



28. FEBRUAR

NR. 455

Udmalingsgradens betydning for næringsværdien i mel

2. Hvede

Birthe Pedersen og Bjørn O. Eggum
Afdeling for dyrefysiologi, biokemi og analytisk kemi

Seks partier hvedemel med udmalingsgrad fra 100% til 66% blev fremstillet og undersøgt kemisk samt vurderet biologisk i balanceforsøg med rotter. Det fremgik af undersøgelsen, at såvel proteinindhold som indholdet af lysin aftog med faldende udmalingsgrad. De mest markante forandringer fandtes for aske- og træstofindholdet, idet askeindholdet faldt fra 1.8% i hel hvede til 0.5% i det fineste mel, mens træstofindholdet tilsvarende faldt fra 2.4% til 0.2%. Indholdet i melene af mineraler som kalcium, fosfor, zink, kobber og jern aftog også stærkt med faldende udmalingsgrad. Fordøjeligheden af energien steg med faldende udmalingsgrad fra 86.9% i hel hvede til 95.6% i mel med en udmalingsgrad på 66%. Zinkbalancen viste, at der absorberedes ca. dobbelt så meget zink fra hele hvede som fra det fineste mel, selvom den procentvise absorption var højest fra de fine mel. Mineraliseringen af lårbensknoglen var ikke påvirket af udmalingsgraden, men zink, kobber og jernindholdet i leveren var lavest hos rotter fodret med mel med en lav udmalingsgrad.

Indledning

Prolamin og glutelin i hvede udgør glutenkomplekset, der giver den høje bageevne i hvedemel. Uheldigvis er lysinindholdet meget lavt i disse proteinfraktioner, og proteinkvaliteten i hel hvede er ringere end i de fleste andre kornarter. Dette skyldes primært det lave indhold af lysin og threonin og desuden et ret lavt indhold af svovlholdige aminosyrer.

Størstedelen (50–80%) af mineralerne i hvede findes i aleuronlaget, der tilhører de yderste lag af kernen. Samtidig indeholder aleuronlaget ca. 90% af fytinsyren i hele kernen. Fytinsyren vil kunne reducere absorptionen af mineraler.

Denne undersøgelse tog sigte på at bestemme de kvantitative tab af forskellige næringsstoffer ved fremstilling af mel med forskellige udmalingsgrader. Endvidere blev effekten af udmalingsgraden på protein, energi og mineralstofudnyttelsen hos unge hurtigvoksende rotter undersøgt.

Materialer og metoder

Hvedemelspartier med udmalingsgrad varierende fra 100% til 66% blev fremstillet på Afdelingen for Bioteknologi, Carlsberg. I alt blev seks mel analyseret kemisk og testet biologisk i balanceforsøg med rotter. I rotteforsøgene blev

Tabel 1. Kemisk sammensætning (tørstofbasis) af hvedemel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	95	87	80	75	66
Aske (%)	1.8	1.5	1.0	0.7	0.6	0.5
Protein (%)	14.2	13.9	13.8	13.4	13.3	12.7
Lysin (g/16 g N)	2.57	2.57	2.38	2.27	2.15	2.18
Fedt (%)	2.7	2.4	2.0	1.6	1.4	1.1
Stivelse + sukker (%)	69.9	73.2	77.2	80.8	82.9	84.0
Træstof (%)	2.4	2.1	1.1	0.2	0.3	0.2
Energi (kJ/g)	18.5	18.5	18.5	18.4	18.3	18.4

proteinets sande fordøjelighed (SF), den biologiske værdi (BV), nettoproteinudnyttelsen (NPU), udnyttelig protein (UP) og fordøjelig energi (FE) bestemt. Endvidere målt den tilsyneladende zinkabsorption og -retention. Zink, calcium og fosfor blev desuden bestemt i lårbensknoglen; og zink, kobber og jern blev målt i leveren. For at undgå zinkforureninger blev der anvendt rustfrit stål i burmateriale, og der blev benyttet destilleret afioniseret vand. Ellers blev afdelingens sædvanlige teknik ved rotteforsøgene benyttet.

Resultater

Den kemiske sammensætning i de seks hvedemel er anført i tabel 1. Som ventet indeholdt de fine mel mere stivelse + sukker, men mindre af de øvrige næringsstoffer end hel hvede. Proteinindholdet i det fineste mel var kun 90% af indholdet i hele hvede, og askeindholdet blev reduceret til 28% af det oprindelige indhold. Træstofindholdet var kun 0.2% i det fineste mel.

Faldende udmalingsgrad bevirkede en reduktion (g/16 g N) i lysin, arginin, asparaginsyre og

alanin, men en stigning i glutaminsyre og prolin. Koncentrationen af de øvrige aminosyrer var ret upåvirkede af udmalingsgraden. Den mest begrænsende aminosyre, lysin, faldt fra 2.57 i hel kerne til 2.18 (g/16 g N) i melet med den laveste udmalingsgrad.

Mineralindholdet var stærkt reduceret i mel med lav udmalingsgrad; koncentrationen af zink, kobber, jern og fosfor var kun ca. 30% af indholdet i hel hvede. Calcium er åbenbart mere ligeligt fordelt igennem kernen, idet indholdet af calcium var mindre påvirket af udmalingsgraden.

Fytinfosfor udgjorde 76% af totalfosfor i hel hvede, mens der kun var spor tilbage i melet med den laveste udmalingsgrad. Det molære fytinsyre:zink forhold varierede fra 35 i hel hvede til kun 2 i det fineste mel.

Værdierne for proteinkvalitet er vist i tabel 3. Heraf fremgår det, at der er en svag stigning i proteinets sande fordøjelighed med faldende udmalingsgrad, mens det omvendte var tilfældet for den biologiske værdi. Uanset udmalingsgraden var nettoproteinudnyttelsen lav, hvilket primært

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

Udmalingsgrad (%)	100	95	87	80	75	66
Kalcium (mg/g)	0.44	0.43	0.33	0.27	0.25	0.23
Fosfor (mg/g)	3.8	3.3	2.1	1.5	1.3	1.2
Fytin-P (mg/g)	2.9	2.2	1.0	0.4	0.1	<0.1
Zink (ppm)	29	25	18	12	8	8
Kobber (ppm)	4.0	3.7	2.8	2.4	1.6	1.3
Jern (ppm)	35	33	23	15	13	10
Fytinsyre:zink ^{a)}	35	30	19	13	4	2

^{a)} Molærforhold. Det er antaget, at fytinsyre indeholder 28.2% fosfor.

Table 3. Proteinudnyttelse (tørstofbasis) hos rotter fodret med hvedemel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	95	87	80	75	66
Sand fordøjelig protein (%)	91.6 ^a	93.9 ^{ab}	94.9 ^{bc}	94.2 ^{bc}	96.6 ^c	95.7 ^{bc}
Biologisk værdi (%)	61.3 ^{ab}	61.9 ^a	57.3 ^{bc}	57.1 ^{bc}	55.9 ^c	58.9 ^{ac}
Nettoproteinudnyttelse (%)	56.2 ^{ab}	58.2 ^a	54.4 ^{ab}	53.8 ^b	54.0 ^b	56.4 ^{ab}
Udnyttelig protein (g/100 g mel)	8.0 ^{ab}	8.1 ^a	7.5 ^{bc}	7.2 ^c	7.2 ^c	7.2 ^c
Udnyttelig protein (g/100 g kerne)	8.0 ^a	7.7 ^a	6.5 ^b	5.8 ^c	5.4 ^c	4.9 ^d

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

skyldes det lave lysinindhold i hvede. På grund af det aftagende proteinindhold med faldende udmalingsgrad faldt udnyttelig protein fra 8.0 i hel hvede til 7.2 i mel med en udmalingsgrad på 66%.

Hvis man samtidig tager højde for den mængde protein, der tabes i formalingsprocessen, kan man se, at udnyttelig protein (UP/100 g kerne) falder fra 8.0 i hel hvede til 4.9 i det fineste mel.

Fordøjelig energi steg fra 86.9% i hel hvede til 95.6% i mel med den laveste udmalingsgrad. Dette resulterede i en signifikant ($P < 0.05$) højere energikoncentration i kJ fordøjelig energi pr. g mel. Hvis man derimod beregner kJ fordøjelig energi pr. g kerne, falder denne værdi fra 16.1 i hel hvede til 11.5 kJ i mel med en udmalingsgrad på 66%.

Resultaterne fra zinkbalancerne er vist i tabel 4. Heraf fremgår det, at rotter fodret med mel med høj udmalingsgrad havde et langt større zinkindtag end rotter fodret med det mere fine mel. Udskillelsen med fæces var dog også langt højere hos rotter fodret med mel med høj udmalingsgrad, men den tilsyneladende absorption og retention

af zink var signifikant højere hos rotter, der fik mel med høj udmalingsgrad. Omvendt var den relative absorption af zink højest hos rotter fodret med de fineste mel.

Mineralstofindholdet i lårbensknoglen er anført i tabel 5. Zinkkoncentrationen var ikke signifikant påvirket af melets udmalingsgrad, og det samme var tilfældet for calcium og fosfor. Der var dog en tendens til lavere værdier for Ca:P forholdet i lårbensknoglen hos rotter fodret med mel med høj udmalingsgrad.

Zink, kobber og jernindholdet i leveren var højest, omend ikke signifikant hos rotter fodret med mel med høj udmalingsgrad (tabel 6).

Diskussion og konklusion

Fremstilling af hvedemel med forskellig udmalingsgrad resulterede i drastiske ændringer i melenes kemiske sammensætning. Udmalingsgraden vil derfor have afgørende indflydelse på melets næringsværdi. Den ændrede aminosyresammensætning i de fine mel sammenlignet med mel fremstillet af hel hvede skyldes, at den lysinfatti-

Table 4. Zinkbalance (μg zink/5 dage) hos rotter fodret med hvedemel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	95	87	80	75	66
Indtag (μg)	1004 ^a	856 ^b	682 ^c	444 ^d	367 ^e	314 ^f
Fæces (μg)	784 ^a	668 ^b	499 ^c	319 ^d	240 ^e	220 ^f
Urin (μg)	29	35	38	31	38	30
Tilsyneladende absorption (μg)	219 ^a	188 ^{ab}	184 ^{ab}	125 ^{bc}	128 ^{bc}	94 ^c
Tilsyneladende absorption (%)	22 ^a	22 ^a	27 ^{ab}	28 ^{ab}	35 ^b	30 ^{ab}
Tilsyneladende retention (μg)	191 ^a	153 ^{ab}	146 ^{ab}	95 ^{bc}	90 ^{bc}	66 ^c
Tilsyneladende retention (%)	19	18	21	22	24	21

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

Tabel 5. Mineralindhold (tørstofbasis) i lårbensknoglen fra rotter fodret med hvedemel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	95	87	80	75	66
Tørvægt af lårben (mg)	151	147	145	146	141	146
Zink (ppm)	198	200	199	201	194	200
Kalcium (mg/g)	177	175	178	175	174	179
Fosfor (mg/g)	95.0	93.2	93.8	93.0	91.7	93.9
Ca:P forholdet	1.86	1.88	1.90	1.88	1.90	1.91

Der var ingen signifikante ($P > 0.05$) forskelle mellem gennemsnitsværdierne i samme linje.

ge prolaminfraktion primært er lokaliseret i endospermen. Men da endospermen er nærmest træstoffri, vil dette protein have en høj fordøjelighed. Den lavere fordøjelighed af såvel protein som energi i de ydre dele af kernen kan sandsynligvis forklares ved, at træstof har en lav fordøjelighed og at protein bundet til fibre i træstoffractionen vil være svært tilgængelig. I denne undersøgelse var forskellen i proteinets fordøjelighed dog kun 4% enheder lavere i hel hvede end i mel med en udmalingsgrad på 66%. Årsagen til, at der ikke var nogen direkte sammenhæng mellem lysinindholdet i de enkelte mel og proteinets biologiske værdi, kan skyldes, at lysinindholdet var så lavt i de fine mel, at rotterne havde en meget lille tilvækst, hvorfor den biologiske værdi stort set blev målt på vedligeholdelsesniveau. Da lysinbehovet til vedligehold er meget lavt, kan dette være en del af forklaringen på, at den biologiske værdi ikke aftog med det faldende lysinindhold i mel med faldende udmalingsgrad. En anden forklaring kan være, at lysin primært findes i aleuronlaget, der har en lavere fordøjelighed end den indre del af kernen.

Udenlandske forsøg tyder på, at zinkindholdet i hvedemel er for lavt til mennesker. I en tidligere undersøgelse med tilsætning af zink til de samme hvedemel fandtes imidlertid ingen effekt på hverken proteinudnyttelsen eller på tilvæksten. Det kan dog ikke udelukkes, at den lave tilvækst, på grund af den ret ringe proteinkvalitet i hvede, er en del af forklaringen på den manglende effekt af zinktilskudet. Det højere zinkindhold i leveren hos rotter fodret med mel med høj udmalingsgrad kan skyldes den bedre proteinkvalitet i disse mel.

Den højere zinkindtagelse, mere end kompenserede for den øgede udskillelse af zink med fæces hos rotter, der fik mel med høj udmalingsgrad, men den relative zinkabsorption var lavere fra de grove mel end fra de mere fine mel. Udenlandske undersøgelser tyder på, at dette skyldes fytinsyre i højere grad en fibre.

Af denne undersøgelse kan man konkludere, at ved fremstilling af hvedemel med lav udmalingsgrad fjernes en betydelig del af kernens energi og protein, desuden fjernes en endnu større del af de essentielle næringsstoffer, da disse primært findes i de ydre lag af kernen.

Tabel 6. Mineralindhold (tørstofbasis) i leveren fra rotter fodret med hvedemel med forskellig udmalingsgrad

Udmalingsgrad (%)	100	95	87	80	75	66
Tørvægt af lever (g)	0.91	0.98	0.87	0.89	0.92	1.00
Zink (ppm)	96	86	89	86	77	73
Kobber (ppm)	17.2	16.6	15.6	14.7	13.8	13.4
Jern (ppm)	622	549	594	517	522	508

Der var ingen signifikante ($P > 0.05$) forskelle mellem gennemsnitsværdierne i samme linje.