alligevel den omgivende markbevoksning i højde og drøjde. Lad os håbe, ja stole på, at karforsøgsstationerne løser problemet med at skaffe karbevoksninger, der er som markens gennem hele voksetiden, lige til kornet er modent. For øvrigt også ønskeligt af hensyn til undersøgelser over jordbundsfaktorerens indflydelse på høstudbyttet.

10. Analysemetode.

Selve analyserne af stofproduktionens afhængighed af bladareal, temperatur og belysning er iøvrigt forholdsvis enkle. Luften til forsøgene tages fra stålflasker. Det er uhyre vigtigt, at de er absolut rene, ikke kompromitteret af

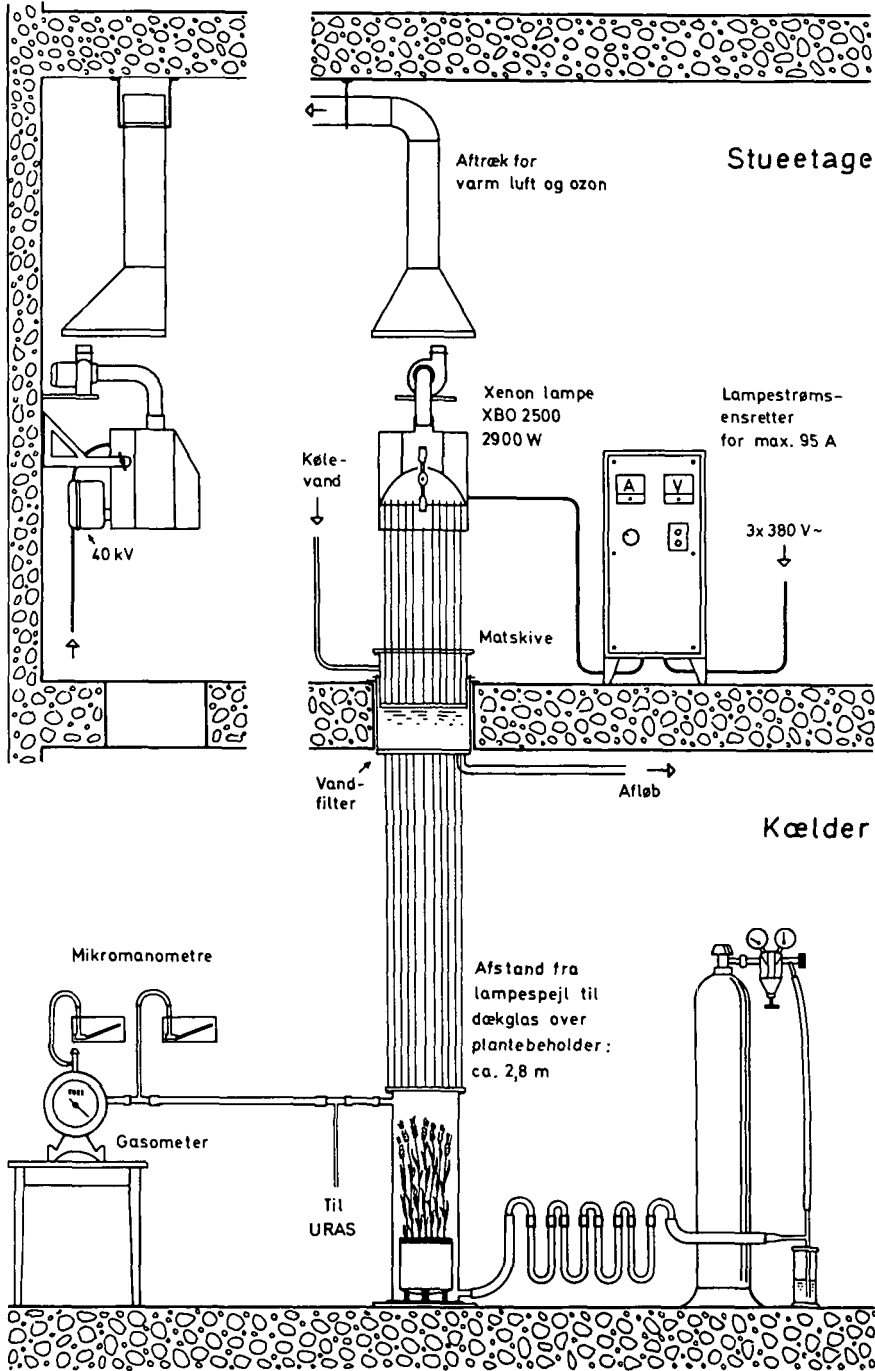


Fig. 2: Apparaturl til analyse af stofproduktion.

acetylen, ethylen eller lignende. Flaskernes luft er omhyggelig analyseret før forsøgene. Luften fra én flaske rækker i reglen til dagens analyser. På fig 2 ses en skitse af apparaterne. Fra ståflasken nederst til højre strømmer luften gennem beholderen, hvori plantekarret er anbragt. Ståflaskeluften er ørkentør og skal fugtes op til mætningsdeficit 2 mb, dvs ved 20°C til fugtighedsgrad 91% og ved 10°C til 84%, se tabel 4. Opfugtningen sker i de 4 U-formede rør med filterpapir, der dypper ned i vand med 1% svovlsyre. Det lille glas nederst til højre indeholder lidt vand, og glasrøret stikker 2 cm ned i vandet for at holde lufttrykket i systemet på 2 cm vandovertryk. Som fig 2 viser, ledes luften ind forneden i beholderen med plantekarret og ud foroven. Den gennemstrømmende luft turbulerer op omkring bygplanterne med hastighed ca 25 m i timen. Det er vigtigt at slå fast, at de højere grønne landplanters overjordiske dele altid lever i gennemstrømmende luft, mere eller mindre lodrette og mere eller mindre vandrette luftstrømninger med en hastighed aldrig under 25 m i timen. Den gennemstrømmende luft skal ved indgangen i beholderen med plantekarret have et kultveilte-tryk en kende højere end det gennemsnitlige i atmosfæren, som 30 m over havet er 0.344 mb. Den gennemstrømmende luft modtager et tilskud af kultveilte fra planternes underjordiske dele samt plantekarrets jord. Når karret med forsøgsplanterne belyses, optages og forarbejdes en del af den kultveilte, der strømmer hen over bladene. Den udgående luft er derfor fattigere på kultveilte end den indgående. Af den udgående luft tappes uafbrudt prøver gennem en ultrarød-analysator, som automatisk registrerer luftens indhold af kultveilte. Ved forsøgene benyttedes en ultrarød-analysator af mærket URAS. Det bør tilstræbes, at middel af den indgående lufts kultveilte-tryk, suppleret med kultveilte fra plantekarrets jord og underjordiske plantedele på den ene side og den udgående lufts kultveilte-tryk på den anden side bliver nær den atmosfæriske lufts kultveilte-tryk. Imidlertid er det såre simpelt at reducere for kultveilte-tryk, idet fotosyntesen stiger proportionalt med dette tryk i området 0.25-0.65 mb. - Hovedparten af den luft, der passerer gennem beholderen med plantekarret, går gennem en nøjagtig luftmåler, et gasometer eller aerometer, som måler det luftrumfang, der har passeret beholderen med plantekarret i forsøgstiden. Hertil skal lægges rumfanget af den luft, der føres gennem ultrarød-analysatoren.

Xenon-Lampen, den kunstige sol, hjertet i hele apparaturet, det som overhovedet har muliggjort analyserne af fotosyntese i bevoksninger, ses øverst på fig 2. Det er en Xenon-Superhøjtryk-Lampe XBO 2500, max 2900 watt. Af hensyn til dannelsen af ozon (O_3) og den store varmestråling er det nødvendigt, at lampen

er anbragt i et værelse oven over analyserummet. Til venstre i stuen sidebillede, der viser aftræksrør, lyskaster med parabolspejl og påmonteret tændaggregat mrk 40 kV, som er i forbindelse med lampestrømsensretteren. - Vi har ikke oplevet en Xenon-Lampe, der er eksploderet, men beskyttelsesbriller kræves, ligesom man advares mod den store ultraviolette stråling. Oven over Xenon-Lampen er der monteret et aluminium-parabolspejl (hulspejl), elektropoleret, eloxeret, således at Xenon-Lampens lysbue, nogle få mm stor, netop befinder sig i parabolspejlets brændpunkt. Xenon-Lampens lys har omtrent samme kvantitative sammensætning som dagslyset om sommeren ved middagstid, 55° nordlig bredde, i hvert fald tålelig overensstemmelse. Parabolspejlet sørger for en lysstrøm af parallelle stråler. Derved opnås, at bygplanternes øverste og nederste blade får samme belysning minus det lys, der absorberes af eller reflekteres fra de øvre blade. Just som i en bygmark. Beholderen, hvori karret med bygplanterne er anbragt under målingerne, er hvidlakeret indvendig og afgiver noget sidelys til bygplanterne. Forsøg på at efterligne sidelyset i en bygmark. Mellem Xenon-Lampen og karret med bygplanterne er der indskudt et 9-25 cm dybt vandfilter og til udjævning af belysningen en matteret glasplade.

Temperatur og belysning. Alle målinger blev udført ved 20°C. Den maksimale belysning i strålingsområdet violet-rødt, bølgelængde 400-700 nm, der kunne opnås med Xenon-Lampen, var 12.0 GJ pr ha pr time. Belysningen i den lyseste time i de 6 lyseste uger 13 maj til 30 juni 1969 kom i fri luft aldrig op over 14.7 GJ (bølgeområdet 400-700 nm) pr ha pr time og i gennemsnit ikke over de 12 GJ pr ha pr time, som Xenon-Lampen kunne præstere. Under analyserne i laboratoriet varieredes belysningen ved hjælp af vandfiltre med nigrosin indskudt i lysstrømmen.

Gangen i målingerne. Om aftenen hentedes fra marken i Tåstrup et kar med bygplanter, som anbragtes ved 20°C på laboratoriet. Næste morgen bestemtes fotosyntesen først ved belysning 2.3 GJ, så ved 4.5 GJ, ved 6.9 GJ og til slut ved belysning 12.0 GJ pr ha pr time. Derpå dækkedes beholderen med forsøgskarret med sort pap, og den totale udskillelse af kultveilte i mørke blev målt. Dernæst blev de overjordiske plantedele skåret af ved jordoverfladen, og udskillelsen af kultveilte fra jord + underjordiske plantedele blev målt. Til slut mælt udskillelsen af kultveilte fra kar fyldt på samme tid og med samme jord som forsøgskarrene, men uden planter. Disse nulkar var nedgravede i marken tæt ved forsøgskarrene.

Tabel 2a. Nettoproduktionen af tørstof i afhængighed af temperatur, belysning og bladareal i bevoksning af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha. Jordbunds faktorer og vandfaktor optimale. Udsæd 10 april, analyser 12 maj-29 maj 1969.

Tallene er udregnet på grundlag af E. Löhr 1975: Brutto- og nettoproduktion i tabel 12,1-12,4 og 13,13-13,16. Belysning i tabel 13,9. Tørstof i tabel 7,7. Reduktion til aktuel temperatur xxx) i madjorden (tabel 10,2) og 2 m over jordfladen (tabel 11,9). Ånding underjordisk tabel 10,7 og overjordisk tabel 11,9. Sammenstilling ved 20°C i tabel 13,23 og ved aktuel temperatur i tabel 13,26. Eksempel på reduktion i tabel 13,25.

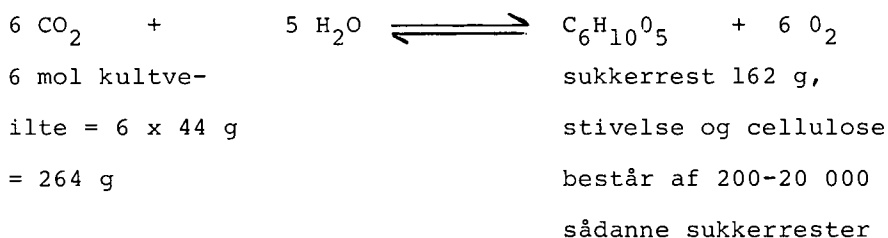
Dato for analyse	Bladpladernes areal, ensidig, i ha pr ha jordareal	Tørstof, hkg pr ha jordareal		Lyssum i GJ x) pr ha jordareal pr 24 timer	Tørstof- tab v ånding i hkg pr ha pr 24 timer		Nettoproduktion i hkg tørstof under- plus over- jordisk pr ha jordareal pr 24 timer	
		under- jordisk	over- jordisk		aktu- el temp	20°	v aktuel jord- og lufttemp	v 20° jord- og lufttemp
12/5	0.29	1.28	0.98	42	0.11	0.25	0.22	0.08
"	"	"	"	83	"	"	0.39	0.25
"	"	"	"	135	"	"	0.50	0.36
19/5	0.97	3.26	3.62	42	0.24	0.68	0.57	0.13
"	"	"	"	83	"	"	1.12	0.68
"	"	"	"	135	"	"	1.48	1.04
27/5	3.34	7.46	13.24	42	1.12	2.44	1.07	- 0.25 ^{xx)}
"	"	"	"	83	"	"	2.40	1.08
"	"	"	"	135	"	"	3.68	2.36
29/5	4.82	11.36	19.96	42	1.19	2.87	0.78	- 0.90 ^{xx)}
"	"	"	"	83	"	"	2.69	1.01
"	"	"	"	135	"	"	4.72	3.04

x) 1 GJ = 1 gigajoule = 10⁹ joule. Lyssum 400-700 nm, violet-rødt. I tidsrummet 12 maj - 31 maj 1969 fik mørkeste dag 42 GJ, middellys dag 83 GJ og lyseste dag 135 GJ pr ha pr 24 timer på planternes vokseplads, sml tabel 7.

11. Kultveilte(CO₂), tørstofindtægt og tørstoftab.

Optagelse af kultveilte- heraf kan stofindtægten beregnes. Udskillelsen af kultveilte - deraf kan stoftabet beregnes. Stofindtægt og stoftab pr minut, pr time, pr samtlige dagtimer, pr 24 timer.

Indtægt og stoftab beregnes efter processerne:



dvs 1 g kultveilte forarbejdes til 0.614 g stivelse eller cellulose, og 1 g kultveilte udskilt svarer til forbrænding af 0.614 g kulhydrat. Eller 1 hkg kultveilte svarer til 0.614 hkg tørstof. Stivelse og cellulose består af 200 til 20 000 sukkerrester, flest i cellulose, og bør skrives (C₆H₁₀O₅)_n. Om ønsket kan man derfor i processen ovenfor multiplicere med n på begge sider af pilene:

$6n \text{ CO}_2 + 5n \text{ H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + 6n \text{ O}_2$, hvor n er mellem 200 og 20 000. Multiplikationen forandrer naturligvis ikke forholdet mellem vægtene. Der er afvigelser ved forbrænding af fedt og ved ufuldstændig forbrænding, men næppe afvigelser der spiller en rolle ved analyse af stoftabene hos vore kornarter. Protein forbrændes

(forts. s. 21)

xx) Negativ nettoproduktion: På dage med lav belysning og høj temperatur i jord og luft bliver nettoproduktionen pr 24 timer negativ, idet stoftabet ved ånding i døgnets 24 timer overstiger stofindtægten ved fotosyntese i døgnets 17 lyse timer.

xxx)	aktuel temperatur	jord	luft
	12/5	11.6°	12.1°
	19/5	10.0°	7.7°
	27/5	10.0°	10.1°

Tabel 2b. Tørstoftabet ved ånding, kaldt åndingstabet, i % af bruttoproduktionen i afhængighed af temperatur, belysning og bladareal i bevoksning af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha. Jordbunds faktorer og vandfaktor optimale. Udsæd 10 april, analyser 12 maj-29 maj 1969.

Tallene er udregnet på grundlag af analyserne i E. Löhr 1975, se nærmere teksten til tabel 2a.

Dato for analysen	Bladpladernes areal, ensidig, i ha pr ha jordareal	Lyssum i GJ ^{x)} pr ha jordareal pr 24 timer	Tørstoftab ved ånding i hkg pr ha pr 24 timer		Bruttoproduktion i hkg tørstof pr ha pr 24 timer	Åndingstab pr 24 timer i % af bruttoproduktionen	
			aktu-	20 ^o		v aktuel temperatur, se tabel 2a	v 20 ^o jord- og luft-temp
12/5	0.29	42	0.11	0.25	0.33	33%	70%
"	"	83	"	"	0.50	22%	50%
"	"	135	"	"	0.61	18%	40%
19/5	0.97	42	0.24	0.68	0.81	30%	84%
"	"	83	"	"	1.36	18%	50%
"	"	135	"	"	1.72	14%	39%
27/5	3.34	42	1.12	2.44	2.19	52%	100%
"	"	83	"	"	3.52	32%	70%
"	"	135	"	"	4.80	23%	50%
29/5	4.82	42	1.19	2.87	1.97	60%	100%
"	"	83	"	"	3.88	31%	73%
"	"	135	"	"	5.91	20%	40%

x) 1 GJ = 1 gigajoule = 10⁹ joule. Lyssum 400-700 nm, violet-rødt. I tidsrummet 12 maj - 31 maj 1969 fik mørkeste dag 42 GJ, middellys dag 83 GJ og lyseste dag 135 GJ pr ha pr 24 timer på bygplanternes vokseplads (belysning se tabel 7).

Tabel 3. Netto-energibindingens afhængighed af belysning og bladareal i bevoksning af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha. Jordbunds faktorer og vandfaktor optimale, aktuel jord- og lufttemperatur. Udsæd 10 april, analyser 12 maj-29 maj 1969. Tallene for nettoproduktion af tørstof pr 24 timer er de samme som i tabel 2a. Energibindingen er beregnet ud fra 1 hkg tørstof = 1.67 GJ (1 gigajoule = 10^9 joule), et omsætningstal som gælder, når tørstoffet overvejende består af kulhydrat og vedstof.

Bladpladernes areal, ensidig, i ha pr ha jordareal	Lyssum 400-700 nm i GJ pr ha jordareal pr 24 timer	Nettoproduktion i hkg tørstof underjordisk + overjordisk pr ha jordareal pr 24 timer. Ved aktuel jord- og lufttemperatur	Lysenergi i GJ bundet netto i organisk stof pr 24 timer pr ha jordareal. Aktuel jord- og lufttemperatur	Lysenergi bundet netto pr 24 timer i % af tilført lysenergi ved aktuel jord- og lufttemperatur
0.29	42	0.22	0.367	0.87%
"	83	0.39	0.651	0.78%
"	135	0.50	0.835	0.62%
0.97	42	0.57	0.952	2.3 %
"	83	1.12	1.870	2.2 %
"	135	1.48	2.438	1.8 %
3.34	42	1.07	1.787	4.3 %
"	83	2.40	4.008	4.8 %
"	135	3.68	6.163	4.6 %
4.82	42	0.78	1.303	3.1 %
"	83	2.69	4.492	5.4 %
"	135	4.72	7.882	5.8 %

normalt ikke hos de højere grønne landplanter, i hvert fald udskiller planterne ikke kvælstofholdige affaldsprodukter, til forskel fra de højere dyr.

Ved forarbejdningen af 1 hkg kultveilde til 0.6 hkg plantetør-

stof bindes en energimængde på 1 GJ (1 gigajoule). - Om reduktion af forbrændingens størrelse til forskellige temperaturer, se punkt 16 side 20 og punkt 18 side 25. Tabel 2a, 2b og 3 viser nogle af de resultater, der kan opnås ved analyse af bevoksningernes optagelse og udskillelse af kultveilde. Som fremhævet foran: Kun den daglige 24 timers analyse af stofindtægt og stoftab kan vise, hvorledes bladareal, temperatur og belysning virker på brutto- og nettoproduktionen i en bevoksning.

12. Stoffordelingens betydning for nettoproduktionen.

Foran under punkt 2 blev det fremhævet, at de højere grønne landplanter nettoproduktion udelukkende bestemmes af tre processer: Fotosyntese, stoffordeling og stoftab. Det er let nok at forstå, at nettoproduktionen af plantestof afhænger af fotosyntesen, som er ansvarlig for bruttoproduktionen, og det er heller ikke vanskeligt at indse, at stoftabene spiller ind. De består hos vore kornarter navnlig i stoftabet ved ånding, kort kaldt åndingstab, som forårsages af forbrændingen i cellerne. Åndingstabet er hos Vårbyg rundt regnet 1/3 af den bruttoproduktion, hvis andre 2/3 fordeles på over- og underjordiske plantedele. Tabel 5 viser det samlede åndingstab hos Vårbyg 10 maj-9 juli. Men hvorledes kan stoffordelingen gribe ind i stofproduktionen? Oven i købet med afgørende resultat for nettoproduktionen. Det skyldes, at stoffordelingen virker både på bruttoproduktionen og på stoftabene. Hvilket igen hænger sammen med, at ved stoffordelingen bestemmes det, hvor stor en del af bladenes nettoproduktion, der bliver 1) til underjordiske dele, 2) til stængler, blomster og frugter og 3) til nye blade, dvs nye organer for fotosyntese.

Stofffordelingen styres af arvefaktorerne, hvis virkning delvis påvirkes af klima- og jordbunds faktorer, navnlig daglængden, daglig lyssum 380-780 nm, vand-, kvælstof- og fosfatfaktoren. I en anspændt vand- eller kvælstof- eller fosfatsituation bliver en større del af bladenes nettoproduktion til underjordiske plantedeile, og derved hjælpes vand-, kvælstof- og fosfatforsyningen. Men det sker u-nægtelig på bekostning af bladarealets vækst. Det gælder for en ung bygbevoksning om at afbalancere stoffordelingen, og om muligt investere så meget af fotosyntesens overskud i nye blade, at der omkring midten af maj er tilstrækkelig stort bladareal til at udnytte de 8 lyseste uger, som velsigner de danske afgrøder fra 15. maj til 15. juli. Men alligevel samtidig investere så meget i rodens vækst, at den kan skaffe vand nok til at holde spalteaåbningerne åbne, ikke blot i de lysfattige morgentimer, men også først og fremmest i de lyseste timer fra kl 10-14.

Der er formentlig forskel mellem de arvefaktorer, der styrer stoffordelingen, og forskel mellem de stoffordelende arvefaktorerers reaktion på vand- eller kvælstof- eller fosfatstress, og det er en af årsagerne, ja, måske hovedårsagen til forskel i høstudbytte sorterne imellem, når sygdomsfaktorerne er eliminerede. Her skal forædlingsarbejdet sættes ind. Stoffordelingen må, bør, skal analyseres. *Gifford et al 1984* skriver: "increase in the partitioning of photoassimilates to harvested organs has been of primary importance".

Note til stoffordelingen. At stoffordelingen påvirkes af N- og P-stress, beskriver *Steenbjerg 1965* i kapitlet: Morfologi og symptomatik (bd 1 s 107), og han har i tabel 15 (bd 2 s 17) gengivet tallene fra *Müller 1949*. Som eksempel anføres her tallene for Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Kenia og cv Maja (*Müller 1945, 1949*):

Fuldstændig næringsopløsning, cv Maja, top/rod	5.1
P-fattig, " " "	2.0
Karkultur, fuldgødet, cv Kenia, "	4.5
" , P-fattig, " " "	3.2

Vandstress virker ligesom kvælstof- og fosfatstress således, at forholdet overjordisk tørstof/underjordisk tørstof bliver mindre. Herad en ret omfattende lit-

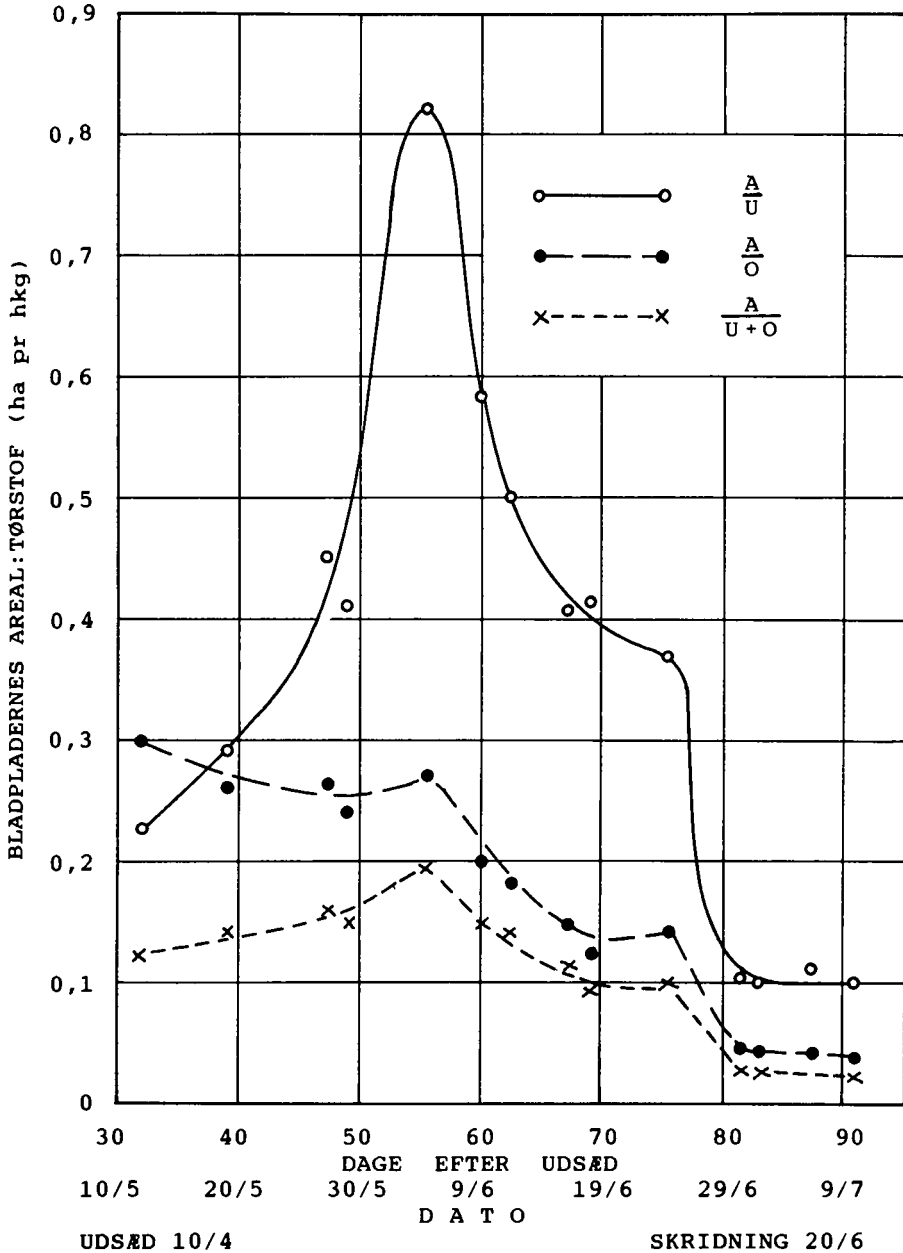


Fig. 3: Bladpladernes areal A i forhold til underjordisk U og overjordisk O tørstof. Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir i karkultur.

teratur citeret af Hsiao et al 1976, Pearson 1966 og især Wangermann 1961. Men der er ingen af de talrige forfattere, der gør opmærksom på, at den ændrede stoffordeling ved vandstress virker på nettoproduktionen, endsige prøver at analysere den nedsatte stofproduktion ved vandstress ud fra stoffordelingen. Hidtil er stoffordelingens afhængighed af ydre faktorer stort set kun omtalt i det symptomatiske, og dens indgribende indflydelse på stofproduktionen kun omtalt af få. Stoffordelingens mekanik: Over større afstande i planten foregår stoffordelingen gennem sirørene og er i hvert fald delvis en trykstrømning.

13. Forholdet mellem over- og underjordiske dele.

Ved analyse af planternes brutto- og nettoproduktion er det nødvendigt at skelne mellem overjordiske og underjordiske plantedele; fordi åndingen og vægten af tørstof i de over- og underjordiske dele bestemmes hver for sig. Desuden bør man måle bladpladernes areal pr hkg tørstof i de under- og overjordiske dele hver for sig. Fig 3 viser, hvorledes bladarealet forholder sig til de forskellige tørstofmasser. Det drejer sig om Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, optimalt vandet, optimale jordbundsfaktorer, hverken vand-, kvælstof- eller fosfatstress. Bemærkelsesværdigt hvor stejlt bladarealet -

Jordbundsfaktorer og vandfaktor optimale. Lodret akse: Bladpladernes areal, ensidig målt, i ha pr hkg tørstof i underjordiske dele U, i overjordiske dele O og i underjordiske + overjordiske dele U + O. Bladpladernes areal pr hkg underjordisk tørstof $\frac{A}{U}$ er indtil ca 55 dage efter udsæd 10 april stejlt stigende. Mon det store bladareal i forhold til det underjordiske tørstof er årsag til den truende tørkefølsomhed i tiden før skridning 20 juni? (Löhr 1975).

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir).

Ordin.: Area of leaf-blades, one side only, in ha: hkg dry matter subterranean U, above ground O, and subterranean + above ground U+O.

Absc.: Days after sowing 10 Apr., heading 20 June.

målt fra 30 dage efter udsæd - stiger op til 55 dage efter udsæd i forhold til vægten af de underjordiske bygdele. Mon ikke der er en vis sammenhæng mellem trevlerodens vægt og absorberende overflade? Mon ikke det store bladareal i forhold til de underjordiske deles absorberende overflade er årsag til tørkefølsomheden før skridning? Mon ikke andre kunne få lyst til at tage den opgave op, at måle bladarealet i forhold til underjordisk tørstof ved vand- eller kvælstof- eller fosfatstress. Som nævnt ovenfor, er stoffordelingen, der virker både på fotosyntesen og stoftabet, afgørende for nettoproduktion og høstudbytte. Nærmere analyse af stoffordelingen kan utvivlsomt give planteforædlerne værdifulde vink!

14. Biologisk inddeling af 6 klimafaktorer i to grupper.

Klimafaktorernes stigende og afgørende indflydelse på nettoproduktion og høstudbytte gør det naturligt, at dele 6 af dem i to biologiske grupper. Den ene gruppe udgøres af de klimafaktorer, som praktisk talt har samme intensitet år efter år, når samme såtid overholdes, og som derfor ikke kan være årsag til udsving i høstudbyttet. Det drejer sig om de tre klimafaktorer i gruppe 1: Kultve-
ilte-tryk, luftstrømninger og daglængde.

Den anden gruppe udgøres af de klimafaktorer, hvis intensitet varierer i betydelig grad fra år til år, og som er årsag til de stigende årlige udsving i høstudbytte. Det drejer sig om de tre klimafaktorer i gruppe 2: Vand-, temperatur- og lysfaktoren. Disse tre klimafaktorer virker både direkte og indirekte, idet de gensidig påvirker hinanden, og tillige virker de alle tre også som jordbunds-faktorer på jordens temperatur og vandindhold.

Luftfugtighed, særlig vigtig mætningsdeficit, se tabel 4, og de mere kortvarige, efemere klimafaktorer tåge, tørdis, hagl og snedække skal ikke omtales her. Heller ikke Tors kørsel over himmelhvælvingen. Da disse undersøgelser i særdeleshed gælder vore bygsorter, har antal frostdage heller ikke haft interesse, idet dyrkning af Vinterbyg indtil 1978 var forbudt i Danmark. Antal solskinstimer og skydække - meteorologerne må finde en mere realistisk omend mindre poetisk måde at angive belysningen på.

15. Klimafaktorer i gruppe 1: Kultveilte-tryk, luftstrømninger og daglængde.

0.66 mg kultveilte pr liter luft - det er de grønne landplanter hovednæringsstof. Det er næsten ufatteligt! Når en bygmark på 1 ha i skridning, velgødet, prima vandbalance, topfin belysning, har en nettoproduktion pr døgn på 4.72 hkg tørstof (se tabel 2a), så svarer det til en nettoforarbejdning af 7.69 hkg kultveilte pr døgn. Og de 7.69 hkg kultveilte skal hentes fra atmosfæren over marken og fra den luft, der trænger op fra jorden. Men 7.69 hkg kultveilte er al den kultveilte, der forekommer i ca 1200 000 000 liter luft - 1200 mio liter luft! Det er al den kultveilte, der findes i luften over 1 ha bygmark fra jordoverfladen op til omkring 130 m højde. Det er næsten ufatteligt! Men det er aldeles ufatteligt, at der er lærere som påstår, at landplanterne ikke lever i strømmende luft. For naturligvis bliver fotosyntesen nedsat til et minimum, ikke større end lige netop til at opveje åndingen, såfremt luften omkring bladene er stillestående.

Bladtemperatur og luftstrømninger. Kun ganske undtagelsesvis har bladpladerne i korte øjeblikke samme temperatur som den allernærmeste omgivende luft. Om natten har bladpladerne som regel en undertemperatur på 2°C - 4°C (Huber 1956). Om dagen har bladpladerne oftest, navnlig i pågående solskin, en overtemperatur på op til 15°C (Gates 1964, Pisek 1960, Raschke 1960). Men når mætningsdeficit i

luften nærmest bladet er stort, planterne i god vandbalance, åbne spalteåbninger og stor transpiration, bindes der så megen varme ved fordampningen, at der kan opstå undertemperaturer helt ned til 10°C under den nærmeste lufts temperatur (Lange 1957). Bladtemperaturen er oftest målt i glasbeholdere (kuvetter) og i væksthuse, og de fundne temperaturer afviger utvivlsomt betydeligt fra temperaturen ude i marken (Huber 1956).

Hvad enten bladpladerne har over- eller undertemperatur, vil temperaturforskellen mellem bladpladerne og den allernærmeste omgivende luft forårsage luftstrømninger (varmestømninger, såkaldt konvektive strømninger), der bringer den omstrømmende luft med 0.034% kultveilte, kultve-ilte tryk omkring 0.344 mb i lavlandet, helt ind til bladoverfladen. Derved hjælper bladenes over- eller undertemperatur i allerhøjeste grad med til i de lyse timer at opretholde den forskel i kultveilte-tryk på 0.3 mb mellem bladoverfladen og bladets indre luftrum, de såkaldte intercellulærer, den lille forskel, der er absolut nødvendig for at opnå den størst mulige fotosyntese ved atmosfærens meget lave kultveilte-tryk. I og for sig selvfølgeligt, men mærkelig nok aldrig nævnt i litteraturen, at bladenes over- eller undertemperatur har direkte betydning for fotosyntesen. - Det stillestående grænselag af luft (the boundary layer, Raschke 1960), mellem 0.1 og 1 mm tykt, eksisterer næppe, hvis temperaturen i bladpladerne afviger nogle grader fra de allernærmeste omgivelseres temperatur.

Hvad de mere eller mindre vandrette luftstrømme angår, dem som meteorologerne kalder vinde, er hastigheden næppe nogensinde under 25 m pr time. Meteorologerne definerer vindstille som vindhastighed under 1 km pr time i 10 m højde over jordfladen. Vindstille nul km pr time vil meteorologerne ikke kendes ved. Lodrette og vandrette luftstrømme - tilsammen aldrig under 25 m pr time - gennemstrømmer de højere grønne landplanter bladrum (statsmeteorolog I. Sestoft, København, og Staatsmeteorologe Fr. Schnelle, Freiburg i. Breisg.). Derfor har man ved bestemmelse af fotosyntesens størrelse under naturlige forhold i de sidste 100 år, siden *Kreusler* 1878, 1879, altid benyttet strømmende luft. Forsøg har vist, at en strømhastighed på 25 m pr time er nok til at give den maksimale

fotosyntese, som kan opnå ved atmosfærens meget lave kultveilte-tryk på 0.3-0.4 mb.

Under punkt 10 s12 er angivet, at strømmende luft ved bestemmelse af fotosyntese skal have et noget højere kultveilte-tryk end 0.344 mb, og at luften desuden får et lille tilskud af kultveilte fra plantekarrets jord og underjordiske plantedele. Når forsøgsplanterne belyses, bliver en del af den gennemstrømmende lufts kultveilte optaget af bygplanterne og forarbejdet ved fotosyntese. Den udgående luft har derfor mindre kultveilte-tryk. Ved passende regulering af strømhastigheden kan man sørge for, at middeltrykket af ind- og udgående lufts kultveilte-tryk bliver tæt ved 0.344 mb. Metoden er utvivlsomt den optimale imitation af forholdene i bygmarken.

Gennemstrømmende luft med hastighed ca 25 m pr time er benyttet ved alle fotosyntese-undersøgelser af professor ved Københavns Universitet P. Boysen Jensen, 1883-1959, professor ved Aarhus Universitet Poul Larsen, 1909-1976, og professorer ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole E.K. Gabrielsen og D. Müller, alle fire plantefysiologer med speciale i analyse af de højere grønne landplanterers stofproduktion.

Spalteåbningernes eventyrlige hensigtsmæssighed for diffusion af kultveilte ind i bladene beror på, at jo mindre huller er, jo større betydning for diffusionen har randvirkningen. P. Boysen Jensen kaldte fænomenet diameterloven, fordi diffusionen gennem ultra-små huller nærmer sig til at være proportional med hullernes diameter og ikke med deres areal. E.K. Gabrielsen kaldte mere korrekt, men mindre håndterligt, fænomenet for perimeterloven, dvs omkredsloven. Hos havre, hvede og rug er spalteåbningernes åbning, ostiolen, en ganske smal ellipse, længde $30\mu\text{m}$, maksimal åbningsbredde $4\mu\text{m}$, maksimalt åbningsareal $90\mu\text{m}^2$ og omkreds $60\mu\text{m}$ ($1\text{ mm} = 1000\mu\text{m}$. $1\text{ mm}^2 = 1000\ 000\mu\text{m}^2 = 1\text{ mio kvadratmicrometer}$), medens et cirkelrundt hul med areal på $90\mu\text{m}^2$ kun har en omkreds på $33\mu\text{m}$. Det er *Piscek et al 1970*, der har målt ostiolernes maksimale åbning. Men ikke gjort opmærksom på den forøgede randvirkning hos de smalt elliptiske ostioler. Ultra-små hullers fantastiske tilpasning til diffusion af luftarter er besynderlig nok ikke nævnt af *Wilmer: Stomata 1983*.

Lufttrykket ved havoverfladen svinger i Danmark mellem 928 mb og 1046 mb, yderpunkterne i 1900-tallet, i gennemsnit 1013 mb. Når der er 0.034 rumfangsprocent kultveilte i luften, er kultveilte-trykket 0.034% af 1013 mb, dvs 0.344 mb (= 0.344 hectopascal, for kort. hPa).^{x)} Under maximal fotosyntese ved dette kultveilte-tryk er kultveilte-trykket inde i bladets luftrum, de såkladte intercellulærer, omkring 0.04 mb. Og det er altså denne ganske lille forskel mellem kultveilte-tryk på 0.344 mb og 0.04 mb, der opretholder så at sige alt højere liv på landjorden. I 100 m højde er lufttrykket i gennemsnit 1004 mb og kultveilte-trykket derfor kun 0.341 mb.

Siden århundredskiftet synes det som om luftens indhold af kultveilte er steget ca 15%, fra 0.030 rumfangsprocent ved århundredskiftet til 0.034 rumfangsprocent ved år 1975. Den årlige stigning antages i sidste fjerdedel af 1900-tallet at ligge på 0.4%. Når alle andre faktorer er nærmet til det optimale i de velgødende industrilande, skulle en forøgelse af kultveilte-trykket på 15% have forøget de grønne landplanter bruttoproduktion med op til 15% siden år 1900.

De små daglige og årlige svingninger i kultveilte-trykket kan ikke være årsag til svingningerne i høstudbytte. Det samme gælder luftstrømningerne. Men medens kultveilte-trykket altid er underoptimalt, dvs under det gunstigste, så er luftstrømningerne undertiden overoptimale, over det gunstigste, og nedsætter derved høstudbyttet omtrent lige meget år efter år. Et par ord herom under vandfaktoren (lærvirkning). Man tør slutte: De to klimafaktorer kultveilte-tryk

x) I følge det internationale enhedssystem skal tryk måles i pascal (Pa).

1 mb = 100 pascal = 1 hectopascal = 1 hPa.

og luftstrømninger kan ikke være årsag til større udsving i høstudbytte fra år til år.

Det samme gælder daglængden. Daglængdens indflydelse på nettoproduktion og høstudbytte er stor. Men når såtiden ikke afviger fra det sædvanlige, er virkningen af daglængden den samme år efter år. Daglængden virker på stoffordelingen, blandt andet dannelsen af underjordiske knolde, og i særdeleshed på overgangen fra vegetativ fase til blomstring (kortdags- og langdagsplanter).

Resumé. De tre vigtige klimafaktorer: Kultveilte-tryk, luftstrømninger og daglængde virker med praktisk talt samme intensitet år efter år. De kan derfor ikke være årsag til de store, stadig stigende udsving i de årlige høstudbytter på de bedst gødede, velkalkede, velteksturerede og velstrukturerede jorder.

16. Klimafaktorer i gruppe 2: Vand-, temperatur- og lysfaktoren.

De tre klimafaktorer vand- temperatur- og lysfaktoren svinger betydelig i intensitet fra år til år. Her følger yderpunkterne i tiåret 1970-1979 for de tre lyseste måneder maj, juni, juli, dem der er afgørende for høstudbyttet i Vårbyg. Tal for vand- og temperaturfaktoren maj-juli er middeltal for DK syd for Skagerak. Lysfaktoren maj-juli er middel for Tåstrup, 55° n br, 28 m over havfladen, sml tabel 7.

Vandfaktoren: Nedbøren var i de tre måneder i alt i gennemsnit 147 mm, dvs 14 700 hkg pr ha, lavest 92 mm (1975) og højest 228 mm (1972). Lavest 40% af højest.

Temperaturfaktoren: Den procentiske forskel mellem temperaturerne bør beregnes ud fra åndingstabet, idet åndingstabet ved den højeste temperatur sættes til 100%. Temperaturfaktoren var i middel

af de tre måneder 13.5°C , lavest 12.6°C (1979), åndingstab 30.1, og højest 14.2 (1970), åndingstab 37.5. Lavest 80% af højest. Med andre ord en fysiologisk forskel på 20% mellem lavest og højest temperatur. Temperaturen var i tiåret uden større udsving i middel af de tre måneder. Men i 1962 var middeltemperaturen i de tre måneder nede på 12.1°C , åndingstab 28.3 og i 1953 oppe på 14.7°C , åndingstab 40.5. Lavest 70% af højest. En fysiologisk forskel på 30% mellem de to temperaturer. - Åndingen bestemt efter en kurve som den efter *Kuijper 1910*.

(Se *Löhr 1975*, fig 10,1 s 93. *Kuijpers* tal: mg kultveilte pr 100 hvedekimplanter v 11°C 25.2, v 12°C 28.2, v 13°C 32.1, v 14°C 36.0 og v 15°C 43.6 mg kultveilte. Om reduktion til andre temp., se her s 32).

Lysfaktoren, se tabel 7: Belysningen violet-rødt, 400 nm-700 nm, var i middel af de tre lysteste måneder maj, juni, juli i tiåret 1970-79 pr ha pr 24 timer 99 GJ, lavest 84 GJ (1972) og højest 110 GJ (1976) pr ha pr 24 timer. Lavest 76% af højest (målinger i Tåstrup 17 km vest for Københavns centrum. *Aslyng 1980*). I Bergen 60° n br, 45 m over havfladen var de tilsvarende tal for tiåret 1969-78: Middel i de tre lyseste måneder 75 GJ pr ha pr 24 timer, lavest 67 GJ (1973) og højest 84 GJ pr ha pr 24 timer (1974 og 1977). Lavest 80% af højest (Radiation Observations Bergen, Norway 1970-79). Det er de tre klimafaktorer vand-, temperatur- og lysfaktoren, der er årsag til de store og stadig stigende udsving i høstudbytterne, efterhånden som jordbundsfaktorerne optimeres og sygdomsfaktorerne elimineres. Vand- og lysfaktoren dominerer bruttoproduktionen, temperaturen styrer stoftabet ved ånding. Bruttoproduktion og stoftab ved ånding, det er de to største led i ligningen: Bruttoproduktion minus stoftab = nettoproduktion. Og netop de to led beherskes af de

tre klimafaktorer, hvis styrke svinger fra år til år, og hvis maksimale udsving tør formodes at overstige dem, der er målt i tiåret 1970-79, og for hvem den procentiske forskel mellem højest og lavest intensitet er opgjort ovenfor. Jo større den stående afgrøde er, jo mere hænger høstudbyttet på de tre klimafaktorer vand-, temperatur- og lysfaktoren.

17. Vandfaktoren.

Den af de tre klimafaktorer, der udviser størst variation fra år til år i de tre lyseste måneder, er ganske afgjort vandfaktoren. Den er i første række en klimafaktor, i anden en jordbunds faktor. Blandt andet optager de højere grønne landplanter så at sige kun vand ved hjælp af de underjordiske plantedele. Som jordbunds faktor påvirkes vandfaktoren af jordbundens tekstur, struktur og hældning samt grundvandspejlets højde. I analyserne af stofproduktionen i Vårbyg blev vandfaktoren så vidt mulig holdt på det optimale, dvs at vandfaktoren hverken har begrænset bladarealets vækst eller temperaturens eller belysningens virkning på den daglige nettoproduktion. Her skal blot tilføjes et par plantefysiologiske ord om, hvorfor vandstress nedsætter nettoproduktionen. Det skyldes udelukkende to forhold: a) ved vandstress lukkes spalteaåbningerne tidligere på dagen og b) ved vandstress begunstiges stoffordelingen til de underjordiske dele.

Til a) Når spalteaåbningerne lukkes på grund af vandstress, nedsættes fotosyntesen hos solblade som kornarternes omtrent til samme værdi som åndingen, dvs at der netto hverken optages eller udskilles kultveilde fra bladpladerne. Under længere tørkeperioder åbnes spalteaåbningerne kun nogle morgentimer med sparsom belysning, således

at døgnets bruttoproduktion nærmer sig det totale stoftab ved ånding ja, døgnets nettoproduktion kan blive nul eller endog negativ.

Til b) Ved vandstress under væksten påvirkes stoffordelingen på den måde, at de underjordiske plantedele modtager en større del af bladenes nettoproduktion og en mindre del bliver til nye blade. Det langsommere voksende bladareal producerer mindre stof, idet fotosyntesen i en bevoksning, alt andet lige, vokser proportionalt med bladarealet; derhos bliver den større underjordiske stofmasse årsag til større stoftab ved ånding. Se også under punkt 12 s 18.

Læplantning. Når læplantning forøger høstudbyttet (Esbjerg 1917, 1922, 1930). Waggoner 1969 giver litteraturen om 150 års læundersøgelser i Nebraska), skyldes det utvivlsomt, i hvert fald i Danmark, en optimerende virkning på vandfaktoren. Derfor også kun virkning i nedbørarme år. Men om den optimerende virkning beror på, at spalteåbningerne holdes åbne i længere tid om dagen eller en gunstigere stoffordeling eller begge dele, er ikke analyseret. Men kunne nok fortjene en analyse, bl.a. omfattende en bestemmelse af bladarealet i forhold til overjordisk og underjordisk plantestof, som under punkt 13 (s 21) og illustreret med fig 3.

Mætningsdeficit (mætningsmangel). Deficit betyder mangel, og mætningsdeficit angiver, hvor meget luften mangler i vanddamp for at være mættet. Mætningsdeficit udtrykkes i mb vanddamptryk. Når luften er mættet med vanddamp, er mætningsdeficit nul, sådan som det ofte er tilfældet lige før solen står op. Men når temperaturen stiger, stiger også mætningsdeficit, og ved middagstid om sommeren er det ofte over 12-15 mb, se tabel 4.

Mætningsdeficit er helt afgørende for fordampningen (evaporationen) fra jorden og fordampningen (transpirationen) fra planterne.

Tabel 4. Mætningsdeficit.

Temperatur °C	0°	10°	20°	30°
Mættede vanddampes tryk i mb	6.1	12.3	23.4	42.4
Vanddamptryk i mb ved fugtighedsgrad 50%	3.1	6.1	11.7	21.2
Mætningsdeficit i mb, afrundet	3	6	12	21

Alt andet lige stiger fordampningen proportionalt med mætningsdeficit, som derfor er af allerstørste betydning for planternes vandhus-holdning. Mistrøstigt at denne faktor er næsten upåagtet, f eks kun nødtørftigt omtalt af Høgh-Schmidt & Søgaard 1980. Det daglige mætningsdeficit måles ikke ved de meteorologiske stationer. Det var ønskeligt, om man - i hvert fald forsøgsvis - kunne overkomme at angive det daglige mætningsdeficit kl 12 i de 3-4 sommermåneder. For næst efter tilgængeligt vand i madjorden er mætningsdeficit den klimafaktor, der er vigtigst for planternes vandbalance. Husk - i alle spørgsmål om vandets fordampning er det ikke fugtighedsgraden, men udelukkende mætningsdeficit som er den afgørende faktor.

Om fosfat og vandfaktoren, se ovenfor under punkt 6 (s 8).

Og lad så R.K. Kristensen 1937, 1941 få det sidste ord om vandet: "Store afgrøder har større vandforbrug og stiller stærkest krav til nedbøren. De stærkest gødede forsøgsled har ikke vist nogen speciel modstandskraft over for regnmangel".

18. Temperaturfaktoren.

Temperaturen virker i området 10°C-25°C først og fremmest på stoftabet ved ånding, kort kaldt åndingstabet. Hos urteagtige planter, hvortil alle verdens kornarter hører, udgøres stoftabene gan-

ske overvejende af åndingstabet. Det har vi målt på Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, dyrket i kar. Udsæd 10 april, målinger i tidsrummet 13 maj til 5 juli, dvs 33-85 dage efter udsæd. 3 mio bygplanter pr ha, jordbunds faktorer og vandfaktor optimale. Åndingstabene, hvis størrelse vistnok vil forbavse de fleste, måles ved at bestemme udskillelsen af kultveilte, der let kan måles med stor nøjagtighed ved de metoder, som er angivet under punkt 10 og 11. Hvor der også er gjort rede for, at 1 hkg kultveilte udskilt svarer til 0.614 hkg tørstof forbrændt. I fig 4 og 6 er åndingstabet angivet i hkg tørstof pr 24 timer pr hkg plantetørstof. I fig 5 og 7 er åndingstabet angivet i hkg tørstof pr ha bevoksning pr 24 timer.

Et gammelt og et nyt ord om høstudbytte og temperatur.

Peder Laale skrev: "Majens kuld gør Laden fuld". Forklaringen på den ofte citerede iagttagelse skyldes nok, at kulden sparer på åndingstabet og begunstiger vandbalancen. Blandt Himmerlands kartoffelavlere hedder det: "Septemberdage kolde giver store knolde". Måske fordi kulde i de lange nætter sparer på åndingstabet, måske fordi lavere temperatur styrer en større del af overskuddet i de kortere dage ned i kartoflerne, måske en kombination af begge forhold, styret af arvefaktorer medbragt fra kartofflens hjemland med tempereret klima ved ækvator, hvor dagen altid er 12 timer lang. - I Peru, 15° sydl bredde, dyrkes kartofler op til 4.3 km højde (Rhoades 1982).

NB: Reduktion til andre temperaturer end måletemperaturen. Det er naturligvis bedst at måle åndingen ved flere temperaturer, men tidsrøvende. I analyserne (Löhr 1975) blev åndingen målt ved 20°C, og herfra udregnedes åndingens størrelse ved 15°C og 10°C efter Kuiper 1910. Såfremt der kun er tid og plantemateriale til at måle ved én temperatur, bør man vælge den højeste. Tallene ved 20°C reduceres til 15°C og 10°C ved division med henholdsvis 1.4 og 2.1. Åndingen ved 15°C og 10°C er henholdsvis 71% og 48% af den ved 20°C.

Åndingstabet i de underjordiske dele af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir fig 4 og 5. Fig 4 viser åndingstabet i hkg tørstof pr 24 timer pr hkg underjordisk tørstof. Udtryk i procent er

(forts. s. 39)

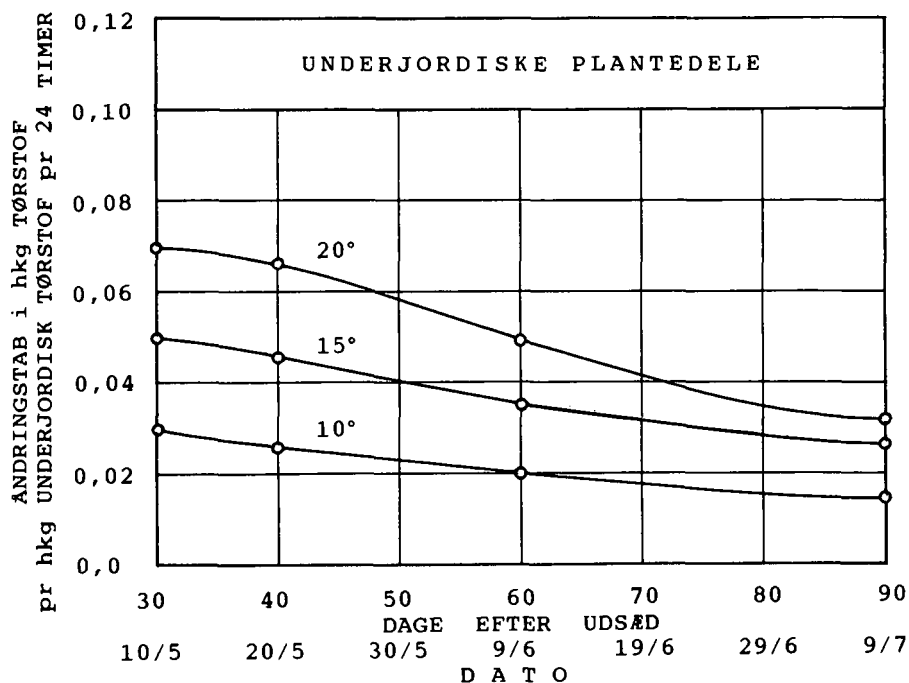


Fig. 4: "hkg pr hkg underjordisk". Åndingsløbet i underjordiske dele af Toradet Nikkende Byg cv Emir i hkg tørstof pr hkg underjordisk tørstof pr 24 timer. Kan også læses som procentisk tørstofftab: 0.06 betyder, at 6% af det underjordiske tørstof forbrændes ved ånding i cellerne i løbet af 24 timer. - De overjordiske dele blev skåret af ved jordoverfladen umiddelbart før måling af åndingens størrelse. Tallene gælder således både de underjordiske stængeldele og røddernes ånding. Til gengæld er røddernes ånding bestemt med de ubeskadigede rodhår på deres plads i deres arbejdsrum (Löhn 1975, s. 95).

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), subterranean parts. Sowing 10 Apr., heading 20 June.

Ordin.: Loss of dry matter by respiration, hkg dry matter per hkg subterranean dry matter per 24 hours.

Absc.: Days after sowing 10 Apr.

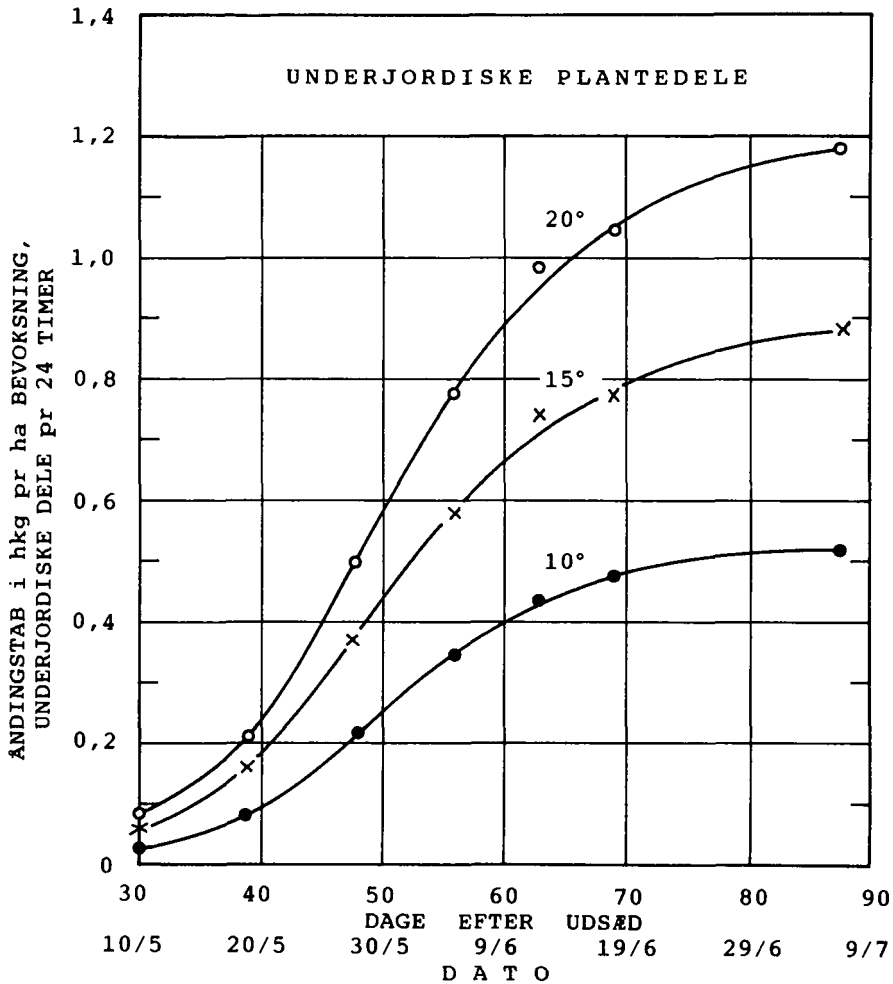


Fig. 5: "hkg pr ha underjordisk". Åndingstab i de underjordiske dele af Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha, i hkg tørstof pr ha jordareal pr 24 timer. Udsæd 10 april, skridning 20 juni. Måling på karkulturer ved 20° C.

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), subterranean parts. Sowing 10 April, heading 20 June.

Ordin.: Loss of dry matter by respiration, hkg per ha field in 24 hours.

Absc.: Days after sowing 10 April.

åndingstabet 15 maj, 35 dage efter udsæd, 3.2, 4.8 og 6.7% af det underjordiske tørstof pr 24 timer, eftersom temperaturen i jorden er 10°C, 15°C eller 20°C. I tiden fra 15 maj til 5 juli, 85 dage efter udsæd, falder åndingstabet jævnt til det halve 1.6, 2.4 og 3.4% af det underjordiske tørstof pr 24 timer, eftersom temperaturen i jorden er 10°C, 15°C eller 20°C. Årsagen til faldet er formentlig, at nogle celler dør, og at andre får tykkere cellevægge. Karakteristisk, at de underjordiske plantedele ikke udvikler så meget dødt støttevæv som stænglerne. Fig 5 viser åndingstabet i de underjordiske dele af byg pr ha bygbevoksning pr 24 timer. Åndingstabet stiger fra 15 maj med et åndingstab på 0.042, 0.062 og 0.088 hkg tørstof pr ha pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C til 5 juli med et åndingstab på 0.60, 0.90 og 1.27 hkg tørstof pr ha pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C. Beregnet på samme temperatur i madjorden er åndingstabet 14.5 gange så stort pr ha bevoksning 5 juli som 15 maj, fordi den underjordiske masse i tiden fra midten af maj til 5 juli er steget fra 1.3 hkg til 33.8 hkg tørstof pr ha. Det er utvivlsomt af betydning for nettoproduktionen, at åndingstabet dæmpes af den lavere temperatur i madjorden.

Rodånding og sårpirring: Når man har bestemt åndingen i rødder, har det så godt som altid været i rødder fra planter i vandkultur. Men i vandkultur danner rødderne ikke rodhår, de som hos planter, der vokser i jord, er røddernes egentlige næringsoptagende dele. Ved den her benyttede metode er det let at bestemme røddernes ånding med rodhårene ubeskadigede på deres arbejdsplads i jorden. Blot må man finde sig i at medbestemme de underjordiske stængeldeles ånding. For at gøre jordåndingen uden rødder så lille som mulig, bør man anvende jord med ringe indhold af organisk stof. Der kan ikke være tale om, at afskæringen af de overjordiske dele påvirker åndingen i de første timer. Den ejendommelige og meget betydelige forøgelse af åndingen - op til over det dobbelte - som optræder efter såring af grene, træstammer, gulerødder, roer og kartofler, hos de sidste også efter såring med røntgenstråler (*Boysen Jensen 1939*, s. 108) og med ultralyd (*Müller & Meldgaard 1944*), forekommer udelukkende i plantedele, der helt eller delvis fungerer som forrådsorganer, og sætter kun langsomt ind. Arvelighedsforskeren *Wilhelm Johannsen*, 1857-1927, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles første professor i plantefysiologi, og som fader til termini gen, genotype, fænotype og Rene Linier, den berømteste danske biolog i 1900-tallet, kaldte fænomenet "en slags sårfeber".

De overjordiske dele af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir
fig 6 og 7. Først åndingstabet i hkg tørstof i de overjordiske dele pr 24 timer. Fig 6 viser, at åndingstabet i de overjordiske dele arter sig anderledes dramatisk end i de underjordiske dele, sml fig 4. Ved målingernes begyndelse 15 maj, 35 dage efter udsæd, var åndingstabet 8.1, 12.2 og 17.2% af de overjordiske bygdeles tørstof pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C. Altså 17.2% af tørstoffet i de overjordiske dele forbrændes i løbet af 24 timer ved 20°C! Heldigvis er temperaturen og dermed åndingstabet som regel lavere. Det er de unge blade og stængler med de mange tyndvæggede, plasmafyldte celler, der har denne voldsomme forbrænding. I de følgende uger falder åndingens intensitet brat, og åndingstabet er 5 juli faldet til 0.9, 1.4 og 2.0% af det overjordiske tørstof pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C, kun 1/8 af åndingens intensitet

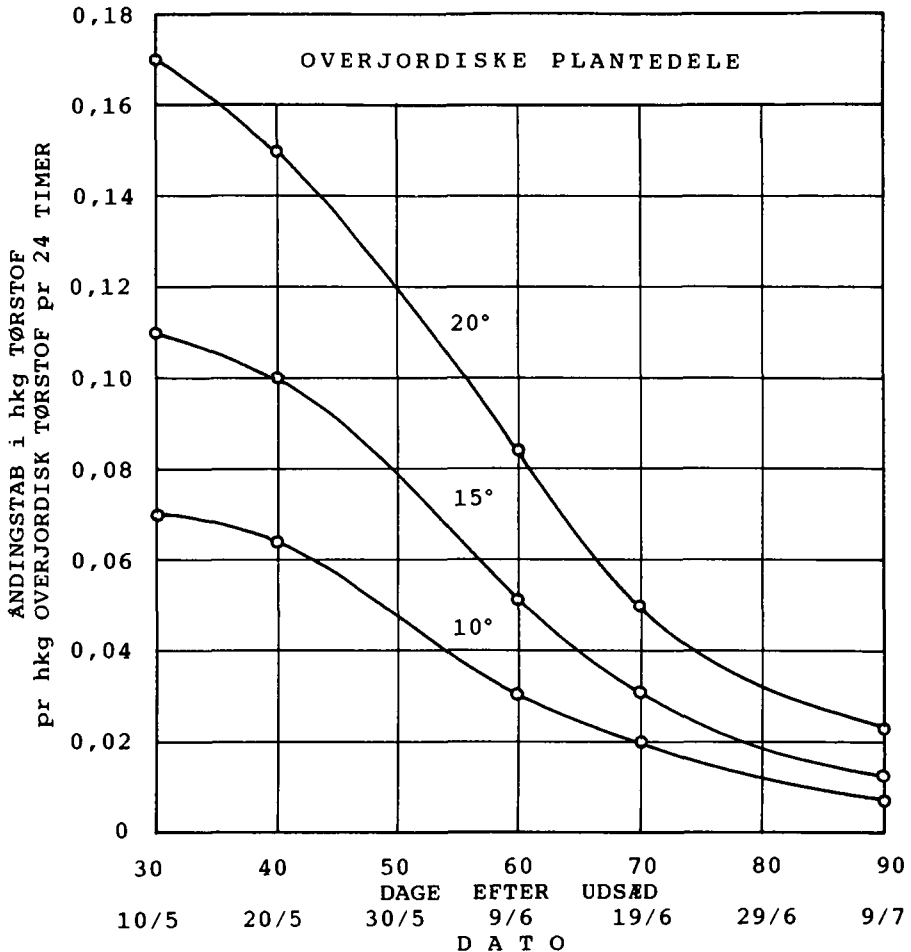


Fig. 6: "hkg pr hkg overjordisk". Åndingstabet i overjordiske dele af Toradet Nikkende Byg cv Emir i hkg tørstof pr hkg overjordisk tørstof pr 24 timer. Kan læses som procentisk tørstofftab: 0.17 betyder at 17% af det overjordiske tørstof forbrændes ved ånding i cellerne i løbet af 24 timer. Fra 10 maj til 10 juli falder åndingstabet ved 20°C fra 12% til 2%. Se nærmere s 38 (Løhr 1975, table 11,4 s 111).

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir) above ground parts. Sowing 10 April, heading 20 June.

Ordin.: Loss of dry matter by respiration, hkg per hkg dry matter in 24 hours.

Absc.: Days after sowing 10 April.

15 maj. Det drastiske fald i åndingens intensitet beror på, at de fleste parenkymceller i stænglerne får forveddede vægge og dør. Da de er smalle og langstrakte, minder de om fibercellerne, planternes uforlignelige støttevæv, de er dog ikke som fibercellerne tilspidse-
de i enderne (venligt meddelt af dr.phil. Steen Allerup). For netto-
produktionen er det drastiske fald i åndingsintensiteten en absolut
nødvendighed, se nedenfor.

Sammenligning med ånding hos mennesket. Åndingens størrelse i de unge blade og stængler af byg i midten af maj kan uden betænkning kaldes betydelig. For åndingen pr 70 kg friskvægt af de overjordiske bygdele er ved 20°C 3.5 gange så stor som hos et voksent menneske ved 37°. 70 kg friskvægt af de overjordiske bygdele udskiller i mørke i midten af maj ved 20°C 3.4 kg kultveilte pr døgn, svarende til en forbrænding af 2.1 kg tørstof. Medens mennesket på 70 kg ved stillesiddende arbejde og legemstemperatur 37° udskiller 0.9 kg kultveilte pr døgn, svarende til en forbrænding af 0.6 kg tørstof og til en energiomsætning på 0.01 GJ = 10.000 kilojoule.

Og så åndingstabet i de overjordiske dele af en bevoksning af byg pr 24 timer, et åndingstab der, som fig 7 viser, har et højst ejendommeligt forløb. Først en forbløffende stejl stigning fra 15 maj med et åndingstab på 0.08, 0.12 og 0.17 hkg tørstof pr ha pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C, op til 5 juni med et åndingstab på 2.28, 3.37 og 4.74 hkg tørstof pr ha pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C. Dette uhyre åndingstab efterfølges af et næsten lige så brat fald til 1.14, 1.69 og 2.38 hkg tørstof pr ha pr 24 timer ved henholdsvis 10°C, 15°C og 20°C den 5 juli, 85 dage efter udsæd. Der kunne ikke med sikkerhed konstateres nogen virkning af skridningen omkring 20 juni. Åndingstabets mærkværdige forløb, som det ses på fig 7, skyldes, dels at åndingens intensitet styrter nedad i tidsrummet fra 15 maj til 5 juli, se fig 6, dels

(forts. s. 44)

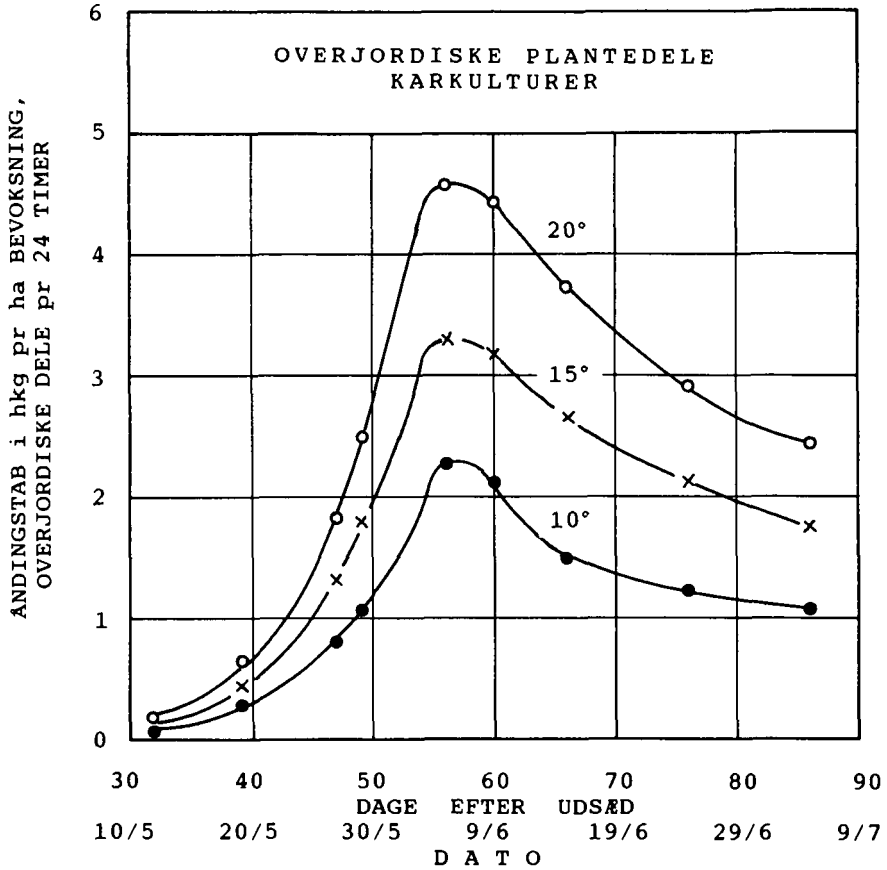


Fig. 7: "hkg pr ha overjordisk". Åndingstab i de overjordiske dele af Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha, i hkg tørstof pr ha bygmærk. Udsæd 10 april, skridning 20 juni. Måling på kar-kulturer ved 20°C. Sammenlign fig 5 (Löhr 1975, tabel 7,7 og 11,2 samt fig 11,1).

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), above ground parts. Sowing 10 Apr., heading 20 June.

Ordin.: Loss of dry matter by respiration, hkg per ha field in 24 hours.

Abse.: Days after sowing 10 Apr.

den samtidig voldsomme stigning i den overjordiske masse fra 1 hkg 15 maj til 91 hkg tørstof pr ha 5 juli. Naturligvis dæmpes åndingstabet ved lavere temperatur, som det fremgår af fig 7. Men hvis ikke åndingens intensitet faldt drastisk, ville de overjordiske dele "ånde sig ihjel". Der ville overhovedet ikke blive noget overskud fra fotosyntesen, nettoproduktionen ville blive nul eller negativ.

Temperaturen og den daglige nettoproduktion. Tabel 2a og 3 viser den daglige nettoproduktion i afhængighed af temperatur, belysning og bladareal i bevoksning af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir. Når bladarealet er 0.29 og 0.97 ha pr ha jordareal, er nettoproduktionen kun i ringe grad afhængig af temperaturen. Men når bladarealet er 4.82 ha pr ha jordareal, er der en meget betydelig forskel mellem nettoproduktionen ved 20°C og den ved aktuel temperatur: Ved aktuel temperatur 4.72 hkg tørstof pr ha pr 24 timer, ved 20°C 3.01 hkg pr ha pr 24 timer - en forskel på 1.71 hkg tørstof pr ha pr 24 timer inklusive noget at tænke over. Temperaturen har, ved det lave kultveilte-tryk i atmosfæren, kun en beskednen, men til gengæld kompliceret indflydelse på fotosyntesen, se noter til lysfaktoren punkt 19 j s 58.

Åndingstabet pr 24 timer i procent af bruttoproduktionen i de samme timer. Tabel 2b viser i kolonnen yderst til højre, at åndingstabet i procent af bruttoproduktionen, begge målt i de samme 24 timer, selvfølgelig i allerhøjeste grad er afhængig af bruttoproduktionens størrelse, og det vil igen sige afhængig af bladarealet og i ganske særlig grad af døgnets lyssum. I middel var den daglige lyssum i tidsrummet 13 maj-31 maj 1969 83 GJ pr ha, og ved den lyssum var åndingstabet i procent af bruttoproduktionen 18-32%. I de

Tabel 5. Tørstoftabet ved ånding i hkg pr ha fra 10 maj til 9 juli, ialt 60 dage. Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha. Udsæd 10 april, skridning 20 juni. Bygmarken uden om karrene med samme bygsort. Nettoproduktionen er praktisk = nettofotosyntesen. I bruttoproduktionen er tørstoftabet ved ånding, kaldt åndingstabet, inkluderet, kalkuleret efter den daglige temperatur i madjorden og luften i 1 m højde, sml tabel 2b. Tal er hkg tørstof pr ha.

	Karkulturer		Bygmarken omkring karkulturerne	
	under- jordisk	over- jordisk	under- jordisk	over- jordisk
tørstof 10 maj	1.3	1.0	1.2	0.9
" 9 juli	34.5	94.7	18.8	46.3
nettoproduktion				
pr 90 dage	33.2	93.7	17.6	45.4
bruttoproduktion				
pr 90 dage	48.2	143.6	25.8	68.5
åndingstabet	15.0	49.9	8.2	23.1
" i % af				
bruttoproduktionen	31 %	35 %	32 %	34 %

allermørkeste sommerdage er stoftabet ved ånding over 50% af bruttoproduktionen og i de allerlyseste sommerdage kun 14-20% af bruttoproduktionen (tabel 2b).

Åndingstabets samlede størrelse i bevoksninger af byg. Tre forhold ved åndingstabet er særlig vigtige. For det første er åndingstabet en betydelig post i stofregnskabet hos de grønne planter. For det andet er åndingstabet mere end nogen anden post i regnskabet afhængig af temperaturen. For det tredje: Jo større afgrøde, jo større åndingstab. Dog vokser åndingstabet ikke proportionalt med afgrødens størrelse. Den store afhængighed af temperaturen,

forskellen mellem temperaturen i jorden og i luften, forskellen mellem dag- og nattemperaturen, er årsag til, at nøjagtige beregninger er meget vanskelige, sml tabel 2b. Tallene i tabel 5 giver kun størrelsesordenen af åndingstabet, dels i hkg pr ha, dels i % af bruttoproduktionen. De nøjagtigste er dem fra karkulturerne. Men de lider dog under, at stofproduktionen i karrene efter ca 10 juni blev unaturlig stor. Tallene for de overjordiske dele af markbevoksningen er ret sikre, idet de overjordiske dele i markbevoksningen blev fulgt parallelt med analyserne af karkulturerne. Mest problematisk er tallet for åndingstabet i de underjordiske dele af markkulturen. Men bedre tal er ikke at opdrive. Tør man afrunde: ca 30% af bruttoproduktionen går tabt ved ånding hos Vårbyg i tiden maj-juli - men se endnu en gang på tabel 2b.

Temperatur, høstudbytte og statistik, se tabel 6, hvis tal er hentet fra Danmarks Statistiske Årbog, lyssummerne dog fra Klima- og Vandbalancestationen Højbakkegård, som ligger 17 km vest for Københavns centrum og hører under Hydroteknisk Laboratorium ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Tallene gælder tiåret 1970-79 og viser bygareal, samme i procent af samlet kornareal og kerneudbyttet pr ha under ét af de forskellige bygsorter, alle Vårbyg. Konfronteret med middeltal for de tre varierende klimafaktorer vand-, temperatur- og lysfaktoren i de tre måneder maj, juni og juli, som er afgørende for Vårbyggens høstudbytte. Tabel 6 viser, at de laveste gennemsnitlige kerneudbytter faldt i de to år 1970 og 1976, hvis middeltemperatur var højest, henholdsvis 14.1°C og 14.2°C . De højeste kerneudbytter høstedes i de to år 1974 og 1979, hvis middeltemperatur, i begge tilfælde 12.9°C , var lavest. Naturligvis

(forts. s. 49)

Tabel 6. Byg i Danmark i tiåret 1970-1979. Udelukkende Vårbyg.

Høstudbytte i hkg kerne pr ha og middel af de tre varierende klimafaktorer vand-, temperatur- og lysfaktoren i de tre måneder maj, juni, juli, i alt 92 dage.

År	Byg-areal i ha	Byg-areal i % af samlet kornareal i Danmark	Byg, hkg kerne pr ha	Nedbør i maj, juni juli i cm = 1000 hkg pr ha	Middel- tempe- ratur maj, ju- ni, juli	Middelbelys- ning maj, ju- ni, juli i GJ 400-700 nm pr ha pr 24 timer
1970	1.351.345	77.7	35.6	15	14.1°	93
1971	1.369.730	78.0	39.8	17	13.6°	94
1972	1.405.857	79.1	39.6	23	13.6°	84
1973	1.444.929	82.0	37.6	14	13.2°	102
1974	1.436.851	82.8	41.5	15	12.9°	99
1975	1.442.716	83.9	35.9	9	13.8°	103
1976	1.478.585	82.7	32.5	10	14.2°	110
1977	1.527.723	83.9	40.2	14	13.2°	104
1978	1.570.148	85.1	40.1	15	13.1°	109
1979	1.621.870	87.6	41.2	16	12.6°	99
Middel i tiåret						
1970-1979			38.4	14.7	13.5°	99.7

Byg, hkg kerne pr ha i tiåret 1970-79, dels i de 5 år (1970,-71,-72, -75 og -76), hvis middeltemperatur i maj, juni, juli lå over gennemsnittet 13.5°, dels i de 5 år, hvor den lå under gennemsnittet

Over gennemsnittet, i middel	13.9°	Nedbør i middel 15 cm	hkg kerne pr ha/år 36.7
Under gennemsnittet, i middel	13.1°	15 cm	40.1

1974 og 1979 havde størst gennemsnitlig høstudbytte i byg og samtidig koldest middel maj-juli. 1970 og 1976 havde mindst gennemsnitlig høstudbytte i byg og samtidig varmest middel maj-juli. Høstudbyttet i 1979 blev $1.621.870 \times 41.2 = 66.800.000$ hkg kerne. Hvis høstudbyttet i gennemsnit kun havde været 32.5 hkg som i 1976, ville det være blevet til $52.710.775$ hkg kerne, dvs 14 mio hkg mindre end det, som det heldigvis blev. En varm og tør sommer er kostbar.

Tabel 7. Til at vinde forståelse for og fortrolighed med belysning i GJ er her sammenstillet lyssummer i de tre lyseste måneder maj, juni, juli. Lyssummen er summen af strålingsenergi i bølgeområdet 400 nm, violet, - 700 nm, midterste rødt, der falder på en vandret flade. Her er lyssummerne angivet i GJ pr ha. - 1 GJ(gigajoule) = 1000 mio J = 1000 000 000 J(joule) = 240 000 000 cal(gramcalorier). Tal fra Tåstrup 55°40'N/12°18'E/ H = 28 m (Aslyng 1980).

Tidsrum	Lyssum i GJ pr ha pr 24 timer			Lyssum i GJ pr ha kl 12-13		
	lyseste dag	gennemsnit	mørkeste dag	lyseste time	gennemsnit	mørkeste time
13-31 maj 1969	135	83	42	14.4	9.4	6.0
1-15 juni 1969	144	109	47	14.7	10.5	3.7
16-30 juni 1969	140	98	18	14.1	10.8	1.7

Lyssum i GJ pr ha pr 24 timer i gennemsnit i månederne:
maj juni juli maj-juli august september

tiåret 1970-79	98	104	94	99	81	50
mørkeste år 1972	74	93	94	84	74	50
lyseste år 1976	95	119	115	110	107	50

Rekorder maj-juli i tiåret 1970-1979: En enkelt dag, den 25 maj 1976, var helt nede på 15 GJ pr ha pr 24 timer, og en enkelt dag, den 17 juni 1978, var helt oppe på 175 GJ pr ha pr 24 timer. En minus-dag og en plus-dag.

I det plantiske: 1 GJ = den bundne energi i 0.6 hkg plantetørstof. 1 hkg plantetørstof indeholder en bunden energimængde på 1.68 GJ. 1 g plantetørstof = 16.8 kJ(kilojoule).

I det menneskelige: 1 GJ er den energimængde, som 100 voksne mennesker omsætter pr 24 timer. En voksen mand, 70 kg, legemstemperatur 37°, stillesiddende arbejde, omsætter ca. 0.01 GJ = 3 kWh(kilowatt-timer) pr døgn.

I det umenneskelige: 1 GJ pr ha pr time = 0.66×10^{-3} cal(gramcalorie) pr cm² pr sec = 28 W(watt) pr m². 100 W pr m² = 3.6 GJ pr ha pr time.

skyldes en del af temperaturens indflydelse virkningen på vandbalancen, lav temperatur begunstiger vandbalancen, navnlig fordi den nedsætter mætningsdeficit, se tabel 4, og derved dæmper fordampningen. Men det er næsten sikkert, at en del af temperaturens indflydelse skyldes den direkte virkning på åndingstabet. Hvor stor en del må fremtidige analyser afgøre.

Note. Tingle et al 1970 har dyrket 17 forskellige varieteter af byg, deraf 3 toradede sorter, ved 12°C, 18°C, 24°C og 18°C dag/12°C nat. Planterne med den lave nattemperatur gav størst kerneudbytte.

19. Lysfaktoren.

Lyset leverer energi til fotosyntesen, hvorved kultveilde og vand sammenbygges til organisk stof, plantens tørstof. 1 hkg kultveilde forarbejdes til 0.614 hkg tørstof, hvori er bundet en energimængde på 1.03 GJ (gigajoule).

a. Planterne. Alle tal for brutto- og nettoproduktion i tabel 2, 3, 10 og 11 samt tallene til fig 8, 9 og 10 er opgivet i hkg tørstof pr ha, dels pr time, dels pr 24 timer. Alle tal gælder Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, i karkultur, 3 mio planter pr ha, udsæd 10 april, skridning 20 juni, vand- og jordbundsfaktorer er optimale, karrene nedgravet i bevoksning af samme og samtidig udsæede bygsort, som delvis målt parallelt med karplanterne. Alle målinger ved 20°C, kultveilde-tryk 0.344 mb og åbne spalteåbninger.

København, Bergen: Indstrålingen måles i Tåstrup i MJ (1 megajoule = 1 mio joule) pr m². I Bergen og andre steder måles indstrålingen i ly (også bevævent lan efter Langley). 1 ly = 1 lan = 4.19 joule pr cm². Fra 1981 måles indstrålingen i Bergen i MJ pr m².

Når vandfaktoren er så nær optimum, at alle spalteåbninger står åbne fra sol står op til sol går ned, vigtigst at de er åbne i de lyseste timer fra kl 9 til 15, så styres nettoproduktionen i bladene udelukkende af lysfaktoren og arvefaktorerne. Den ringe og komplicerede indflydelse, temperaturen har på bladenes nettoproduktion, er omtalt under punkt 19 j s 58.

b. Belysning: Stofproduktionslys, fotosynteselys, langrødt lys.

Stofproduktionslys er hele spektret af synlig stråling fra yderste violet med bølgelængde (λ) 380 nm til yderste rødt med bølgelængde 780 nm, den stråling som medvirker ved de højere grønne planters stofproduktion, dels direkte ved fotosyntesen, dels indirekte ved stoffordelingen. Desuden er den ultraviolette stråling fra 330 til 380 nm virksom ved fotosyntese og stoffordeling.

Fotosynteselys er området 380 nm til 700 nm (midterste rødt) plus en del af den ultraviolette stråling ned til 330 nm.

Langrødt lys (også kaldet mørkerødt, på engelsk "far red") er lys i bølgeområdet 700 til 780 nm. Det virker på fytokromerne, nogle svagt blålige æggehvide stoffer, som er opløst i plantecellernes plasma og har afgørende indflydelse på stoffordelingen (Mohr 1972) og derigennem indirekte på fotosyntese og stoftab.

Af praktiske grunde er det lysområdet 400 nm, violet-700 nm, rødt, der måles ved de omfattende målinger af indstrålingen i Tåstrup ved København (Aslyng 1980). Også alle angivelser af lysenergi i det arbejde (Löhr 1975), der ligger til grund for denne afhandling, gælder 400-700 nm. Aslyng angiver lysmålingerne 400-700 nm i MJ (1 megajoule = 10^6 J) pr m^2 , Löhr i $cal \times 10^{-3}$ pr cm^2 pr sec. Men for at lysmålingerne kan bringes i overensstemmelse med målingen af stofproduktionen (netto- og bruttoproduktion, åndingstab, fotosyntese, alle størrelser i hkg tørstof pr ha), er det bydende nødvendigt, at lysmålingerne angives i GJ (gigajoule) pr ha, dels pr time, dels pr 24 timer. 1 GJ er 1000 mio joule (J), altså 1000 000 000 joule, 10^9 joule. Belysning målt i GJ pr ha giver små tal, som tabel

Tabel 8. Belysning 400-700 nm, violet-rødt, i GJ pr ha pr time.
Gennemsnit i de 8 lyseste uger 13 maj-10 juli 1969

kl	13-31 maj	1-15 juni	16-30 juni	1-10 juli
4-5	0.3	0.8	0.6	0.3
5-6	1.3	2.3	1.9	1.5
6-7	2.8	4.0	3.3	3.2
7-8	4.2	5.9	5.0	4.6
8-9	6.3	8.0	6.8	6.2
9-10	8.0	10.5	9.1	7.4
10-11	9.9	10.8	10.2	7.3
11-12	10.0	10.9	10.8	6.7
12-13	9.4	10.9	10.8	6.6
13-14	7.4	10.6	10.1	6.8
14-15	6.8	10.5	8.9	6.8
15-16	6.0	8.2	7.3	6.5
16-17	4.4	6.6	5.2	5.5
17-18	3.1	4.7	3.8	3.8
18-19	1.9	2.9	2.3	2.3
19-20	0.7	1.3	1.2	1.4
20-21	0.1	0.3	0.3	0.2
GJ pr ha pr 24 ti- mer	83	109	98	77

7 og 8 viser. Vi håber, at de to tabeller kan skabe fortrolighed med belysning i GJ pr ha, og at belysning i GJ pr ha kan fremme forståelsen af sammenhængen mellem belysning og stofproduktion, som vist i fig 9 og 10.

De daglige lyssummer i vore lyseste 8 uger 13 maj til 10 juli er omkring 100 GJ pr ha. Den lyseste time kl 12-13 i de samme 8 uger får i gennemsnit 10.2 GJ pr ha, på de allerlyseste dage 14.1-14.7 GJ pr ha.

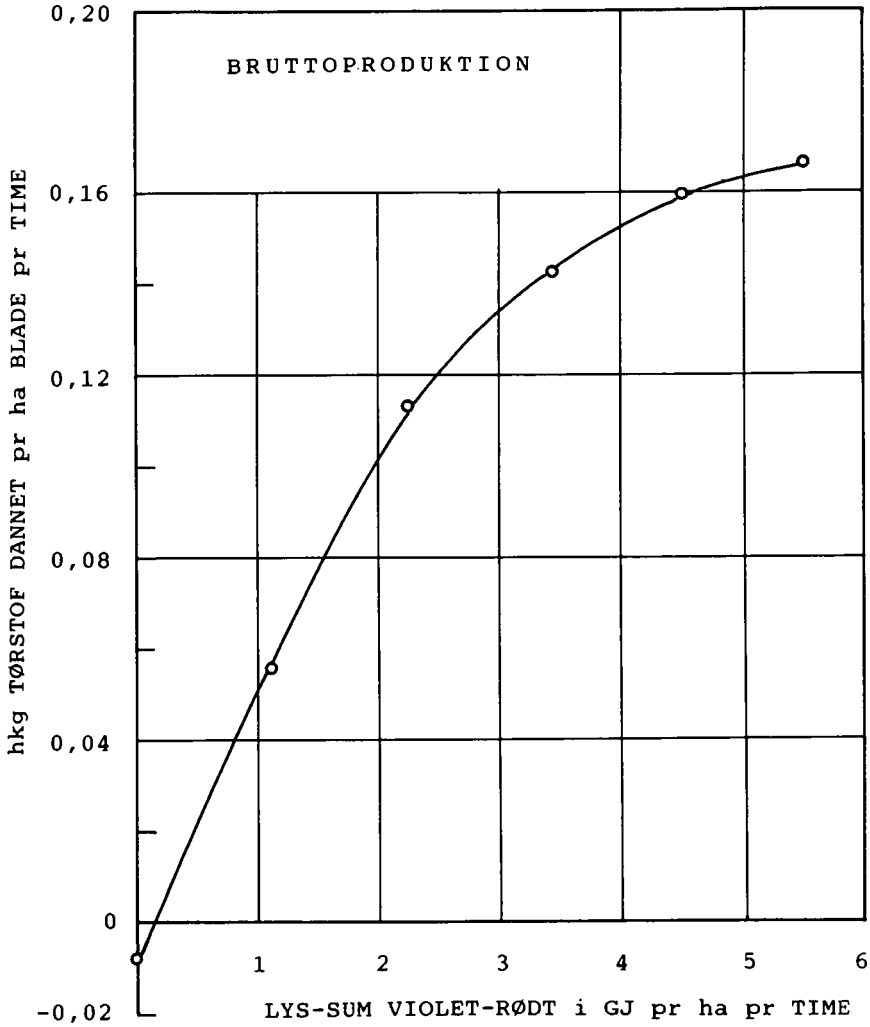


Fig. 8: Brutto- og netto-fotosyntesens afhængighed af belysningen på udvoksede bladplader af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha, vand- og jordbundsfaktorer optimale under opvæksten. Den lodrette akse angiver hkg tørstof produceret pr ha bladplader, ensidig målt, pr time, belyst vinkelret på oversiden, åbne spalteåbninger, 20°C, kultveilte-tryk 0.344 mb. Den vandrette akse angiver belysningen i GJ pr ha pr time, sml tabel 7. Ved belysning nul er der nul fotosyntese, men bladene udskiller kultveil-

NB: Alle lysmålinger her i GJ pr ha gælder bølgeområdet 400-700

nm.

c. Brutto- og nettoproduktion pr ha bladplader, fig 8. Lige så selvfølgelig som at måle belysningen i GJ pr ha, lige så selvfølgelig er det at måle den fotosyntetiske brutto- og nettoproduktion pr ha bladplader i hkg tørstof. For så kan man ud fra bevoksningens areal af bladplader få et skøn over den mulige brutto- og nettoproduktion. Fig 8 viser fotosyntesens størrelse i hkg tørstof pr ha

te som følge af åndingen. 1 ha bladplader forbrænder pr time ved 20°C 0.0074 hkg tørstof, og dette åndingstab noteres som minus. Derfor begynder kurven ved -(minus) 0.0074 hkg tørstof. Ved første lys-skær bliver åndingstabet mindre, fordi fotosyntesen sætter ind og opvejer noget af åndingstabet. Ved belysning 0.13 GJ pr ha pr time skærer kurven den vandrette akse. Belysningen ved skæringspunktet kaldes kompensationsbelysning, fordi ånding og fotosyntese ved den belysning er lige store og opvejer - kompenserer - hinanden. Fra 0.13 GJ og opefter angiver kurven nettoproduktionen. Når belysningen nærmer sig 4.5 GJ pr ha pr time, er der lysmætning, dvs fotosyntesen stiger kun ubetydelig, selv om belysningen øges kendelig. Ved lysmætning er fotosyntesen netto 0.166 hkg og brutto $0.166 + 0.0074 = 0.173$ hkg tørstof pr ha bladplader pr time (Löhr 1975, fig 12,1 om-sat til tørstof og belysning i GJ).

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), sowing 10 Apr., heading 20 June. Photosynthesis of leaf-blades about 10 June, by 20°C and CO₂-pressure 0.344 mb. Total air-pressure about 1010 mb. By light-saturation the net production is 0.166 hkg and the gross production $0.166 + 0.0074 = 0.173$ hkg dry matter per ha leaf-blades, one side only, per hour.

Ordin.: hkg dry matter produced per ha leaf-blades, one side only, per hour.

Absc.: Illumination, 400-700 nm, in GJ per ha per hour.

bladplader, ensidig målt, af Vårbyg (om sort og dyrkning se ovenfor under punkt a), bladpladerne belyst vinkelret på oversiden, belysningen angivet i GJ pr ha pr time langs den vandrette akse. Der er en lang tekst til fig 8, blandt andet fordi det kan volde vanskelighed at forstå, at kurven viser både bladpladernes brutto- og nettoproduktion. Nettoproduktionen er ved lysmætning 0.166 hkg og bruttoproduktionen $0.166 + 0.0073 = 0.173$ hkg tørstof pr ha bladplader pr time, når belysningen er over 4.5 GJ pr ha pr time v 20°C .

d. Lyskompensation. Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir. Ved 0.13 GJ pr ha pr time er ånding og fotosyntese i bladplader belyst vinkelret på oversiden lige store. De to processer opvejer - kompenserer - hinanden. Men ophæver naturligvis ikke hinanden, se fig 8. Lyskompensationen er afhængig af temperaturen. Ved lavere temperatur er åndingen mindre, og lyskompensation opnås derfor ved lavere belysning. Den totale kompensationsbelysning for en bevoksning, dvs den belysning ved hvilken bevoksningens ånding, over- plus underjordisk netop opvejes af de overjordiske deles fotosyntese, kan findes ved hjælp af tallene i tabel 12,1-12,4 (Löhr 1975) og er sammenstillet i tabel 9, f eks bladpladernes areal 4.82 ha pr ha jordareal, total kompensationsbelysning 1.2 GJ pr ha pr time. Belysning pr ha pr time i maj, juni, juli se tabel 8.

e. Lysmætning. Fotosyntesekurven fig 8 flader stærkt af ved belysning over 4.5 GJ pr ha pr time. Bladene siges at være lysmættede. Når det er tilfældet, stiger fotosyntesen ikke over 0.01 hkg tørstof pr ha blade pr time, selv om belysningen øges med 1 GJ pr time. Lysmætning opnås i de udprægede solblade af Vårbyg (sort og dyrkning se ovenfor under punkt a), når belysningen vinkelret på bladpladernes overside er mindst 4.5 GJ pr ha pr time. Men fig 9

Tabel 9. Total kompensationsbelysning for bevoksning af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir. Total kompensationsbelysning er den, der er nødvendig, for at fotosyntesen netop bliver lige så stor som åndingen i de over- og underjordiske plantedele tilsammen. Tallene fra E. Löhr 1975 tabel 12,1-12,4, de gælder ved 20°C. Ved lavere temperatur indtræffer den totale kompensationsbelysning ved lavere belysning. Om belysning i dagens timer, se tabel 8 her.

Dato for analysen i 1969	Bladpladernes areal, ensidig målt, i ha pr ha bevoksning	Total kompensationsbelysning 400-700 nm i GJ pr ha pr time, når temp over- og underjordisk er 20°C
12 maj	0.29	0.6
19 "	0.97	0.8
27 "	3.34	1.0
29 "	4.82	1.2

viser, at lysmætning aldrig indtræder i en bevoksning med over 3 ha bladplader pr ha. De øverste blade bliver utvivlsomt helt eller partielt lysmættede, men ikke de nedre delvis beskyttede blade. Alligevel, jo større bladareal, jo større del af lysstrømmen udnyttes som tabel 2 og 3 viser. Vandbalancen, som anstreges med voksende bladareal, og åndingstab om natten sætter formentlig en grænse for størrelsen af det optimale bladareal. 10 ha blade pr ha bevoksning har et åndingstab på 0.073 hkg tørstof pr time (fig 8) og i 7 nattetimer 0.51 hkg tørstof pr ha bevoksning. Ganske vist ved 20°C. Reduceret til 10°C (se punkt 18) 0.25 hkg pr nat pr ha bevoksning.

Mindste belysning til lysmætning afhænger af kultveilte-tryk og bladets lysform. Målingerne her gælder kultveilte-tryk på 0.344 mb, som er det gennemsnitlige i lavland under 100 m højde. Ved større kultveilte-tryk kan bladene udnytte mere lys, og lysmætning indtræder så først ved større belysning end

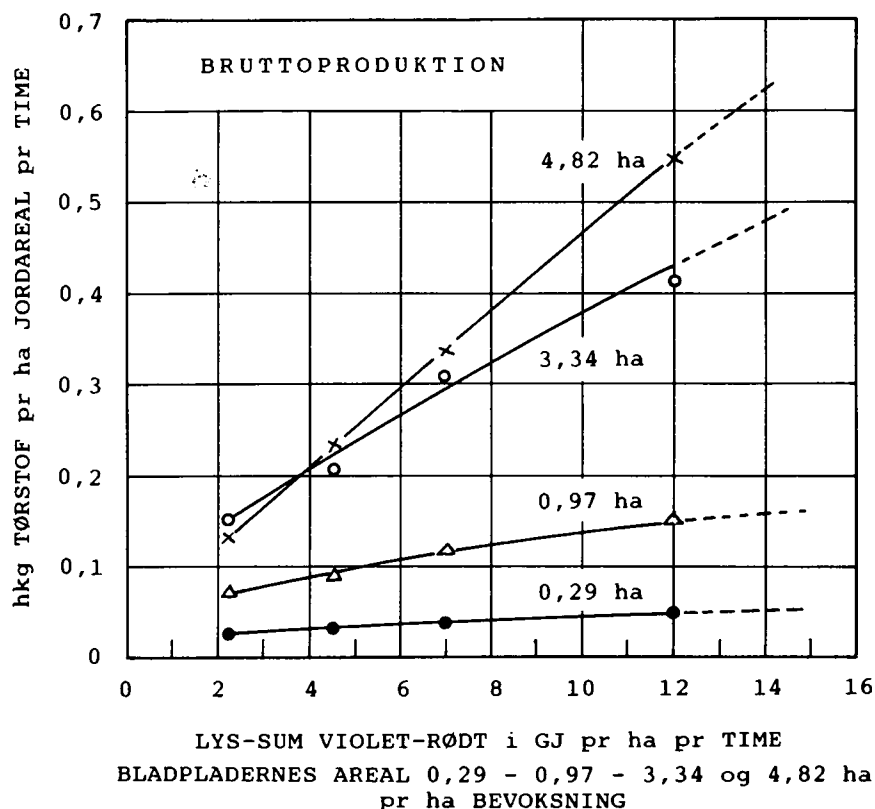


Fig. 9: Bevoksningens bruttoproduktion, over- + underjordisk, i hkg tørstof pr ha pr time i afhængighed af bladareal og belysning. Bevoksning af Vårbyg, Toradët Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha, i karkultur. Vand- og jordbundsfaktorer optimale. Analyser ved kultveilte-tryk 0.344 mb, åbne spalteaåbninger, 20°C. Kurverne viser, at der ikke kan opnås lysmætning, når bladarealet er over 2-3 ha pr ha jordareal. (Löhr 1975, tabel 11,1, 12,1-12,4 og fig 12,2).

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), sowing 10 Apr., heading 20 June. Gross production per hour: Photosynthesis with area, one side only, of leaf-blades 0.29, 0.97, 3.34, and 4.82 per ha field-growth. Measurements by CO₂-pressure 0.344 (total air-pressure about 1010 mb), 20°C, fully open stomata.

Ordin.: hkg dry matter per ha field-growth per hour.

Absc.: Illumination, 400-700 nm, in GJ per ha per hour.

4.5 GJ pr ha pr time. Bladenes lysform (fotomorfologi), fra de mest ekstreme skyggeblade gennem alle mellemformer til de mest ekstreme solblade, er afgørende for mindste belysning til lysmætning. Ekstreme skyggeblade af Skovsyre (*Oxalis acetosella*), der vokser i skovbunden ved 5% af det fulde dagslys, og de ekstreme skyggeblade af knæhøj bøg og ask, der vokser op under stærkt skyggende overstandere (Löhr 1967), opnår lysmætning allerede ved en belysning på ca 0.3 GJ pr ha pr time. Til gengæld er netto-fotosyntesen ved lysmætning heller ikke større end 0.01 hkg tørstof pr ha blade pr time, 6% af hvad bygbladene præsterer ved lysmætning.

Vore fire kornarter arbejder under normale vækstforhold udelukkende med udprægede solblade og formår næppe at danne skyggeblade. Hvor stor skulle belysningen være for at lysmætte en bevoksning af Vårbyg med hhv 3.34 og 4.82 ha blade pr ha bevoksning? Den maksimale bruttoproduktion af tørstof skulle i h t fig 8 være $3.34 \times 0.173 = 0.6$ hkg og $4.82 \times 0.173 = 0.8$ hkg tørstof pr ha bevoksning pr time, eksklusive fotosyntesen i bladskederne. Hvis man forlænger de stiplede linier på fig 9, kommer man til det resultat, at når bladarealet i bygbevoksningen er 3.34 og 4.82 ha pr ha, ville lysmætning først opnås ved en belysning på 19-20 GJ pr ha pr time, en belysning som ligger langt over, hvad der nogen sinde forekommer i Danmark.

f. Brutto- og nettoproduktion pr ha bevoksning i afhængighed af bladareal og belysning, fig 9 og 10, tal i tabel 2a og b og 10, lyssummer i tabel 8.

Fig 9 viser bruttoproduktionen pr ha bevoksning af Vårbyg (sort og dyrkning se ovenfor). Når bladpladernes areal er under 1 ha pr ha bevoksning, opnås der tydeligvis lysmætning ved ca 8 GJ pr ha pr time. Men når bladpladernes areal er 3.34 og 4.82 ha pr ha bevoksning, er der ikke tale om at lysmætte bevoksningen, selv ikke ved den i Danmark maksimale belysning, som ligger omkring 15 GJ pr ha pr time. 3.34 ha bladplader skulle kunne give en brutto- hhv nettoproduktion på 0.58 og 0.55 hkg tørstof pr ha pr time - men ved at forlænge kurven (extrapolere) på fig 9, bladareal 3.34 ha, vil man finde, at først ved en belysning på ca 19 GJ pr ha pr time bli-

Tabel 10. Netto- og bruttoproduktion, hkg tørstof pr ha pr time, i Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha, i kar-kultur. Vand- og jordbundsfaktorer optimale, kultveilte-tryk 0.344 mb, åbne spalteaåbninger, 20⁰. Sml tabel 2 og 3 samt fig 9. (E. Löhh 1975: tabel 12,1-12,4 omsat til tørstof dannet ved fotosyntese, og belysning omsat til GJ pr ha pr time).

Bladpladernes areal, ensidig, i ha pr ha jord- areal	Belysning 400- 700 nm i GJ pr ha pr time	Bruttoproduk- tion i hkg tørstof pr time pr ha bevoksning ved 20 ⁰	Nettopro- duktion i hkg tørstof pr time pr ha bevoks- ning ved 20 ⁰
0.29	2.2	0.023	0.013
"	4.5	0.033	0.023
"	7.4	0.041	0.031
"	12.0	0.048	0.038
0.97	2.2	0.062	0.027
"	4.5	0.089	0.054
"	7.4	0.127	0.092
"	12.0	0.152	0.117
3.34	2.2	0.127	0.030
"	4.5	0.197	0.100
"	7.4	0.298	0.201
"	12.0	0.412	0.305
4.82	2.2	0.142	0.010
"	4.5	0.213	0.081
"	7.4	0.341	0.209
"	12.0	0.550	0.418

ver bevoksningen lysmættet, en belysning langt over hvad der nogen sinde forekommer i Danmark. De tilsvarende tal for 4.82 ha bladplader pr ha bevoksning er brutto- hhv nettoproduktion på 0.83 og 0.80 hkg tørstof pr ha pr time - men først ved en belysning på ca 20 GJ

pr ha pr time - at finde ved forlængelse af kurven 4.82 ha bladplader på fig 9.

Fig 10 viser nettoproduktionen af tørstof pr 24 timer i afhængighed af døgnets lyssum og bladpladernes areal. Tallene gælder Vårbyg, sort og dyrkning omtalt ovenfor under 19a. Nettoproduktion = bruttoproduktion minus stoftab. Stoftabet består ganske overvejende af åndingstabet, og temperaturen er afgørende for åndingstabets størrelse. Derfor er åndingstabet reduceret til den aktuelle temperatur i jord og luft ved beregning af de tal, som er grundlag for de fire kurver på fig 10. Kurverne viser, at så længe bladarealet er lille, er nettoproduktionen af tørstof kun i beskeden grad afhængig af døgnets lyssum. Med bladareal omtrent på størrelse med jordarealet er nettoproduktionen ved en lyssum 42 GJ pr ha pr 24 timer 0.57 hkg pr ha pr 24 timer og ved 135 GJ 2.6 gange så stor, dvs 1.48 hkg tørstof pr ha bevoksning pr 24 timer. Men når bladarealet er 4.82 ha pr ha bevoksning, er nettoproduktionen ved lyssum 42 GJ pr ha pr 24 timer 0.78 hkg og ved 135 GJ pr ha 6.1 gange så stor, dvs 4.72 hkg tørstof pr ha pr 24 timer. En enkelt dag i slutningen af maj havde en lyssum på kun 15 GJ pr ha. På en sådan udag er stofproduktionen negativ, åndingstabet er større end fotosyntesen. Modsat havde en enkelt dag i juni en lyssum på 175 GJ pr ha. Med et bladareal på 4.82 ha pr ha bevoksning skulle en sådan guld-dag give en nettoproduktion på 6 hkg tørstof pr ha. Forudsat vand- og jordbundsfaktorer er optimale.

Vi håber, de fire kurver på fig 10 kan indprente den vel nok uventede, næsten overvældende betydning den daglige lyssum har for nettoproduktionen, når vandbalancen er i orden og jordbundsfakto-

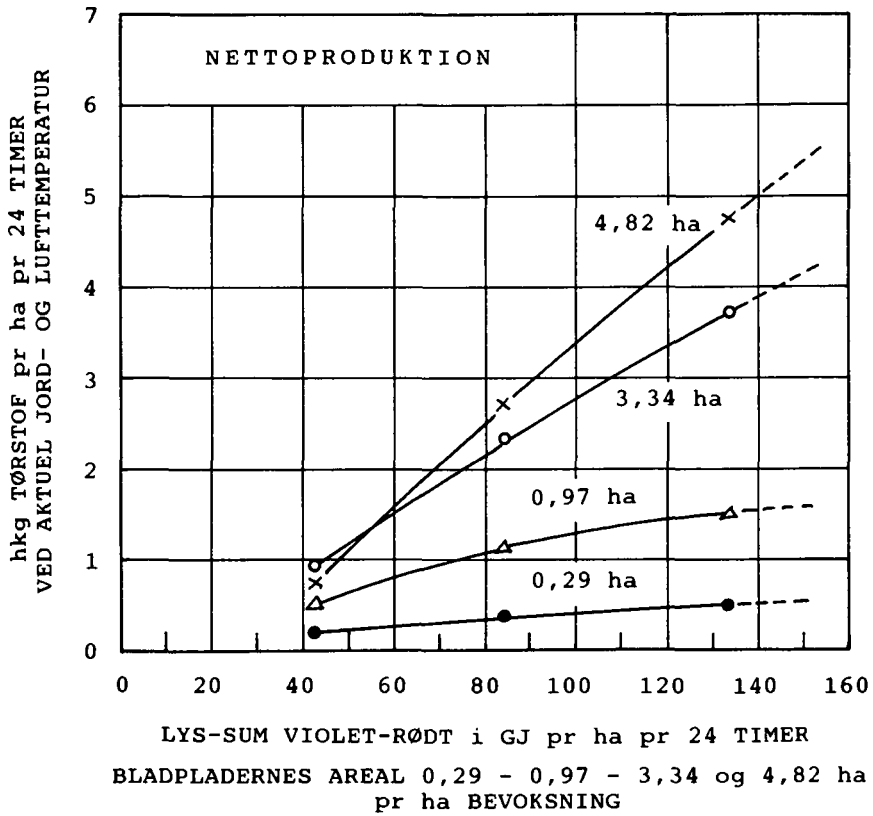


Fig. 10: Bevoksningens nettoproduktion, over- + underjordisk, i hkg tørstof pr ha pr 24 timer i afhængighed af bladareal og belysning. Bevoksning af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha i karkultur, vand- og jordbunds faktorer optimale. Analyser ved kultveilte-tryk 0.344 mb, åbne spalteåbninger, målinger reduceret til aktuel luft- og jordtemperatur. Fig 10 viser, hvor stor indflydelse den daglige lyssum har på bevoksningens nettoproduktion pr 24 timer. Med bladareal 4.82 gange jordarealet er nettoproduktionen på den lyseste dag med en lyssum på 135 GJ pr ha pr 24 timer 6 gange så stor som på den mørkeste dag med 42 GJ pr ha pr 24 timer (tabel 2a & 2b, belysning i tabel 7 og 8. Löhr 1975, tabel 13,3-13,16. Reduktion til aktuel jord- og lufttemperatur tabel 11,9 og 13,2).

terne optimale. Det er først målingen af brutto- og nettoproduktionen pr time og pr 24 timer, der sætter lysmålingerne i relief, hautrelief.

Noter til lysfaktorens betydning g - l: g) Eftersommerafgrøder h) Flagbladet i) Bladvinklen j) Fotosyntese og temperatur k) Stoftab ved beskygning l) Energibinding bygmark - bøgeskov.

g) Eftersommerafgrøder. Forstander for forsøgsstationen Studsgård, sydvest for Herning, Frode Hansen (1888-1959), altid inspirerende, sagde, at når eftersommerafgrøder sjældent er sagen, skyldes det manglende vandreserver i jorden. Mon det ikke også, ja måske navnlig, skyldes den lavere belysning i august-september, i august 82% og i september kun 50% af den daglige middelbelysning i maj-juli, se tabel 7.

h) Flagbladet er det øverste blad på græssernes stængler, det blad som i maj-juli daglig er lysmættet i ca 10 timer, se lyssummerne i tabel 8. *Hjortsholm 1977* har hos byg gennemgået en række egenskaber, der er korrelerede med høstudbyttet, og kommer også ind på flagbladets betydning for kerneudbyttet. Han angiver flagbladets areal til $1-4.5 \text{ cm}^2$ og antal fertile strå til 4.5-7.0 mio pr ha. Dvs flagbladenes areal er 0.05-0.3 ha pr ha bevoksning. Af fig 8 her fremgår, at lysmætning opnås ved 4.5 GJ vinkelret på bladpladerne pr ha pr time. 1 ha bladplader har ved lysmætning en netto-fotosyntese på 0.17 hkg tørstof pr time. Heraf følger, at netto-fotosyntesen for 0.05 ha flagblade bliver 0.0085 hkg og for 0.3 ha flagblade 0.051 hkg tørstof pr time. Tabel 8 viser, at der på middellyse dage i juni og de første dage af juli er 10 timer med belysning over

Spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), sowing 10 Apr., heading 20 June. Net production per day, 24 hours: hkg dry matter produced minus hkg dry matter lost by respiration above ground and subterranean, reduced to the actual temperature. Area, one side only, of leaf-blades 0.29, 0.97, 3.34, and 4.82 ha per ha field-growth. Measurements by CO_2 -pressure 0.344 mb (toal air-pressure about 1010 mb), 20°C , fully open stomata.

Ordin.: hkg dry matter per ha per 24 hours at actual temperature above ground and subterranean.

Absc.: Illumination, 400-700 nm., in GJ per ha per 24 hours.

4.5 GJ pr ha pr time. Det maksimale antal dage til kernefyldning er efter Hjortsholm 44 dage. Dvs den maksimale mængde tørstof til kernefyldning, som 0.05 ha flagblade kan afgive, er $0.0085 \text{ hkg} \times 10 \text{ (timer)} \times 44 \text{ (dage)} = 3 \text{ hkg tørstof}$, og tilsvarende 0.3 ha flagblade kan afgive 22 hkg tørstof. Men da kerneudbyttet i Hjortsholms undersøgelser angives til 46-57 hkg kerne pr ha, kan flagbladene allerhøjst bidrage med knap 50% af kernerens tørstof. Her er set bort fra fotosyntesen i de 7 timer med belysning under lysmætning og fra åndingstabet i de 7 nattetimer.

i) Bladvinklen. Man har prøvet at beregne den vinkel, bladvinklen, mellem den lodrette stængel og bladpladerne i forskellig højde, der kan give størst fotosyntese i en bevoksning. *Monteith 1969* skriver, at fotosyntese-modeller gør det klart, at med bladarealer som dem, der er almindeligst på marker, dvs mellem 4 og 8 ha pr ha bevoksning, er fotosyntesen ikke særlig afhængig af bladvinklen. Hvad store bladarealer - 8 til 12 gange jordarealet - angår, forudsiger teorien, at mere lodrette bladplader skulle udnytte lyset bedre end mere vandrette. *Duncan 1971* beregner, at majsplantens fotosyntese i bevoksninger er omtrent uafhængig af bladvinklerne, når bladpladernes areal er under 3 ha pr ha jordareal. Er det derimod kendelig over 3, f eks 5-7 gange jordarealet, kan fotosyntesen blive større, når forholdet lodrette blade til vandrette er som 8 til 2. Både *Monteith's* og *Duncan's* beregninger gælder, så vidt vi kan skønne, kun ved store belysninger over 10 GJ pr ha pr time. Beregningerne er ikke støttet af forsøg.

j) Fotosyntese og temperatur, kontroversielt og vanskeligt. Ved belysning under lysmætning er nettofotosyntesen ved lav temperatur noget større end ved høj temperatur. Det skyldes, at åndingstabet er mindre ved lavere temperatur end ved højere. Omvendt ved lysmætning, hvor netto-fotosyntesen er størst ved høj temperatur. Modsætningen mellem temperaturens virkning under og ved lysmætning, og de få timer en større del af bladarealet i en bevoksning med over 3 ha blade pr ha jordareal er lysmættet, gør, at den daglige netto-fotosyntese er ret uafhængig af temperaturen i området 10°C til 25°C ved kultveilte-tryk ca 0.344 mb som i lavlandet. - *Berry & Björkman 1980* angiver fotosyntesen ved temperaturen inde i bladene. Det må imidlertid på det udtrykkeligste fremhæves, at ved analyse af de grønne landplanter stoffproduktion er målet at bestemme netto-fotosyntesens størrelse netop ved den temperatur, der hersker i den luft, som omstrømmer bladene, og ikke ved den temperatur som måtte forekomme inde i bladene. Temperaturen inde i bladene kan ved stor belysning være op til 15°C over og ned til 10°C under den omstrømmende lufts temperatur (se foran: Bladtempera-

tur og luftstrømninger s 23). Netto-fotosyntesen i undersøgelser over stofproduktionen måles, registreres og indsættes i stofregnskabet som den, der foregår ved temperaturen i den luft, der strømmer gennem bladernes ydre arbejdsrum. I litteraturen f eks *French 1962, Ludlow & Wilson 1971, Berry & Björkman 1980*, angives det, at fotosyntesen stiger omkring 2 til 3 gange pr 10°C i området 5°C til 30°C , dvs $Q_{10} = 2$ til 3. Men det gælder kun ved lysmætning og kun ved optimalt kultveilte-tryk, der er over dobbelt så stort som 0.344 mb, der er det gennemsnitlige i lavlandet.

Temperaturen i bladpladerne afviger så at sige altid fra den i den nærmest omgivende luft, se s 23 f). Forskellen i temperatur er såre vigtig for fotosyntesen ved atmosfærens lave kultveilte-tryk, idet forskellen forhindrer, at der dannes et 0.1-1 mm tykt lag af stillestående luft, "the boundary layer", omkring bladpladerne. Så vidt vides aldrig nævnt i litteraturen om fotosyntese.

k) Stoftab ved beskygning. Det er fremhævet, at stoftabene hos enårige urteagtige planter, blandt andet alle verdens kornarter, ganske overvejende udgøres af åndingstabet. Et ejendommeligt stoftab hos kornarterne, i hvert fald hos byg, er tabet af de nederste grønne blade, der visner, til dels allerede i 1. halvdel af juni. I karkulturerne beløb det sig 12 juni til 2.2 hkg tørstof pr ha, og i den omgivende mark 25 juni til 1.4 hkg tørstof pr ha. De nederste blade er udprægede solblade og skygges ihjel af de øvre blade (*Löhr 1975* tabel 7,2 og 7,3).

1) Energibinding bygmark - bøgeskov. Netto-energibindingen er for Vårbyg i Danmark 1 maj-31 juli ca 1.8% af stråling 400-700 nm og for dansk bøgeskov 1 maj-30 september ca 1.6% af stråling 400-700 nm. Af middeltallene i tabel 7 kan man beregne: 1 maj-31 juli middel 9072 GJ pr ha og 1 maj-30 september middel 13083 GJ pr ha stråling 400-700 nm.

Vårbyg: Ved produktion af netto 100 hkg tørstof, over- plus underjordisk, pr ha fra 1 maj til 31 juli sker der netto-energibinding på 160 GJ pr ha, dvs 1.8% af stråling 400-700 nm. Netto-energibinding pr 24 timer i afhængighed af belysning og bladareal - vand- og jordbunds faktorer optimale, aktuel temperatur - se tabel 3.

Dansk Bøgeskov: 2. Bonitet, 242 stammer 85 år gamle, 75 mindre stammer pr ha. Stående masse 2430 hkg tørstof pr ha (rod 460, stamme + grene 1940 og blade 30 hkg tørstof pr ha) efter *Møller & al 1954*. Med en nettoproduktion på 130 hkg tørstof, over- plus underjordisk, inklusive blade og afkastede grene, pr ha fra 1 maj til 30 september, sker der en netto-energibinding på 208 GJ pr ha, dvs 1.6% af stråling 400-700 nm.

Lys, høstudbytte og statistik. Lys og vand - det er de to produktionsfaktorer, der alene, helt alene, opbygger bruttoproduktionen og bestemmer dens størrelse, når alle andre ydre faktorer af jordisk og himmelsk art er i orden på det bedste. Helt alene, nå ja, naturligvis sidder arvefaktorerne i baghånden med trumfer og styrvolter. Men nu kommer det mærkværdigste: De to produktionsfaktorer lys og vand, der samarbejder om at forgylde vore afgrøder, de både samarbejder og modarbejder hinanden. I tabel 11, som er en ekstrakt af tabel 6, er belysning, nedbør og kerneudbytte i byg i tiåret 1970-79 delt op i to grupper. I den ene gruppe står kerneudbyttet i de 5 år med størst belysning i maj, juni og juli, i gennemsnit 106 GJ pr ha pr 24 timer. I den anden gruppe står kerneudbyttet i de 5 år med mindst belysning i maj, juni og juli, i gennemsnit 94 GJ pr ha pr 24 timer. Ganske vist er nedbør og kerneudbytte af byg gennemsnit for hele Danmark syd for Skagerak, medens lysmålingerne gælder

Tabel 11. Byg i Danmark i tiåret 1970-79. Gennemsnitlig belysning, nedbør og kerneudbytte i de 5 år (1973,-75,-76,-77 og 1978), hvori belysningen i de tre måneder maj, juni og juli var størst, og i de 5 år (1970,-71,-72,-74 og 1979), hvori belysningen i de tre måneder var mindst. Uddrag af tabel 6. Bølgeområdet 400-700 nm, violet-rødt, omfatter hovedparten af fotosynteselyset.

	Gennemsnitlig belysning 400- 700 nm maj,ju- ni,juli i GJ pr ha pr 24 timer	Gennemsnitlig nedbør maj,juni, juli i cm = 1000 hkg pr ha	Gennemsnitlig kerneudbytte i hkg pr ha
5 lyse- ste år	106	12.4	37.3
5 mørke- ste år	94	17.2	39.5

Tåstrup 17 km vest for Københavns centrum. Alligevel tør man af tallene i tabel 11 nok slutte, at årsagen til, at de lyseste år i tiåret 1970-79 giver mindst kerneudbytte, er den mindre nedbør i de lyseste år. De to produktionsfaktorer vand og lys, som samarbejder om at forgylde vore afgrøder, modarbejder på en måde også hinanden.

Når engang jordbrugerne behersker vandfaktoren, vil de største udbytter høstes i de lyseste somre med over 110 gigajoule pr ha pr dag i maj, juni og juli. Gylden sol over mark og skov.

20. Klimaloven.

Udbyttelove, udbytteligninger og udbyttekurver, der gælder høstudbyttet i planteavlen, har hidtil navnlig eller udelukkende taget sigte på jordbundsfaktorernes indflydelse på høstudbyttet. Det er tilfældet med den mest berømte, mest inspirerende og mest forkerte af dem, Liebigs minimumslov 1855, som alligevel og endnu af og til spøger ved højlys dag. Det er ligeledes tilfældet med Mitscherlich's produktlov, også kaldet loven om de fysiologiske relationer (*Mitscherlich 1921*), som forøvrigt aldrig har været en lov, men kun en regel, bekræftet af en uoverskuelig række af undtagelser, en indvending som også rammer maksimumsloven (*Baule 1953*), et matematisk spilfægteri uden dyrkningsforsøg, se den sønderlemmende kritik hos *Rippel 1925* og *Romell 1926*.

Den eneste udbyttelov, der har gyldighed for alle ydre produktionsfaktorer såvel dem af jordisk som dem af himmelsk oprindelse, er *Liebscher's* og *Wollny's* optimumslov, henholdsvis 1895 og 1897.

Optimumsloven kan kort formuleres: Alle produktionsfaktorer, der ikke er optimale, begrænser høstudbyttet. Eller med Liebscher's ord: "Den i minimum værende produktionsfaktor kan planterne udnytte til jo større produktion, jo mere de andre produktionsfaktorer nærmer sig optimum". Romell 1926 definerer denne den eneste gyldige lov for al planteproduktion således: "Høstudbyttet kan, for så vidt ingen faktor aldeles mangler, forøges ved ændring af alle de økologiske faktorer (dvs jordbundsfaktorer + klimafaktorer + sygdomsfaktorer), der ikke allerede er optimale og som sådan udøver deres maksimale virkning". Optimumsloven har ikke nydt synderlig omtale. Hverken Boresch 1928 eller Steenbjerg 1965 ofrer den så meget som en definition. Optimumsloven bør fremhæves i enhver lærebog i plantedyrkning og i enhver lærebog i plantefysiologi.

Efterhånden som jordbundsfaktorerne optimeres og sygdomsfaktorerne elimineres, bliver høstudbyttet mere og mere afhængig af klimafaktorerne. Derfor vover vi at opstille en ny udbyttelov, klimaloven, som er afledt af optimumsloven, men udelukkende gælder klimafaktorernes indflydelse på høstudbyttet.

Klimaloven formuleres som følger: Jo større den stående afgrøde - dvs vægten af plantemassen - er, jo mere afhænger høstudbyttet af de klimafaktorer, hvis intensitet svinger fra år til år: Vand-, temperatur- og lysfaktoren.

Klimalovens rigtighed fremgår allerede med overbevisende styrke af analyserne af stofproduktionen pr 24 timer, som vist i tabel 2a og 3 samt i fig 9 og 10. Klimaloven gælder for de årlige høstudbytter, som fremhævet foran ved gennemgang af arbejder af Dullum &

Dalbro 1956, R.A. Fisher 1925, R.K. Kristensen 1937, 1941, E. Poulsen 1956 og G. Rasch 1950, suppleret med resultater i tabel 1 fra forsøgene med byg i Store Jyndevad 1965-1976.

Mindeord og tak

Mindeord: P. Boysen Jensen, 1883-1959, assistent og fra 1927-1948 professor i plantefysiologi ved Københavns Universitet, var den første, der - omend med primitive midler - forsøgte at analysere de grønne planters stofproduktion. Chr. H. Olesen, 1885-1960, indledte som direktør for De danske Spritfabrikker samarbejdet med landbruget og inspirerede til analyse af byggens stofproduktion.

Hjertelig tak til de mange, der har hjulpet os med at oversætte plantefysiologi til videnskab i planteavl: Docent, dr.phil. Steen Allerup, professor N. Fabritius Buchwald, bibliotekar Poul Aagaard Christiansen, De danske Spritfabrikker, direktør Povl Heegaard, forstander, lic.agro. Peter Lind, forsøgsleder, lic.agro. Søren Mikkelsen, civilingeniør Mogens Possin Müller, lektor Gerhard Müller, centerleder, lic.agro. Erik Poulsen, afdelingsbestyrer, lic.agro. Kr. Sandvad, statsmeteorolog Ingolf Sestoft, direktør, dr.agro. Cecil Treschow, geografen, lektor Carl Tscherning og forstander, redaktør Ole Wagn.

En særlig tak til fru Inger Mærsk-Møller der med akkurateesse har omskrevet Ms til offsettrykning.

Erika Löhr

D. Müller

Resumé

1. Det foreslås at standardisere tallene for markafgrøder som følger: Areal i ha, høstudbytte, brutto- og nettoproduktion ved fotosyntese, stoftab ved ånding (åndingstabet) og nedbør i hkg pr ha, samt belysning, bølgelængde 400-700 nm, i GJ (1 gigajoule = 10^9 joule) pr ha, dels pr time, dels pr 24 timer.
2. Planternes produktion af organisk stof, tørstoffet, beror alene på tre processer: Fotosyntese, stoffordeling og stoftab. Størrelsen af de tre processer styres udelukkende af fire grupper af faktorer: Arvefaktorer, jordbunds faktorer, klimafaktorer og sygdomsfaktorer.
- 3, 4, 5 og 6. Efterhånden som jordbunds faktorerne optimeres og sygdomsfaktorerne minimeres, bliver høstudbyttet mere og mere afhængig af klimafaktorerne.
7. Tabel 2a, 2b og 3 viser, at nettoproduktionen med optimal vandfaktor afhænger jo mere af temperatur og belysning, jo større den stående masse af byg er. Nettoproduktionens afhængighed af bladareal og daglig belysning er derhos illustreret med kurverne i fig 10.
8. Når og fordi kornafgrøderne i landbruget i stigende grad afhænger af klimafaktorerne, er det på tide at analysere denne afhængighed.
9. Kun den daglige 24 timers analyse kan vise, hvorledes stofproduktionen afhænger af bladareal, temperatur og belysning. Til forsøgene anvendtes karkulturer af Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir (*Hordeum distichum-nutans*), 3 mio planter pr ha. Karkulturerne var nedgravet i en mark tilsået på samme tid med samme bygsort som karrene. Og undersøgtes parallelt med karkulturerne.
10. Analyserne kræver absolut rene stålflasker, en ultrarød-analysator, der løbende noterer luftens kultveiltekoncentration, og en "kunstig sol", en Xenon-Superhøjtryklampe, XBO 2500, max 2900 watt, der med parabolspejl kan belyse et cirkulært jordareal på 500 cm^2 med en lyssum af parallelle stråler, svarende til en belysning på 12 GJ i bølgeområdet 400-700 nm pr ha pr time, betydelig over gennemsnitlig belysning kl 12 i maj-juli, se tabel 7 og 8 samt punkt 19.

11. Kultveilte (CO_2), tørstofindtægt og tørstoftab: 1 hkg kultveilte svarer til 0.614 hkg tørstof, hvori er bundet en energimængde på 1 GJ.

12, 13. Stoffordelingen er afgørende for nettoproduktionen. Arvefaktorerne styrer, hvor stor en del af bladenes nettoproduktion, der bliver til underjordiske plantedele, og hvor stor en del, der bliver til nye blade, blomster og frugter. Men arvefaktorerens styring påvirkes væsentlig af ydre faktorer, såvel jordbunds- som klimafaktorer. Ved mangel på vand eller kvælstof eller fosfor bliver en større del af bladenes nettoproduktion til underjordiske plantedele og en mindre del til nye blade, medvirkende årsag til den nedsatte stofproduktion ved vand- eller kvælstof- eller fosfatstress. Også belysningen, bl.a. daglængden, har afgørende indflydelse på stoffordelingen. Fig 3 viser, hvorledes stoffordelingen forløber hos Vårbyg cv Emir, når vand- og jordbundsfaktorer er optimale, udsæd 10 april. Mærk bladarealets imponerende vækst i forhold til den underjordiske masse i tiden indtil skridning.

14, 15. Klimafaktorerne kan efter deres indflydelse på høstudbyttet deles i to biologiske grupper: Gruppe 1 omfatter de klimafaktorer, der ved samme såtid har omtrent samme intensitet år efter år, og derfor ikke kan være årsag til de store svingninger i høstudbyttet. Det drejer sig blandt andet om de tre vigtige klimafaktorer: Kultveilte-tryk, luftstrømninger og daglængde.

16. Klimafaktorerne i gruppe 2 er først og fremmest vand-, temperatur- og lysfaktoren. De tre svinger i intensitet fra år til år, og svingningerne er årsag til stigende svingninger i høstudbyttet, efterhånden som jordbundsfaktorerne optimeres og sygdomsfaktorerne minimeres. I tiåret 1970-79 skrævede de i de tre måneder maj-juli i middel: Nedbør lavest (1975) 40% af højest (1979), temperatur, beregnet efter åndingstabet, lavest (1979) 80% af højest (1970) og belysning lavest (1972) 79% af højest (1976). Tal i tabel 6.

17. Vandfaktoren. Vandstress hæmmer stofproduktionen på to måder. Dels ved at spalteaåbningerne lukkes just i de lyseste timer, derved nedsættes bladenes nettoproduktion til nul, og pr 24 timer bliver deres nettoproduktion negativ. Dels ved at påvirke stoffordelingen således, at en større procentdel af den mindre nettoproduktion bliver til underjordiske plantedele og en mindre procentdel til nye blade.

18. Temperaturfaktoren virker i de tre måneder maj-juli først og fremmest på tørstoftabet ved ånding, kaldt åndingstabet, som udgør omkring 1/3 af bruttoproduktionen, stærkt afhængig af dagens lyssum og plantemassen, se tabel 2b. I tabel 5 er åndingstabet beregnet for Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, i 90 dage fra 15 maj til 9 juli. Åndingstabet pr døgn, se fig 4,5,6 og 7.

a) Åndingstabet i de underjordiske plantedele fig 4 og 5: Pr 100 hkg underjordisk tørstof pr 24 timer omkring 15 maj er åndingstabet 3.2, 4.8 og 6.7 hkg tørstof og omkring 5 juli 1.6, 2.4 og 3.4 hkg tørstof v hhv 10° , 15° og 20°C . Pr ha bevoksning er åndingstabet i de underjordiske plantedele pr 24 timer omkring 15 maj 0.042, 0.062 og 0.088 hkg tørstof og omkring 5 juli 0.60, 0.90 og 1.27 hkg tørstof v hhv 10° , 15° og 20°C .

b) Åndingstabet i de overjordiske plantedele fig 6 og 7: Pr 100 hkg overjordisk tørstof pr 24 timer omkring 15 maj 8.1, 12.2 og 17.2 hkg tørstof og omkring 5 juli 0.9, 1.4 og 2.0 hkg tørstof v hhv 10° , 15° og 20°C . Pr ha bevoksning er åndingstabet i de overjordiske plantedele pr 24 timer omkring 15 maj 0.08, 0.12 og 0.17 hkg tørstof og omkring 5 juli 1.12, 1.69 og 2.38 hkg tørstof v hhv 10° , 15° og 20°C . Tabel 6 viser det samlede danske høstudbytte i Vårbyg og middeltal for nedbør, temperatur og belysning maj-juli 1970-79.

19. Lysfaktoren leverer energi til fotosyntesen, hvorved kultveilte og vand opbygges til organisk stof, planternes tørstof. 1 hkg kultveilte forarbejdes til 0.6 hkg tørstof. Derved bindes 1 GJ lysenergi.

Samtlige tal for stofindtægt og stoftab gælder Vårbyg, Toradet Nikkende Byg cv Emir, 3 mio planter pr ha, udsæd 10 april, skridning 20 juni, opvokset under optimale fysisk-kemiske jordbundsforhold. Fotosyntesens størrelse i tabel 2a, 2b og 10 samt i fig 8, 9 og 10. Alle målinger ved åbne spalteaåbninger, 20°C i den omstrømmende luft og kultveilte-tryk 0.344 mb. Fig 8 viser fotosyntesen i bladplader belyst vinkelret på oversiden. Kompensationsbelysning 0.13 GJ, lysmætning over 4.5 GJ, begge pr ha pr time. Netto- og bruttofotosyntese ved lysmætning hhv 0.166 hkg og 0.173 (0.166 + 0.0073) hkg tørstof pr ha bladplader pr time. Fig 9 viser fotosyntesen i bladplader + bladskeder pr ha bevoksning pr time ved 20°C , cf tabel 10. Når bladpladernes areal (ensidig målt) er 0.97 ha pr ha bevoksning, opnås lysmætning v belysning på 8 GJ pr ha pr time. Men når det er over ca 3 ha, opnås aldrig lysmætning, end ikke ved maksimal belysning, som i Danmarks lyseste time de allerlyseste dage ikke overstiger 15 GJ pr ha pr time. Bevoksninger med bladareal 3.3 og 4.2 ha pr ha vil først kunne opnå lysmætning ved 19 GJ pr ha pr

time. - Total kompensationsbelysning, den belysning hvorved bevoksningens ånding, over- plus underjordisk, netop opvejes af de overjordiske deles fotosyntese, opnås med bladareal 0.29 og 4.82 ha pr ha bevoksning ved hhv 0.6 og 1.2 GJ pr ha pr time, cf tabel 9. Fig 10 viser den samlede nettoproduktion i bladplader + bladskeder pr 24 timer. Åndingstabet i de mørke timer, reduceret til aktuel luft- og jordtemperatur, er fradraget nettoproduktionen i de lyse timer. Når døgnets lyssum er 42 GJ pr ha, bliver nettoproduktionen pr 24 timer (bladpladernes areal i ha pr ha bevoksning i klammer) 0.5 hkg (0.97 ha blade) og 0.8 hkg (4.82 ha blade) tørstof pr ha. Når døgnets lyssum er 135 GJ pr ha, bliver nettoproduktionen pr 24 timer 1.5 hkg (0.97 ha blade) og 4.7 hkg (4.82 ha blade) tørstof pr ha. Jo større bladareal, jo mere afhænger høstudbyttet af belysningen.

20. Klimaloven: Når jordbundsfaktorerne nærmes det optimale, og sygdomsfaktorerne bekæmpes med held, bliver afgrøderne større og mere afhængige af klimafaktorerne. Det har vi formuleret i en udbyttelov, som vi foreslår kaldes klimaloven.

Klimaloven lyder: Jo større den stående afgrøde er, jo mere afhænger høstudbyttet af de tre klimafaktorer, hvis styrke svinger fra år til år: Vand-, temperatur- og lysfaktoren.

Summary:
Crop and Climate

1. The net production of dry matter in higher green land-plants is the result of three processes: Photosynthesis, partitioning of dry matter and loss of dry matter. The three processes depend on the power and intensity of four parameters: Genetic, edaphic (subterranean), climatic and pathogenic factors including weeds. The partitioning of dry matter is extremely important and little analysed. The loss of dry matter in herbs is mainly the loss by respiration. In agriculture and horticulture the edaphic factors approach optimum, and the pathogenic factors are reduced. That is why the yield depends even more on the intensity of the climatic factors, especially those three, where the intensity varies about 20 p c from year to year: The water-, temperature-, and light-factor. And that is the reason why we have analysed the net production of spring-barley in relation to temperature, illumination and leaf area.

2. Denmark, 55° N, has a humid, temperate climate. Varieties of spring-barley, sown in April and harvested in early August covered in 1979 approx. 1.6 mio ha, which is 85 p c of the total Danish cereal area.

3. For the analysis we used a variety of spring-barley (*Hordeum distichum-nutans* cv Emir), sown on 10 April in cylindrical vessels, diameter 25 cm, 15 plants per vessel, which equals 3 mio plants per ha. Nearly optimal edaphic factors, water-factor being optimal. The figures indicating yield, photosynthesis, gross- and net production and loss of dry matter by respiration are given in hkg partly per hkg dry matter, partly per ha leaf-blades (one side only) and partly per ha barley-field. The illumination, wave length 400 - 700 nm, measured on a horizontal surface, is stated in GJ (1 gigajoule, i.e. 10^9 joule) per ha per h and per 24 h.

4. The estimation of respiration and photosynthesis was made in streaming air (cp fig 2), velocity 25 m per h. On entering the cylinder containing a vessel with 15 barley plants, the air is to have a CO₂-pressure a little higher and by leaving a little lower than 0.344 mb. During day time the temperature of leaf blades always deviate from that of the streaming air. This deviation breaks down the 0.1-1 mm thick "boundary layer".

5. Temperature and loss of dry matter by respiration. 1 hkg dry matter decomposed by respiration equals a loss of 1.6 hkg CO_2 . Dry matter in the barley-field in hkg per ha: Subterranean 10th May 1 and 9th July 35. Above ground 10th May 1 and 9th July 95.

Subterranean barley-parts: Per 100 hkg dry matter the loss of dry matter by respiration was: 15th May 3.2, 4.8 and 6.7 hkg, and 5th July 1.6, 2.4 and 3.4 hkg per 24 h by 10°C , 15°C and 20°C respectively. Per ha barley-field the loss of dry matter by respiration was: 15th May 0.042, 0.062 and 0.088 hkg, and 5th July 0.60, 0.90 and 1.27 hkg per 24 h by 10°C , 15°C and 20°C respectively. - Above ground barley-parts: Per 100 hkg dry matter the loss of dry matter by respiration was: 15th May 8.1, 12.2 and 17.2 hkg, and 5th July 0.9, 1.4 and 2.0 hkg per 24 h by 10°C , 15°C and 20°C respectively. Per ha barley-field the loss of dry matter was: 15th May 0.08, 0.12 and 0.17 hkg and 5th July 1.12, 1.69 and 2.38 hkg per 24 h by 10°C , 15°C and 20°C respectively.

6. Light and production of dry matter by photosynthesis. 1 hkg CO_2 + 1 GJ $\longrightarrow$ 0.6 hkg dry matter. Measurements by open stomata at CO_2 -pressure 0.344 mb and a temperature of 20°C in the surrounding air-stream. Fig 8: Photosynthesis of barley leaf-blades, photon stream at right angle with blades. Light compensation (i.e. CO_2 bound by photosynthesis equals CO_2 formed by respiration) by 0.13 GJ and light saturation by illuminations above 4.5, both per ha per h. Net photosynthesis and gross-production (real photosynthesis) by light saturation respectively 0.166 hkg and 0.173 hkg (sc $0.166 + 0.0073$ i.e. respiratory- CO_2 regenerated) dry matter per ha leaf-blades per h.

Fig 9: Gross-production in hkg dry matter per ha barley-field per h, calculated from vessel cultures. Light saturation is never reached when the total area of leaf-blades is larger than 2-3 ha per ha barley-field. Light compensation, compensating both respiration in subterranean and above ground barley parts, is obtained by 0.6 GJ and 1.2 GJ respectively per ha per h, the area of leaf-blades being respectively 0.29 and 4.82 ha per ha barley-field. Light intensities in table 8, compensation in table 9, gross-production in table 10.

Fig 10: Total net production per 24 h. Loss of dry matter by respiration in the dark hours, reduced to actual temperature under and above surface, is subtracted from the net production in the daylight hours. With a daily illumination of 42 GJ per ha, the net production per 24 h (leaf-blade area in ha per ha barley-field in brackets) is 0.5 hkg (leaf-blade 0.97 ha) and 0.8 hkg (leaf-blade 4.82 ha) dry

matter per ha barley-field. When however the daily illumination is 135 GJ per ha, the net production per 24 h is 1.5 hkg (leaf-blade 0.97 ha) and 4.7 hkg (leaf-blade 4.82 ha) dry matter per ha barley-field. The larger the leaf area, the more the crop depends on illumination.

7. The law of crop and climate: Table 2 a, 2 b with fig 9 and 10 demonstrate, that the bigger the crop is in amount of dry matter and leaf area, the more the yield depends on temperature and light. Formulated as the law of crop and climate: The larger the crop is, the more it depends on the three climatic factors, whose intensity varies from year to year: water-, temperature- and light-factor.

Litteratur

- Allerup, P. & Madsen, H. (1979): Accuracy of point precipitation measurements. - Dansk Meteorologisk Inst. Klimatol. Meddelelser No 5 s 1-84.
- Andersen, Sigurd (1965): Landbrugsplanternes dyrkning. II. København.
- Aslyng, H.C. (1976): Jordklassificering og høstudbytte i Danmark. - Tidsskr. Landøkon. 163, 345-368.
- ibidem (1980): Strålingsmålinger ved Klima- og Vandbalancestationen Højbakkegård ved København. - Hydroteknisk Laboratorium. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Personlig information.
- Balle-Andersen, Sv. & Tscherning, C. (1968): Birkerød mellem Sjælsø og Furesø. 180 s.
- Baule, B. (1953): Über die Weiterentwicklung der Ertragsgesetze von Liebig und Mitscherlich. - Zs. Acker- u. Pflanzenbau 96, 173-180.
- Berry, J.A. & Björkman, O. (1980): Photosynthetic response and adaption to temperature in higher plants. - Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 481-543.
- Bonde, Erik (1952): The influence of carbon dioxide concentration upon the rate of photosynthesis in *Sinapis alba*. - Physiol. Plant. 5, 298-304.
- Boresch, K. (1928): Über Ertragsgesetze bei Pflanzen. - Ergebn. Biol. 4, 130-204.
- Boysen Jensen, P. (1933): Über die Bestimmung der Assimilationsintensität. - Planta 21, 368-380.
- ibidem (1939): Die Elemente der Pflanzenphysiologie. - 448 s. Fischer, Jena.
- Dullum, N. & Dalbro, S. (1956): Gødningsforsøg med æbletræer. - Tidsskr. Planteavl 60, 369-485.
- Duncan, W.G. (1971): Leaf angles, leaf area, and canopy photosynthesis. - Crop Sci. 11, 482-485.
- Esbjerg, Niels (1917): Beretning om Lævirkningsundersøgelser 1913-1915. - Tidsskr. Planteavl 24, 531-574.
- ibidem (1922 & 1930): Korte Meddelelser om Lævirkning. - Tidsskr. Planteavl 28, 502-503 & 36, 144.

- Fisher, R.A. (1925): The influence of rainfall on the yield of wheat at Rothamsted. - Philos.Transact.Roy.Soc.London B, 213, 89-142.
- French, C. Stacy (1962): Photosynthesis, s 3-38 i: Willis, Hugh Johnson & William Steere (ed): This is life. - New York.
- Gates, D.M. (1962): Energy exchange in the biosphere. 151 s. - Harper & Row, New York.
- Gifford, R.M., Thorne, J.H., Hitz, W.D. & Giaquinta, R.T. (1984): Crop productivity and photoassimilate partitioning. - Science 225, 801-808.
- Hansen, Lorens (1976): Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. - Tidsskr. Planteavl 80, 742-758.
- Hjortsholm, K. (1977): Nogle udbyttebestemmende egenskaber i Byg, deres variation, sammenhæng og betydning. - Lic.afhandl. 69 s. - Veterinær-Landbohøjsk., København.
- Hsiao, T.C., Fereres, E., Acevedo, E. & Henderson, D.W. (1976): Water stress and dynamics of growth and yield of crop plants. s 281-305 i: Lange, O.L., Kappen, L. & Schulze, E.-D. (1976): Water and Plant Life.
- Huber, B. (1956): Die Temperatur pflanzlicher Oberflächen.- Handb. d. Pflanzenphysiol. 3, 285-292.
- Høgh-Schmidt, K. & Søgaaard, H. (1980): Kompendium i Klimatologi. - 142 s, 3. udg. København.
- Ishizuka, Y. (1969): Engineering for higher yields, s 15-25 i: Dinauer, R. (ed): Physiological aspects of crop yields. - Am.Soc.Agron. & Crop Sci.Soc., Madison, Wisc., USA.
- Kreusler, U. (1878 & 1879): Beobachtungen über das Wachstum der Maispflanzen. - Landwirtsch.Jb. 6, 759-812 & 8, 617-622.
- Kristensen, R.K. (1937 & 1941): Vore Afgrøders Forhold til Klimaet. - Tidsskr. Planteavl 42, 145-181 & 45, 693-707.
- Kuijper, J. (1910): Über Einfluss der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen. - Rec.trav.bot.néerl. 7, 131-240.
- Lange, O. (1957): Hitzeresistenz und Blatttemperatur mauretanischer Wüstenpflanzen. Ber.Bot.Ges. 70, (31)-(32).

- Liebscher, G. (1895): Untersuchungen über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen. - Journ. Landwirtsch. 43, 49-216.
- Ludlow, M.M. & Wilson, G.L. (1971): Photosynthesis of tropical pasture plants. - Austr.J.Biol.Sci. 24, 449-470.
- Lysgaard, Leo (1943): Lufthav, Vejr og Klima. - 232 s. København.
- Löhr, Erika (1967): Lystræer og skygetræer kan danne lige ekstreme skyggeblade. - Dansk Skovforen. Tidsskr. 52, 321-327.
- ibidem (1975): Analyse der Stoffproduktion in Bewachsungen von Gerste. - Disp. 270 s. - København.
- Meteorologisk Institut, København (1980): Lands gennemsnit af temperatur, $^{\circ}\text{C}$, 1950-1979.
- Meteorologisk Årbog med data for årene 1955-1970 (1961-1978): København.
- Mikkelsen, Søren A. (1981): Jordbrugsmeteorologi. 94 s. - København.
- Mitscherlich, E. (1924): Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. - Landwirt. Jahrb. 56, 71-92.
- Mohr, H. (1972): Photomorphogenesis. 237 s. - Berlin.
- Monteith, J.L. (1969): Light interception and radiative exchange in crop stands, s 89-115 i: R. Dinauer (ed): Physiological aspects of crop yields. - Am.Soc. Agron. & Crop Sci.Soc., Madison, Wisc., USA.
- Müller, D. (1945): Fosfatets morfologiske Virkning paa Planterne. - Tidsskr. Planteavl 50, 150-156.
- ibidem (1948): Plantefysiologi. - 304 s. - København.
- ibidem (1949): Die physiologische Grundlage für die Mangelsymptome der Pflanzen. - Physiol.Plant 2, 11-23.
- ibidem (1960): Ökologische Energetik der Photosynthese. - Handb.d.Pflanzenphysiol. 5/2, 255-268.
- ibidem & Larsen, P. (1935): Analyse der Stoffproduktion bei Stickstoff- und Kalimangel. - Planta 23, 502-517.
- ibidem & Meldgaard, A. (1944): Schallwellen reizen Kartoffeln. - Naturwissenschaften s 292-293.

- Møller, C.M., Müller, D. & Nielsen, Jørgen (1945): Graphic presentation of dry matter production of European Beech. - Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark 21, 320-335.
- Pearson, C.J. (1984): Control of crop productivity. - 336 s. - Univ. West Austr., Acad. Press.
- Pearson, R.W. (1966): Soil environment and root development, s 95-126 i: W. Pierre, D. Kirkham, J. Pesek & R. Shaw (ed): Plant environment and efficient water use. - Am.Soc.Agron. & Soil Sci.Soc., Madison, Wisc., USA.
- Pisek, A. (1960): Pflanzen der Arktis und des Hochgebirges. - Handb.d.Pflanzenphysiol. 5/2, 375-414.
- Ibidem, Knapp, H. & Dittersstorfer, J. (1970): Maximale Offnungsweite und Bau der Stomata mit Angaben über ihre Grösse und Zahl. - Flora 159, 459-479.
- Poulsen, Erik (1956): Stofproduktion og næringsoptagelse hos sukkerroer med særlig henblik på udbyttekurvens funktion ved store gødningstilførsler. Lic. afhandl. - 47 s. - Veterinær-Landbohøjsk., København.
- Radiation Observations in Bergen, Norway (1970-79): 60°24'N/5°19'E. H= 45 m. University of Bergen 1969-78. Bergen.
- Rasch, G. (1950): Statistik og forsøg. Orientering i et materiale af markforsøg over kvælstofgødning. - Tidsskr.Planteavl 53, 361-403.
- Raschke, K. (1960): Heat transfer between the plant and the environment. - Ann. Rev.Plant Physiol. 11, 111-126.
- Rhoades, R.E. (1982): The incredible Potato. - National Geograph. 161, 668-694.
- Rippel, A. (1925): Wachstumsgesetze bei höheren und niederen Pflanzen. - Naturwissenschaft u.Landwirtschaft, Heft 3, s 1-90. - Datterer & Cie, Freising-München.
- Romell, L.-G. (1926): Über das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren. - Jahrb. wiss.Botan. 65, 739-777.
- Salisbury, F. & Ross, C.W. (1978): Plant Physiology. - 436 s. - 2.ed. - Wadsworth, Belmont, California.
- Statistiske undersøgelser nr 10 (1964): Folketal, Areal og Klima 1901-1960. - Statistisk Departement. København.
- Statistisk Årbog (1960-1980): København.

Steenbjerg, F. (1965): Planternes Ernæring. I-III. København.

Tingle, J.M., Paris, D.G. & Ormrod, D.P. (1970): Effects of temperature, light, and variety in controlled environments on floret number and fertility in Barley. - Crop Sci. 10, 26-28.

Waggoner, Paul E. (1969): Environmental manipulation for higher yields. S. 343-373 i: R. Dinauer (ed): Physiological aspects of crop yields. - Am.Soc.Agron. & Crop Sci.Soc., Madison, Wisc., USA.

Wangermann, E. (1961): The effect of water supply and humidity on growth and development. - Handb.d.Pflanzenphysiol. 16, 618-633.

Wilmer, C. (1983): Stomata. - 163 s. Longman, London.

Wollny, E. (1897): Untersuchungen über den Einfluss der Wachstumsfaktoren auf das Produktionsvermögen der Kulturpflanzen. - Forschung auf dem Gebiet der Agricultur-Physik 20, 53-109.

Institutter m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlsskontor, 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
Afdeling 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
Afdeling for Kulturteknik, 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 i Skejby, Udkærvej 15, Skejby, 8200 Århus N	06 10 30 88
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	03 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	03 58 63 00