

30. APRIL

NR. 538

Næringsværdien af botanisk definerede møllerifraktioner af byg

1. Protein- og energiværdien af inderavner og endosperm fra Bomi og højlysinsorten M-1508

K. E. Bach Knudsen

Afdelingen for dyrefysiologi og biokemi, Statens Husdyrbrugsforsøg

Næringsværdien af hel byg og af mekanisk separerede inderavner og endosperm af normal Bomi byg samt af en bygsort med en forbedret aminosyresammensætning, M-1508, blev vurderet ud fra kemiske analyser og i kvælstofbalance- og energifordøjelsesforsøg med rotter.

Balance- og fordøjelighedsforsøgene viste, at M-1508 havde en bedre proteinkvalitet end Bomi, hvorimod såvel proteinets som energiens fordøjelighed var signifikant lavere hos M-1508. Sand fordøjelig protein, biologisk værdi og fordøjelig energi var henholdsvis 86.2, 87.2 og 78.3% i M-1508, medens modsvarende værdier for Bomi var 89.2, 75.2 og 79.9%. Det samme mønster kunne også ses hos de botaniske komponenter, endosperm og inderavner. Den lavere fordøjelighed af M-1508 kan forklares ved et ændret indlejringsmønster af proteinet i M-1508 endosperm og ved et generelt højere indhold af cellevægsbestanddele (β -glukan, hemicellulose, cellulose + lignin).

Indledning

Bygkernen kan botanisk opdeles i følgende hovedkomponenter: inderavner, pericarp og testa, kim, aleuron og endosperm jfr. figur 1. Den kemiske sammensætning af de enkelte komponenter varierer kraftigt og som følge deraf næringsværdien. Den kemiske sammensætning af inderavnen har meget til fælles med sammensætningen af tørre blade; den indeholder næsten al bygkernens lignin, ligesom indholdet af strukturelle kulhydrater som hemicellulose og cellulose er meget højt. Dette gør proteinet såvel som energien vanskelig nedbrydelig. Indholdet af hemicellulose og cellulose er også højt i pericarp og testa,

men i disse lag findes ingen lignin. Derimod er fenolsyrer, der kan danne komplekse forbindelser med proteiner, primært lokaliseret til pericarp og testalaget, tillige med aleuroncellevæggene. Aleuroncellerne er opbygget af tykke cellevægge, der hovedsagelig består af arabinoxylaner og cellulose i nævnte rækkefølge. Aleuroncellerne er rige på protein (ca. 20%), ligesom størstedelen af kernens fosfor er lokaliseret til aleuroncellerne som fytinsyre. Stivelse er langt den største enkeltkomponent i endosperm (75–85%), medens protein og cellevægge udgør henholdsvis 8–12% og 3–8%. Cellevæggene består for 75%’s vedkommende af 1,3:1,4 β -glukaner.

Endospermproteinet har et højt indhold af prolin og glutaminsyre, men et meget lavt indhold af de essentielle aminosyrer lysin, methionin og treonin. Planteforædlerne har imidlertid lykkes med at identificere nye bygsorter og mutanter med en bedre aminosyrebalance, set ud fra et ernæringsmæssigt synspunkt. En sideeffekt af den ændrede proteinsammensætning er et ændret indlejningsmønster af proteinet i endospermen, samt i visse mutanter en ændret struktur af cellevæggene. I de senere år har der endvidere været en stigende interesse for at undersøge mulighederne for separation af kornkernen i flere fraktioner for derved at udvide anvendelsesområdet for byg og andre cerealier.

Formålet med det foreliggende arbejde var at undersøge næringsværdien af hel byg, inderavner og endosperm af normal Bomi byg samt af en bygsort med en forbedret aminosyresammensætning, M-1508. Senere undersøgelser vil omhandle næringsværdien af afskalningsfraktioner med et højt indhold af pericarp, teste, kim, aleuron og endosperm.

Materiale og metoder

Inderavner og endosperm blev separeret på forsøgsmølleriallægget på Bioteknologisk afdeling, Carlsberg Forskningscenter. Såvel de kemiske analyser som rotteforsøgene blev udført efter SH's sædvanlige metodik. Cellulose + lignin blev bestemt som acid detergent fibre (ADF), β -glukan ved en enzymatisk metode og hemicellulose som difference: 1000-(protein + fedt + aske + stivelse + sukker + cellulose + lignin). I rotteforsøgene målte proteinets sande fordøjelighed (SF), den biologiske værdi (BV) og fordøjelig energi (FE). Undersøgelsen omfattede fem adskilte forsøg. I forsøg 1 og 2 bestemtes proteinets sande fordøjelighed og biologiske værdi ved forskellige kombinationer af endosperm og inderavner fra henholdsvis Bomi og M-1508. I disse forsøg blev foderets proteinkoncentration holdt konstant. I forsøgene 3 og 4 målte fordøjelig energi ved forskellige kombinationer af endosperm og inderavner. I disse forsøg varierede således foderets proteinkoncentration. Til alle diæter blev tilsat 50 g

kasein/950 g tørstof for at stimulere dyrenes ædelyst. Da kasein er fuldstændig fordøjeligt, kunne fordøjeligheden af protein i endosperm og inderavner beregnes. Hel kerne af Bomi blev benyttet som kontrolhold i forsøgene 1-4. I forsøg 5 var diæterne sammensat af endosperm fra både Bomi og M-1508.

Forholdet mellem endosperm og inderavner i de fem forsøgsserier varierede som 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100, hvorved der kunne beregnes regressionsligninger for de enkelte kriterier.

Resultater

De kemiske analyser viste, at protein-, fedt- og hemicelluloseindholdet var markant højere i M-1508 hel kerne sammenlignet med Bomi. Den kemiske sammensætning af endospermfraktionerne fulgte stort set samme mønster med undtagelse af β -glukan, der var væsentlig højere i M-1508 (15.0 g/kg) end i Bomi (8.3 g/kg). Indholdet af stivelse + sukker i inderavnsfraktionen fra Bomi var ca. dobbelt så høj (84.6 g/kg) som i inderavnefraktionen fra M-1508 (42.6 g/kg), medens ADF og hemicellulose var højest hos M-1508. Lysin og treonin var væsentlig højere hos M-1508 end hos Bomi.

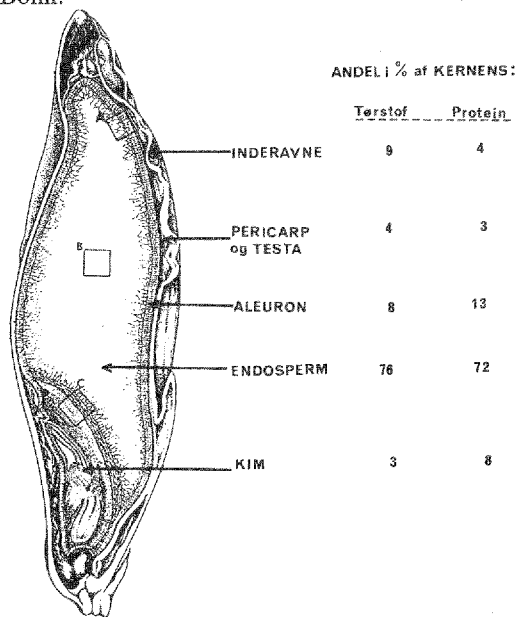


Fig. 1. Den botaniske sammensætning af bygkernen (approximative værdier).

Tabel 1. Kemisk sammensætning af hel kerne, endosperm og inderavner fra Bomi og M-1508 (g/kg tørstof og g/16 g N).

	Bomi			M-1508		
	Hel kerne	Endosperm	Inderavner	Hel kerne	Endosperm	Inderavner
Protein	110.4	84.4	49.5	125.1	110.5	43.1
Fedt	30.8	12.7	20.5	50.8	34.3	17.7
Aske	22.1	8.7	74.0	24.1	13.7	70.9
Stivelse + sukker	672.9	872.8	84.6	624.8	809.6	42.9
ADF	68.2	0	394.4	69.2	0	425.9
β -glukan	37.5	8.3	1)	24.5	15.0	1)
Hemicellulose	95.6	21.3	377.0	111.0	31.9	399.5
Lysin (g/16 g N)	3.5	3.0	4.1	5.1	4.6	5.8
Treonin (g/16 g N)	3.2	3.1	3.4	4.0	3.7	4.2
Methionin (g/16 g N)	1.8	1.7	1.7	1.9	2.0	1.5
Cystein (g/16 g N)	2.2	2.4	1.6	2.0	1.8	1.2

1) Ikke bestemt.

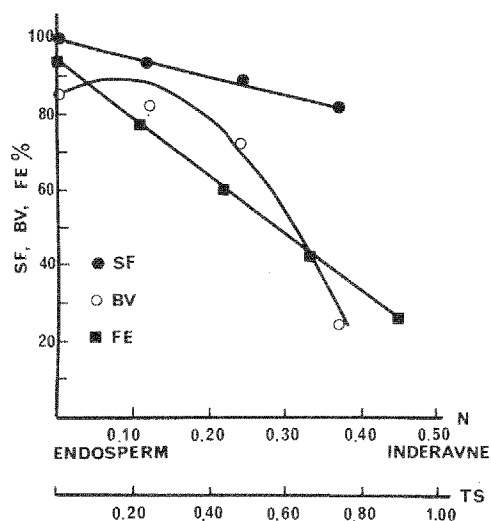


Fig. 2. Effekten af protein (N) og tørstof (TS) ved substitution af Bomi endosperm med inderavner på SF: SF (%) = $100.7 - 49.7 \cdot N$; BV: BV (%) = $85.5 + 103.1 \cdot N - 682.6 \cdot N^2$ og FE: FE (%) = $95.5 - 78.3 \cdot TS$.

SF og FE aftog lineært med stigende iblanding af Bomi inderavner fra 100.1% og 95.9% i holdene med 100% endosperm til henholdsvis 81.9% og 26% i holdene 25/75 og 0/100. Faldet i BV var langt mere udtalt fra 87.3% i holdet 100/ til 26.8% i holdet 25/75. Sammenhængen kunne beskrives ved et andengradspolynomium.

SF, BV og FE for M-1508 var forskellige fra værdierne for Bomi. SF og FE aftog fra 98.4% og 92.9% i holdene 100/0 til henholdsvis 79.6% og 24.9% i holdene 25/75. BV aftog drastisk i det samme interval fra 92.6% til 2.8%.

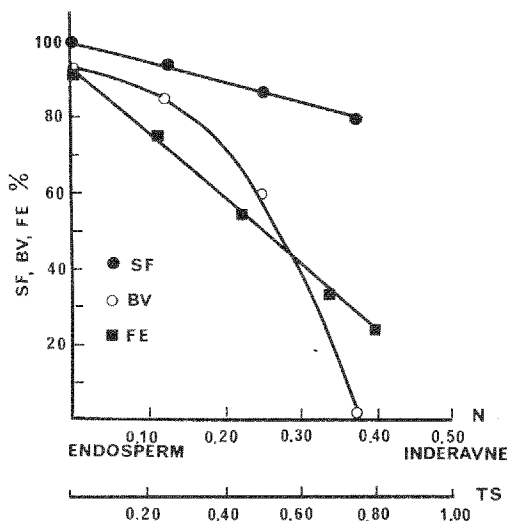


Fig. 3. Effekten af protein (N) og tørstof (TS) ved substitution af M-1508 endosperm med inderavner på SF: SF (%) = $99.0 - 50.0 \cdot N$; BV: BV (%) = $91.8 + 55.7 \cdot N - 774.5 \cdot N^2$ og FE: FE (%) = $93.5 - 87.3 \cdot TS$.

SF, BV og FE i Bomi og M-1508 kerne, endosperm og inderavner er vist i tabel 2. Fordøjeligheden af både protein og energi i såvel kerne som endosperm var signifikant lavere i M-1508 end i Bomi. SF og FE af Bomi kerne var således henholdsvis 89.2 og 79.9%, medens de modsvarende værdier for M-1508 var 86.2 og 78.4%. For de to typer endosperm var forskellen i SF og FE mellem Bomi og M-1508 mere udtalt og ca. den dobbelte af forskellen for kernen. På den anden side var BV signifikant højere i M-1508 kerne og endosperm end i Bomi. BV var henholdsvis 87.2 og

Tabel 2. Proteinets sande fordøjelighed, biologiske værdi og fordøjelige energi i hel kerne, endosperm og inderavner fra Bomi og M-1508.

	Bomi	M-1508	Difference (M-1508 - Bomi)
Hel kerne			
SF	89.2	86.2	3.0**
BV	75.2	87.2	12.0***
FE	79.9	78.3	1.6*
Endosperm			
SF	99.6	93.0	5.7***
BV	64.1	87.0	22.9***
FE	95.9	92.8	3.1***
Inderavner			
SF	50.3	49.9	-0.4 ^{1S}
SF/C ¹⁾	-0.638	-0.555	IS
FE	21.7	12.5	9.0**
FE/C ¹⁾	-1.985	-2.049	IS

¹⁾ Indflydelsen af cellulose + lignin (ADF) på henholdsvis SF og FE. ($b_1 \times 10^{-1}$)
IS ikke signifikant; *P<0.05; **P<0.01;
***P<p.001.

87.0% i kerne og endosperm fra M-1508 sammenlignet med 75.2% og 64.1% i kerne og endosperm fra Bomi. I de forskellige fraktioner af inderavne var både SF og FE meget lave. Der var ingen forskel i SF-værdierne for de to inderavnefraktioner, hvorimod FE var signifikant højere i inderavne fra Bomi (21.7%) end fra M-1508 (12.5%). Såfremt de to typer af inderavner blev korrigeret til den samme ADF koncentration, blev FE den samme for begge inderavnefraktioner.

Diskussion

De fremstillede fraktioner af inderavner og endosperm repræsenterer relativt rene botaniske komponenter, hvilket kan sluttes ud fra aminosyresammensætningen, der er i nøje overensstemmelse med aminosyresammensætningen i modsvarende hånddissekerede botaniske komponenter. På den anden side må den stivelse, der er fundet i inderavnefraktionen, repræsentere forure-

ninger fra endosperm, da stivelse ikke har kunnet påvises i hånddissekeret inderavner. Det lavere indhold af hemicellulose og cellulose + lignin i inderavnefraktionen fra Bomi er således for en stor del forårsaget af, at fraktionen ikke er så botanisk ren som inderavnefraktionen fra M-1508.

Balanceforsøgene viste, at M-1508 havde en bedre proteinkvalitet end Bomi, medens såvel proteinets som energiens fordøjelighed var signifikant højere hos Bomi. Det samme mønster kunne også ses hos de botaniske komponenter: endosperm og inderavner. Ud fra de kemiske analyser ville man også forvente sådanne resultater, idet M-1508 hel kerne og fraktioner generelt indeholder mere af ADF og hemicellulose, der har en negativ virkning på fordøjeligheden.

Den lavere fordøjelighed af proteinet og energien i endosperm fra M-1508 end i Bomi viser, at proteinets indlejningsmønster såvel som indholdet af cellevægsbestanddele (β -glukaner) reducerer fordøjeligheden. I normalbyg Bomi er proteinet i endosperm hovedsagelig indlejret som »protein bodies«. I M-1508 er indholdet af »protein bodies« reduceret, hvorimod proteinet i endosperm er indlejret som små proteinkorn, der er associeret til endospermcellevæggene. Dette forklarer den lavere fordøjelighed af protein i M-1508 hel kerne og endosperm. På den anden side bevirker det langt højere lysinindhold i såvel hel kerne som inderavner og endosperm en langt højere biologisk værdi, der til fulde kompenserer for den lavere fordøjelighed. Under forudsætning af tilstrækkeligt store tørstofudbytter vil højlysinbygssorter således være interessante energi- og proteinkilder.

Balanceforsøgene viste, at protein- og energiværdien af inderavner var meget lav. Dette forklarer den generelt lavere energiværdi af kornarter med inderavner (byg og havre) end af kornarter, der kun har et pericarp og testalag (hvede, rug, majs og milo).