



28. FEBRUAR

NR. 454

Udmalingsgradens betydning for næringsværdien i mel

1. Rug

Birthe Pedersen og Bjørn O. Eggum

Afdeling for dyrefysiologi, biokemi og analytisk kemi

Rug blev formalet til seks mel med udmalingsgrader fra 100% til 65%. De seks mel blev analyseret kemisk og undersøgt biologisk i balanceforsøg med rotter. Lysinindholdet faldt fra 4.23 g/16 g N i hel rug til 3.76 g/16 g N i det fineste mel. Dette bevirkede et tilsvarende fald i den biologiske værdi. Indholdet af mineraler i mel med en udmalingsgrad på 65% var reduceret til 50% eller mindre af mineralindholdet i hel rug, faldet var størst for zink og fosfor. Udtrykt i absolutte værdier var den tilsyneladende zinkabsorption og -retention signifikant højere fra mel med høj udmalingsgrad end fra mere fine mel til trods for et langt højere fytinsyreindhold i de mere grove mel. Det kunne konkluderes, at rugmel med lav udmalingsgrad havde en langt lavere næringsværdi end mel med høj udmalingsgrad.

Indledning

Kornarterne udgør en væsentlig del af den daglige føde til såvel mennesker som dyr og er således en særdeles vigtig kilde for både energi, protein, mineraler og vitaminer. Mens hele kernen normalt fortæres af husdyrene, fjernes de yderste skaldele ofte, når mel fremstilles til humant konsum. Udmalingsgraden kan variere fra 100% (hele kernen) til ca. 70%. Ved fremstilling af fint mel med en lav udmalingsgrad opstår en klidfraktion, der primært indgår i foderblandinger. Det er velkendt, at klid indeholder mere protein, træstof og aske end resten af kernen, men der hersker en del tvivl om den biologiske tilgængelighed af disse næringsstoffer. Dette skyldes, at klidfraktionen, foruden et relativt højt træstofindhold, også har et ret højt indhold af fytinsyre. Begge dele kan for-

modentlig have en negativ effekt på mineraludnyttelsen, og der er sort set enighed om, at mineralstoffernes tilgængelighed er lavere i groft mel end i mere fint mel. Træstof kan også have indflydelse på energi- og proteinudnyttelsen.

Formålet med dette forsøg var at undersøge effekten af udmalingsgraden på værdien af rug som kilde for protein, energi og mineraler.

Materialer og metoder

Rugmel med udmalingsgrad fra 100% (hele kernen) til 65% blev fremstillet på Afdelingen for Bioteknologi, Carlsberg. I alt blev seks mel analyseret kemisk og testet biologisk i balanceforsøg med rotter. I rotteforsøgene bestemtes proteinets sande fordøjelighed (SF), den biologiske værdi (BV), nettoproteinudnyttelsen (NPU), udnyttelig

Tabel 1. Kemisk sammensætning (tørstofbasis) i rugmel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	92	85	81	75	65
Aske (%)	1.7	1.5	1.2	1.1	0.9	0.8
Protein (%)	11.8	11.4	10.8	10.4	10.3	9.6
Lysin (g/16 g N)	4.23	4.04	3.95	3.57	3.79	3.76
Fedt (%)	2.2	2.1	2.1	2.0	1.7	1.2
Stivelse + sukker (%)	67.3	68.2	73.2	72.6	74.9	74.0
Træstof (%)	2.2	2.1	1.6	1.7	1.3	1.0
Tannin (%)	0.7	0.5	0.6	0.4	0.4	0.4
Energi (kJ/g)	18.5	18.2	18.2	18.3	18.2	18.1

protein (UP) og fordøjelig energi (FE). Endvidere målt den tilsyneladende zinkabsorption og -retention. Zink, calcium og fosfor blev desuden bestemt i lårbensknoglen, medens zink, kobber og jern blev målt i leveren. For at undgå zinkforureninger blev der anvendt rustfrit stål i burmaterialet og destilleret afioniseret vand. Ellers blev afdelingens sædvanlige teknik ved rotteforsøgene benyttet.

Resultater

Den kemiske sammensætning af de seks rugmel er anført i tabel 1. Med undtagelse af stivelse + sukker var koncentrationen af de øvrige næringsstoffer højere i hel rug end i mel med lavere udmalingsgrad. Proteinindholdet var 19% lavere i mel med en udmalingsgrad på 65% end i hel rug, medens indholdet af aske, træstof og tannin var halveret. Indholdet af lysin, den mest begrænsende aminosyre, faldt fra 4.23 g/16 g N i hel rug til 3.76 g/16 g N i melet med den laveste udmalingsgrad. De øvrige aminosyrer var i mindre grad påvirket af udmalingsgraden.

Koncentrationen af fosfor, calcium, jern, zink og kobber var også stærkt reduceret i mel med lav udmalingsgrad sammenlignet med indholdet i den hele kerne. En reduktion på 50% eller mere fandtes for flere af mineralerne, faldet var størst for zink og fosfor. I mel med høj udmalingsgrad udgjorde fytinfosfor ca. 60% af total fosfor, medens de fineste mel kun indeholdte spor af fytinfosfor. Det molære forhold mellem fytinsyre:zink varierede fra 24 i hele kerne til 1 i mel med en udmalingsgrad på 65%.

Af tabel 3 fremgår det, at udmalingsgraden kun havde en lille effekt på proteinets fordøjelighed, men den højeste fordøjelighed blev dog målt i mel med den laveste udmalingsgrad. Den biologiske værdi var derimod signifikant lavere i mel med lav udmalingsgrad sammenlignet med mel med højere udmalingsgrad. Dette er i overensstemmelse med det lavere lysinindhold i mel med lav udmalingsgrad. De lavere BV værdier i mel med lav udmalingsgrad, sammen med et lavere proteinindhold, resulterede i et linært fald i UP med faldende udmalingsgrad. Dette var specielt ud-

Tabel 2. Mineralindhold (tørstofbasis) i rugmel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	92	85	81	75	65
Kalcium (mg/g)	0.37	0.32	0.28	0.26	0.22	0.20
Fosfor (mg/g)	3.7	2.9	2.2	2.0	1.7	1.5
Fytinfosfor (mg/g)	2.3	1.8	1.1	0.5	0.3	0.1
Zink (ppm)	33	31	25	20	19	14
Kobber (ppm)	4.1	3.7	3.1	2.9	2.6	2.2
Jern (ppm)	41	34	26	26	22	20
Fytinsyre:zink ¹⁾	24	21	15	9	5	1

¹⁾ Molærforhold. Det er antaget, at fytinsyre indeholder 28.2% fosfor.

Tabel 3. Proteinudnyttelse (tørstofbasis) i rotter fodret med rugmel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	92	85	81	75	65
Sand protein fordøjelighed	83.6	84.1	86.4	85.8	87.1	87.4
Biologisk vædi	81.3 ^a	77.5 ^{ab}	75.8 ^{bc}	75.0 ^{bc}	72.1 ^c	71.9 ^c
Nettoproteinudnyttelse	67.9	65.2	65.3	64.3	62.9	62.8
Udnyttelig protein (g/100 g mel)	8.0 ^a	7.4 ^{ab}	7.1 ^{bc}	6.7 ^c	6.5 ^{cd}	6.0 ^d
Udnyttelig protein (g/100 g kerne)	8.0 ^a	6.9 ^b	6.0 ^c	5.4 ^d	4.9 ^e	3.9 ^f

^{a-f}) Gennemsnitsværdier med forskellige bogstaver i samme linie er signifikant ($P < 0.05$) forskellige.

talt, når UP blev beregnet i g/100 g kerne. Op til 50% af den udnyttelige proteinmængde i hel rug blev fjernet i formalingsprocessen. Dette viser, hvor meget af proteinet i kernen der unddrages human konsumtion, når mel med lav udmalingsgrad fremstilles. På den anden side fremgår det, at klidfraktionen, der anvendes i husdyrproduktio-

tag var langt højere, når de blev fodret med mel med høje udmalingsgrader end med de finere mel. Udskillelsen af zink med fæces var dog størst, når der blev fortæret mel med høj udmalingsgrad; zinkudskillelsen med urinen derimod var ret konstant. Den tilsyneladende absorption og retention udtrykt i absolutte værdier var således signifikant

Tabel 4. Zinkbalance ($\mu\text{g}/5$ dage) i rotter fodret med rugmel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	92	85	81	75	65
Indtag (μg)	1331 ^a	1125 ^b	979 ^d	890 ^d	789 ^e	654 ^f
Fæces (μg)	937 ^a	774 ^b	728 ^{bc}	629 ^{cd}	571 ^{de}	493 ^e
Urin (μg)	63	55	67	64	56	54
Tilsyneladende absorption (μg)	394 ^a	351 ^{ab}	251 ^{bc}	261 ^{bc}	218 ^c	162 ^c
Tilsyneladende absorption (%)	30	31	26	29	28	25
Tilsyneladende retention (μg)	332 ^a	297 ^{ac}	175 ^b	197 ^{bc}	163 ^b	121 ^b
Tilsyneladende retention (%)	25	26	18	22	21	19

^{a-f}) Gennemsnitsværdier med forskellige bogstaver i samme linie er signifikant ($P < 0.05$) forskellige.

nen, indeholder den del af kernens protein, der har den højeste biologiske værdi. Fordøjelig energi steg fra 84.3% i hel rug til 92.7% i mel med en udmalingsgrad på 65%.

Zinkbalanceværdierne for de seks mel er anført i tabel 4. Heraf fremgår det, at rotternes zinkind-

hold var højere fra mel med høj udmalingsgrad end fra finere mel. Det fremgår af tabel 5, at udmalingsgraden ikke havde nogen effekt på mineralindholdet i lårbensknoglen, medens mineralindholdet i leveren (tabel 6) var lavest hos rotter fodret med de fineste mel.

Tabel 5. Mineralstofindholdet i lårbensknoglen fra rotter fodret med rugmel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	92	85	81	75	65
Tørvægt af lårbensknoglen (mg)	152	152	161	156	159	154
Zink (ppm)	199	216	213	223	215	219
Kalcium (mg/g)	181	185	174	179	180	179
Fosfor (mg/g)	93.3	96.5	92.5	95.1	94.5	93.1
Ca:P	1.89	1.91	1.88	1.89	1.90	1.88

Der var ingen signifikante ($P < 0.05$) forskelle mellem gennemsnitsværdierne.

Tabel 6. Mineralstofindholdet i leveren fra rotter fodret med rugmel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	92	85	81	75	65
Tørvægt af leveren (g)	1.07 ^{ab}	0.92 ^a	0.98 ^{ab}	1.11 ^{ab}	1.15 ^b	1.10 ^{ab}
Zink (ppm)	101 ^{ab}	116 ^a	93 ^{abc}	96 ^{abc}	83 ^{bc}	73 ^c
Kobber (ppm)	16.4 ^{ab}	19.7 ^a	15.2 ^{ab}	14.4 ^b	13.6 ^b	14.0 ^b
Jern (ppm)	567	609	496	491	488	505

^{a-c)} Gennemsnitsværdier med forskellige bogstaver i samme linie er signifikant ($P < 0.05$) forskellige.

Diskussion og konklusion

Forskellene i lysinindholdet og dermed i den biologiske værdi ved de forskellige udmalingsgrader skyldes, at fine mel indeholder relativt mere prolamin (som er meget lysinfattigt) end mel med højere udmalingsgrad. Prolaminfraktionen har endvidere en høj fordøjelighed, og derfor stiger proteinets fordøjelighed med aftagende udmalingsgrad. Det aftagende indhold af træstof og tannin er også medvirkende årsager til de stigende fordøjeligheder af såvel protein som energi, når udmalingsgraden sænkes.

Det høje zinkindhold i mel med høj udmalingsgrad mere end kompenserer for den øgede zinkudskillelse med fæces. Den tilsyneladende absorption og retention af zink fra hel rug var således mere end dobbelt så høj som fra mel med en udmalingsgrad på 65%. Det ses endvidere, at den relative absorption og retention, udtrykt i pct., ikke aftog til trods for det langt højere fytinsyre:zink forhold i mel med høj udmalingsgrad. Udenlandske undersøgelser har vist, at fytinsyre har en negativ effekt på zinkudnyttelsen. Fytinsyre: zink forhold på 10 til 15 påvirker zinkudnyttelsen negativt, når zinkindholdet i foderet nærmer sig behovet, 12 ppm. I denne undersøgelse var zinkindholdet langt højere end dette minimums behov, når der blev fodret med mel højt i fytinsyre; og det høje zinkindhold, har formodentlig modvirket en antagonistisk effekt af fytinsyren.

På basis af zinkkoncentrationen i lårbensknoglen synes zinkindholdet i alle melene at være tilstrækkeligt til at dække rotternes behov. Calcium- og fosforindholdet i lårbensknoglen var heller ikke påvirket af udmalingsgraden, medens zink og kobberindholdet i leveren var signifikant højere, når rotterne blev fodret med mel med høj udmalingsgrad sammenlignet med mere fine mel.

Man kan ikke drage generelle konklusioner vedrørende mineralernes tilgængelighed i de forskellige kornarter, idet både mineralindhold, fytinsyreindhold samt træstofindhold og – sammensætning vil kunne variere. Endvidere indeholder rug relativt meget fytase sammenlignet med de andre kornarter. I denne undersøgelse blev der fodret med ubehandlet mel, og det er muligt, at fytasen delvis kan have hydrolyseret fytinsyren i fordøjelseskanaalen. Fytasen inaktiveres ved opvarmning, men i det traditionelle danske rugbrød, fremstillet af hel rug vil en betydelig del af fytinsyren i melet blive hydrolyseret under bagningsprocessen. Man kan derfor ikke forvente en uheldig effekt af fytinsyre på udnyttelsen af mineraler i rugbrød, og dansk rugbrød synes at være en god kilde for essentielle mineralstoffer. Forsøgene tyder endvidere på, at mineralerne i klidfraktionen, som anvendes i husdyrproduktionen, har samme tilgængelighed som mineralstoffer lokaliseret i den øvrige del af kernen.