



30. APRIL

NR. 540

Næringsværdien af botanisk definerede møllerifraktioner af byg

3. Protein- og energiværdien af pericarp-, testa-, kim-, aleuron- og endospermrige afskalningsfraktioner fra Bomi.

a. Tekstafsnit

K. E. Bach Knudsen og B. O. Eggum

¹ *Afdelingen for dyrefysiologi og biokemi, Statens Husdyrbrugsforsøg*

Byg blev mekanisk separeret i forskellige fraktioner med et højt indhold af henholdsvis inderavner, pericarp, testa, kim, aleuron og endosperm. Fraktionerne blev karakteriseret kemisk ved deres indhold af uopløselige fibre (IDF), opløselige fibre (SDF), acid detergent fibre (ADF), β -glukan, protein, fedt, fosfor, tannin, stivelse og sukker. Som mål for næringsværdien bestemtes sand fordøjelig protein (SF), biologisk værdi (BV) og fordøjelig energi (FE).

Den kemiske sammensætning og dermed næringsværdien varierede kraftigt. Proteinet og energien i inderavner, der havde et meget højt indhold af fibre, blev fordøjet med henholdsvis 33 og 6%. I endospermet derimod var der et lavt indhold af fibre og proteinets og energiens fordøjelighed blev estimeret til henholdsvis 99.8 og 96.8%. For aleuroncellerne, der er rige på protein og bidrager med 13–15% af kernens totalprotein, kunne fordøjeligheden groft vurderes til 50–55% for proteinet og 40–45% for energien. Den relativt lave fordøjelighed forårsages af aleuroncellevæggenes opbygning, der for størstedelen består af arabinoxylaner.

SF og FE var begge negativt korreleret til IDF, ADF og tannin. SDF og β -glukan havde derimod ingen negativ indflydelse på fordøjeligheden. Proteinets biologiske værdi var højest i fraktionerne med et højt indhold af kim og aleuronceller og lavest i fraktionerne med et højt indhold af endosperm.

Indledning

Næringsværdien i mekanisk adskilte inderavner og endosperm fra byg er tidligere beskrevet i meddelelse nr. 538. Denne meddelelse vil derimod omhandle bygfraktioner med et højt indhold af pericarp, testa, kim, aleuron og endosperm. På grund af det relativt høje indhold af både protein og lysin i aleuronlaget vil aleuroncellerne blive behandlet specielt.

Materiale og metoder

Den mekaniske adskillelse af de enkelte fraktioner blev foretaget på forsøgsmøllerianlægget på afdelingen for Bioteknologi, Carlsberg Forskningscenter. Næringsværdien blev bestemt ud fra kemiske analyser og i kvælstofbalance- og energifordøjelighedsforsøg med rotter. I forsøgene med rotter blev målt proteinets sande fordøjelighed (SF), biologiske værdi (BV) og fordøjelige energi (FE).

Såvel de kemiske analyser som forsøgene med rotter blev foretaget efter SH's sædvanlige procedure. Endvidere blev det totale fiberindhold (TDF) bestemt efter en gravimetrisk metode. Ved denne metode kan fibrene yderligere deles i uopløselige fibre (IDF) og opløselige fibre (SDF). Cellulose + lignin blev bestemt som acid detergent fibre (ADF) og β -glukan ved en enzymatisk metode.

Forsøgene med rotter blev gennemført i 2 serier. I serie 1 blev N-indholdet i foderet holdt konstant ved at indstille foderets N-procent med N-fri blanding. Foruden mineraler og vitaminer bestod foderet i serie 2 udelukkende af tørstof fra fraktionerne og fordøjelig energi blev bestemt.

Resultater

Den kemiske sammensætning af den benyttede bygsort (Bomi) er vist i tabel 1, medens resultaterne af afskalningsfraktionerne illustreres grafisk i figurerne 1-6. Ud over de viste fraktioner, blev der fremstillet yderligere 4 fraktioner ved sigtning af fraktion 11.2-16.9% afskallet (gns. afskalning 14.1%) ved henholdsvis 32-63 μ og 63-125 μ og fraktion 17.0-24.6% afskallet (gns. afskalning 20.9%) ved henholdsvis 63-125 μ og 125-250 μ .

Af figur 1 kan det ses, at afskalningsgraden har en meget stærk indflydelse på fraktionernes indhold af uopløselige fibre (IDF) og cellulose + lignin (ADF). IDF faldt fra 760 g/kg tørstof i den yderste skalfraktion til ca. 50 g/kg tørstof i endospermfraktionen ved en afskalningsgrad på omkring 45%. Ved højere afskalningsgrader var indholdet af IDF nærmest uforandret.

Kurvernes forløb for IDF og ADF var næsten ens, kun niveauet var meget forskelligt. De laveste værdier på 10-20 g/kg tørstof af opløselige fibre (SDF) og β -glukan blev fundet i fraktionerne med et højt indhold af inderavner, pericarp og testa. Indholdet steg i de efterfølgende fraktioner for at nå et konstant niveau ved ca. 20% afskalning, hvor SDF nåede op på 70 g/kg tørstof og β -glukan på 55 g/kg tørstof.

Figur 2 viser indholdet af tannin, fosfor, fedt og protein i relation til afskalningsgraden. Tannin-

indholdet var relativt lavt i inderavnefraktionen med omkring 6 g/kg tørstof, men steg stærkt til 18 g/kg tørstof ved omkring 14% afskalning. Denne fraktion bestod primært af aleuron, pericarp, testa og kim i nævnte orden. Ved yderligere afskalning faldt tanninindholdet kraftigt for at nå et niveau på ca. 4 g/kg tørstof i endospermfraktionen. Fosfor- og fedtindholdet fulgte stort set kurven for tannin, men der var ikke det samme hurtige fald efter ca. 14% afskalning, som tilfældet var med tannin. Proteinindholdet i inderavner var omkring 30 g/kg tørstof, men steg hurtigt med afskalningsgraden til et niveau på omkring 170 g/kg tørstof ved en afskalningsgrad på 14-22%. I begge fraktioner var der et højt indhold af aleuron og kim. Ved yderligere afskalning ud over 22% faldt proteinindholdet jævnt for at nå et niveau på 80 g/kg tørstof ved en afskalning på 80%.

Sammenhængen mellem stivelse og sukker og afskalningsgraden er vist i figur 3. I fraktionerne med et højt indhold af inderavner, pericarp og testa (0-11.1% afskallet) var der et lavt indhold af stivelse. Med stigende afskalning steg indholdet imidlertid drastisk til et niveau på 800 g/kg tørstof ved en afskalning på 80%. Sukkerindholdet var højest (100 g/kg tørstof) i fraktionen med et højt indhold af aleuronceller, pericarp og testa (14% afskallet) og lavest i inderavner og endospermfraktionen (omkring 20 g/kg tørstof).

Relationen mellem afskalningsgraden og henholdsvis proteinets sande fordøjelighed (SF) og fordøjelig energi (FE) fremgår af figur 4. SF var lav i inderavner med en fordøjelighed på 33%, men steg successivt mod den centrale endosperm til omkring 96% ved en afskalningsgrad på 80%. Energien i inderavner var nærmest ufordøjelig med en fordøjelighed på kun 6%. FE steg dog kraftigt med stigende afskalning til 44% i fraktionen rig på pericarp og testa; til 62% og 80% i fraktionerne med et højt indhold af aleuronceller og til 94% i fraktionen, der primært bestod af endosperm.

Korrelationen mellem henholdsvis SF og FE og IDF, SDF, β -glukan, ADF, tannin og fosfor er vist i tabel 2. IDF, ADF og tannin var alle stærkt negativt korrelerede til SF og FE, medens om-

vendt β -glukan og SDF var signifikant positivt korrelerede. Korrelationen mellem fosfor (aleuronceller) og SF var signifikant, hvorimod dette ikke var tilfældet for korrelationen mellem fosfor (aleuronceller) og FE.

Regressionsanalysen i tabel 3 viser, at den bedste beskrivelse af sammenhængen mellem henholdsvis SF og FE og ADF og fosfor (aleuronceller) blev opnået ved en multiple regressionsmodel. De lineære regressioner kunne således kun beskrive henholdsvis 55.4% og 61.7% af variationen i SF og 91.7% af variationen i FE. Omvendt kunne de multiple regressioner beskrive henholdsvis 96.2% og 99.8% af variation i SF og FE. Omtrent den samme beskrivelse af variationen i SF og FE kunne opnås ved at benytte tannin i stedet for fosfor som uafhængig variabel.

Figur 5 viser den nære sammenhæng mellem FE og fraktionernes IDF-indhold. Denne sammenhæng kunne beskrives ved en lineær regressionsmodel.

Proteinkvaliteten og lysinindholdet er, som figur 6 viser, højt korrelerede. De højeste BV blev fundet i fraktionerne med et højt indhold af aleuronceller og kim og de laveste BV i fraktionerne, der primært bestod af endosperm. Hold 2 og 3 (G2 og G3), der havde et relativt højt indhold af pericarp og testa, afveg fra den generelle regressionslinje.

Diskussion

De fremstillede fraktioner, der bestod af mere eller mindre rene botaniske komponenter, varierede stærkt i kemisk sammensætning og dermed i næringsværdi. Fraktionerne 1–11.1% afskallet bestod således primært af inderavner, pericarp og testa. Dette ses af det høje indhold af fibre og det lave protein- og stivelsesindhold. I de efterfølgende fraktioner var der et højt indhold af aleuronceller og kim. Dette kan slutes ud fra fraktionernes høje indhold af protein, fedt og fosfor. Proteinindholdet i hånddisskerede aleuronceller og kim er således fundet til henholdsvis 180–210 g/kg tørstof og 300–330 g/kg tørstof, ligesom undersøgelser med hvede og ris har vist, at næsten al kernens fosfor er associeret til aleuron-

laget. Med stigende afskalning ud over 24.6% stiger fraktionernes indhold af endosperm, hvilket fremgår af det kraftigt stigende stivelsesindhold.

Fordøjeligheden af de enkelte fraktioner er stærkt influeret af den kemiske og botaniske sammensætning af fraktionerne. Den lave fordøjelighed af inderavner er således et resultat af et højt indhold af strukturelle kulhydrater (cellulose, hemicellulose) og lignin, der gør proteinet og energien vanskelig tilgængelig. Omvendt er fordøjeligheden af endospermen høj, hvilket skyldes, at størstedelen af proteinet og energien findes som protein- og stivelseskorn og kun en mindre del som cellevægsbestanddele. Ud fra intercepterne i regressionslingningerne kan SF og FE af ren endosperm beregnes til 99,8 og 96,8%, hvilket er i nøje overensstemmelse med de fordøjeligheder, der blev fundet af renfremstillet endosperm fra Bomi i Meddelelse nr. 538.

Regressionsanalysen i tabel 2 indikerer, at aleuroncellerne passerer ufordøjet gennem den øvre del af tarmkanalen. Dette er i overensstemmelse med andre undersøgelser på rotter og kyllinger, hvor man har fundet intakte aleuronceller ved enden af tyndtarmen hos rotter og i fæces hos kyllinger. Årsagen er, at aleuroncellevæggen er opbygget af arabinoxylan, cellulose og phenolsyrer, der beskytter celleindholdet mod enzymatisk hydrolyse i den øvre del af tarmkanalen. Under passagen af blind- og tyktarm omdannes aleuroncellerne til mikrobiel biomasse og går som sådan tabt for dyret. Med antagelse af, at al kernens fosfor, som tilfældet er med ris og hvede, er associeret til aleuroncellerne og at aleuroncellerne udgør 8% af kernens tørstof og 13% af kernens protein, kan fordøjeligheden af aleuroncellerne groft vurderes til 50–55% for proteinet og 40–45% for energien. I betragtning af, at aleuroncellerne bidrager med 13–15% af kernens totale protein og en endnu større andel af de essentielle aminosyrer, er det således en anseelig mængde protein, der går tabt for dyret. Med disse resultater kan man også forklare, hvorfor visse essentielle aminosyrer i de forskellige kornarter, generelt fordøjes lavere end totalproteinet i enmavede dyr.

SF og FE var begge negativt korrelerede til IDF, ADF og tannin. Korrelationskoefficienten mellem SF og IDF var $-0,914^{***}$ sammenholdt med $-0,744^{***}$ for ADF. Denne forskel forklares af de botaniske komponenters kulhydratsammensætning. Cellevæggene i inderavner, pericarp og testa, der alle har et lavt proteinindhold, består for størstedelen af cellulose, hemicellulose og lignin og bestemmes derfor som IDF og ADF. På den anden side, den største kulhydratkomponent i det proteinrige aleuroncellelag er arabinoxylan (75%), der nok bestemmes som IDF, men ikke som ADF.

Resultaterne viser endvidere en lineær sammenhæng mellem FE og IDF med en hældningskoefficient på 1,00. Dette viser, at de uopløselige fibre enten ikke forgæres under passagen af den nedre del af tarmkanalen eller, at IDF omdannes til mikrobiel biomasse, der som sådan genfindes i fæces. På den anden side blev der fundet en posi-

tiv korrelation mellem SF og FE og henholdsvis β -glukan og SDF. Dette er sandsynligvis en følge af, at endospermcellevæggene forgæres af mikrofloraen til flygtige fede syrer.

Proteinkvaliteten var som ventet højt korreleret til lysinindholdet og højest i fraktionerne med et højt indhold af kim og aleuron og lavest i endospermfraktionerne. Afvigelserne af hold 2 og 3 (G2 og G3) fra regressionslinien forklares af, at inderavner, pericarp og testa har et højt indhold af lysin og at en uforholdsmæssig stor del af lysinet i disse to fraktioner var associeret til specielt pericarp og testa.

Undersøgelsen viser, at det ved hjælp af avanceret mølleriteknologi er muligt at fremstille fraktioner fra bygkernen med vidt forskellig kemisk sammensætning og næringsværdi. Heraf kan sluttes, at ikke alene byg, men også de øvrige kornarter, vil kunne danne basis for langt flere føde- og foderprodukter end tilfældet er i dag.