



11. FEBRUAR

NR. 453

### Vekselvirkning mellem protein – og zinkudnyttelsen hos rotter

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

I kvælstof- og zinkbalanceforsøg med rotter er effekten af proteinniveaue og proteinkvaliteten i foderet på zinkudnyttelsen forsøgt bestemt. Omvendt målttes også effekten af zinkkoncentrationen i foderet på proteinudnyttelsen. Resultaterne viste, at proteinudnyttelsen kun i ringe grad var påvirket af selv ret lave indtag af zink (3–9 ppm). Både proteinets fordøjelighed samt den biologiske værdi var dog reduceret hos rotter fodret med diæter med et lavt zinkindhold. En længere forsøgsperiode havde formodentlig resulteret i en kraftigere effekt. Foderets proteinindhold havde derimod en markant effekt på udnyttelsen af zink og på zinkaflejringen. Zinkudnyttelsen steg med stigende indhold af protein i foderet. Rotter fodret med diæter med et lavt proteinindhold synes at være ude af stand til effektivt at udnytte zink. Forsøgene viste endvidere, at zinkkoncentrationen i lårbensknoglen er et godt mål for rotternes zinkstatus, medens zinkindholdet i leveren derimod ikke synes at være egnet til fastlæggelse af zinkstatus hos rotter.

#### Indledning

Zink er et essentielt næringsstof, der indgår i en lang række enzymer, og zink er på denne måde involveret i bl.a. proteinsyntese og -nedbrydning. Zink menes at kunne være en begrænsende faktor for udnyttelsen af protein hos både dyr og mennesker, specielt når indtaget af animalsk protein er lavt. Fra forsøg med dyr er det kendt, at en alvorlig zinkmangel medfører en nedsat proteinudnyttelse og en reduceret proteinsyntese. Hvor lavt zinkindtaget skal være før proteinudnyttelsen påvirkes vides ikke, bl.a. fordi adskillige faktorer i diæten påvirker udnyttelsen af zink.

Visse aminosyrer kan fremme zinkabsorptionen, og udenlandske forsøg med rotter har vist, at zinkudnyttelsen var lav, når proteinindholdet i foderet var lavt. Andre har derimod ikke fundet nogen effekt af diætens proteinindhold på zin-

kudnyttelsen. Disse divergerende resultater skyldes formodentlig bl.a. forskelle i graden af zinkmangel samt at forskellige parametre er anvendt til fastlæggelse af dyrenes zinkstatus. Der synes altså at være en vekselvirkning mellem udnyttelsen af protein og zink. På den ene side menes zink at være nødvendig for en optimal udnyttelse af protein, og på den anden side menes protein at forbedre zinkudnyttelsen.

Formålet med denne undersøgelse var at måle effekten af marginale indtag af zink (3–9 ppm) på proteinudnyttelsen hos voksende rotter. Kasein eller kasein tilsat 1% DL-methionin blev anvendt som proteinkilde, og diæterne indeholdt en marginal (8%), en tilstrækkelig (16%) eller en overskydende (24%) mængde af protein. Kontrolrotter fik de samme diæter med tilsat zink (50 ppm).

Effekten af proteinkvalitet og -niveau på zinkudnyttelsen blev også undersøgt. Der blev udført zink- og kvælstofbalancer, og zinkindholdet i rotternes lårbensknogle og lever blev bestemt.

### Materialer og metoder

Rotteforsøgene blev udført efter afdelingens sædvanlige metodik med undtagelse af, at der blev taget specielle hensyn for at undgå zinkforurenninger. Der blev således benyttet bure af rustfrit stål samt destilleret afioniseret vand. I forsøgene målt proteinets sande fordøjelighed, den biologiske værdi samt nettoproteinudnyttelsen. Ved forsøgets afslutning blev dyrene aflivet og lårbensknoglen samt leveren blev udtaget og renset for vedhængende væv inden analyseringen. Som anført indeholdt diæterne 8, 16 eller 24% protein fra kasein eller kasein tilsat methionin, hvilket bevirkede et zinkindhold i de tre diæter på henholdsvis 3, 6 og 9 ppm. I forsøget var der endvidere 6 hold rotter, der blev fodret med de anførte diæter tilsat  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  til et totalt zinkindhold på 50 ppm.

### Resultater

Af tabel 1 fremgår det, at den sande fordøjelighed af protein fra kasein var signifikant påvirket af både zinkkoncentrationen i diæterne og af proteinniveauet. På hvert proteinniveau var proteinets sande fordøjelighed lidt lavere i de grupper, der ikke fik ekstra zink. Den laveste fordøjelighed blev målt ved et proteinniveau på 8%. Tilsætning af methionin forbedrede den sande fordøjelighed på det laveste proteinniveau.

**Tabel 1. Effekten af protein- og zinkkoncentrationen i foderet på proteinets sande fordøjelighed i kasein.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	96.8 <sup>c</sup>		
6		99.3 <sup>abc</sup>	
9			99.2 <sup>abc</sup>
50	98.3 <sup>bc</sup>	101.0 <sup>a</sup>	100.7 <sup>ab</sup>

<sup>a-c</sup> Gennemsnitsværdier med samme bogstav er ikke signifikant ( $P > 0.05$ ) forskellige.

Den biologiske værdi af kasein og af kasein + methionin faldt signifikant med proteinkoncentrationen (tabel 2 og 3).

Som forventet resulterede en højere proteinindtagelse i lavere biologiske værdier. Zinktilsætning påvirkede derimod ikke den biologiske værdi signifikant, selvom de højeste værdier blev opnået i de hold, der fik tilsat ekstra zink. Tilsætning af methionin bevirkede en stærk stigning i den biologiske værdi, når der var 8% protein i foderet.

**Tabel 2. Effekten af protein- og zinkkoncentrationen i foderet på den biologiske værdi af kasein.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	82.9 <sup>a</sup>		
6		68.4 <sup>b</sup>	
9			51.2 <sup>c</sup>
50	84.6 <sup>a</sup>	69.0 <sup>b</sup>	53.6 <sup>c</sup>

**Tabel 3. Effekten af protein- og zinkkoncentrationen i foderet på den biologiske værdi af kasein + methionin.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	95.1 <sup>a</sup>		
6		69.4 <sup>b</sup>	
9			51.3 <sup>c</sup>
50	95.6 <sup>a</sup>	68.1 <sup>b</sup>	52.3 <sup>c</sup>

**Tabel 4. Effekten af protein- og zinkkoncentrationen i foderet på tørvægt (mg) af lårbensknoglen hos rotter med kasein som proteinkilde.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	151 <sup>c</sup>		
6	166 <sup>abc</sup>	170 <sup>ab</sup>	
9	163 <sup>abc</sup>	177 <sup>a</sup>	170 <sup>ab</sup>
50	154 <sup>bc</sup>	179 <sup>a</sup>	178 <sup>a</sup>

På de højere proteinniveauer var der derimod ingen effekt af methionin, hvilket indikerer, at med 16% protein i foderet får rotterne dækket behovet for svovlholdige aminosyrer. Tilsvarende resultater fandtes for tilvæksten, idet denne var upåvirket af zinkkoncentrationen, men stærkt positivt påvirket af proteinniveauet i foderet. Den laveste tilvækst pr. 10 dage (17.6 g) blev målt hos rotter, der fik 8% protein i foderet; og tilvæksten steg til 24.0 g ved tilsætning af methionin. Ved de højere proteinkoncentrationer var tilvæksten upåvirket af methionintilsætning. Tilvæksten var 39.5 g med 16% protein og 42.4 g med 24% protein i foderet.

**Tabel 5. Effekten af protein- og zinkindholdet i foderet**

på tørvægt og mineralstofindhold (tørstofbasis) i lårbensknoglen og i leveren hos rotter med kasein + methionin som proteinkilde.

Protein (%)	8		16		24	
	3	50	6	50	9	50
<b>Lårbensknoglen:</b>						
Tørvægt (mg) .....	163	170	176	176	176	174
Total zink ( $\mu\text{g}$ ) .....	20.6 <sup>d</sup>	28.4 <sup>bc</sup>	25.0 <sup>cd</sup>	30.9 <sup>ab</sup>	26.2 <sup>bcd</sup>	34.2 <sup>a</sup>
Zink (ppm) .....	127 <sup>c</sup>	167 <sup>ab</sup>	146 <sup>bc</sup>	176 <sup>ab</sup>	149 <sup>bc</sup>	197 <sup>a</sup>
<b>Lever:</b>						
Tørvægt (g) .....	1.07 <sup>c</sup>	1.18 <sup>bc</sup>	1.37 <sup>ab</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	1.42 <sup>ab</sup>	1.47 <sup>a</sup>
Total zink ( $\mu\text{g}$ ) .....	79 <sup>c</sup>	89 <sup>bc</sup>	104 <sup>ab</sup>	111 <sup>a</sup>	110 <sup>ab</sup>	122 <sup>a</sup>
Zink (ppm) .....	74	76	76	78	77	83

Lårbensknoglens vægt var nært korreleret med tilvæksten, og dermed signifikant påvirket af proteinkoncentrationen i foderet, men ikke af zinktilsætningen (tabel 4). Vægten af lårbensknoglen var lavest hos rotter med 8% protein i foderet, og kun på dette proteinniveau bevirkede methionintilsætningen en signifikant stigning i tørvægten til en gennemsnitsværdi på 167 mg (tabel 5).

Zinkkoncentrationen i lårbensknoglen er vist i tabel 6. Såvel zinktilsætningen som proteinniveauet i foderet påvirkede zinkkoncentrationen i lårbensknoglen signifikant. Tilsvarende resultater blev opnået for det totale zinkindhold i lårbensknoglen. Zinkkoncentrationen i lårbensknoglen steg med stigende indhold af protein i foderet, og på hvert proteinniveau bevirkede zinktilskudet et højere indhold af zink i lårbensknoglen. Aflejringen af zink i knoglen var upåvirket af tilsætning af methionin til diæterne. De forskellige behandlinger påvirkede ikke indholdet af kalcium og fosfor i lårbensknoglen.

Tørvægten af leveren hos rotter på et foder med kasein som proteinkilde er vist i tabel 7. Vægten var signifikant påvirket af både proteinniveauet og zinktilsætningen. På hvert proteinniveau steg levervægten ved zinktilsætningen og ved hvert niveau af zink steg levervægten med stigende proteinniveau. Tilsvarende resultater blev opnået, når kasein + methionin blev anvendt som proteinkilde (tabel 5), men effekten af zinktilsætningen var ikke signifikant. Zinkkoncentrationen i leveren hos rotter, der fik kasein som proteinkil-

de varierede signifikant grupperne imellem, men der var ingen regelmæssig gang i tallene (tabel 8). De laveste værdier blev dog målt hos rotter fodret med 8% protein i diæterne. Når methionin var tilsat foderet, var der ingen forskelle i leverens zinkkoncentration (tabel 5). Det totale zinkindhold i leveren steg derimod signifikant med stigende proteinkoncentration i foderet med såvel kasein som kasein + methionin (tabel 9 og 5). Zinktilsætningen bevirkede også en signifikant stigning i leverens totale zinkindhold hos de rotter, der blev fodret med kasein + methionin. Når kasein alene var proteinkilden var effekten ikke signifikant.

**Tabel 6. Effekten af protein- og zinkindholdet i foderet på zinkkoncentrationen (ppm i tørstof) i lårbensknoglen hos rotter med kasein som proteinkilde.**

Zink (ppm)	Protein (%)	
	8	24
3	138 <sup>a</sup>	
6	153 <sup>ab</sup>	156 <sup>ab</sup>
9	154 <sup>ab</sup>	159 <sup>ab</sup>
50	166 <sup>abc</sup>	178 <sup>bc</sup>
		170 <sup>bc</sup>
		193 <sup>c</sup>

Den tilsyneladende absorption af zink ses i tabel 10. Der var ikke nogen signifikante forskelle mellem rotter med eller uden ekstra methionin i foderet, og resultaterne vedrørende zinkbalancerne er behandlet under et. Den tilsyneladende absorption af zink steg signifikant med stigende mængder af såvel protein som zink i foderet. Udskillelsen af zink i urinen var ret konstant, med en gennemsnitsværdi på 42  $\mu\text{g}/5$  dage for alle diæter.

Zinkudskillelsen i urinen var således uafhængig af foderets indhold af både zink og protein.

**Tabel 7. Effekten af protein- og zinkindholdet i foderet på tørvægt (g) af leveren hos rotter med kasein som proteinkilde.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	1.07 <sup>cd</sup>		
6	1.00 <sup>d</sup>	1.17 <sup>bcd</sup>	
9	1.10 <sup>bcd</sup>	1.29 <sup>bcd</sup>	1.39 <sup>abc</sup>
50	1.25 <sup>bcd</sup>	1.41 <sup>ab</sup>	1.72 <sup>a</sup>

**Tabel 8. Effekten af protein- og zinkindholdet i foderet på zinkkoncentrationen (ppm i tørstof) i leveren hos rotter med kasein som proteinkilde.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	66 <sup>cd</sup>		
6	70 <sup>cd</sup>	92 <sup>a</sup>	
9	72 <sup>cd</sup>	80 <sup>abc</sup>	88 <sup>ab</sup>
50	60 <sup>d</sup>	82 <sup>abc</sup>	73 <sup>bcd</sup>

**Tabel 9. Effekten af protein- og zinkniveau i foderet på zinkindholdet ( $\mu\text{g}$ ) i leveren hos rotter med kasein som proteinkilde.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	71 <sup>b</sup>		
6	71 <sup>b</sup>	107 <sup>a</sup>	
9	79 <sup>b</sup>	104 <sup>a</sup>	123 <sup>a</sup>
50	75 <sup>b</sup>	115 <sup>a</sup>	124 <sup>a</sup>

**Tabel 10. Effekten af protein- og zinkindholdet i foderet på den tilsyneladende absorption af zink ( $\mu\text{g}/5$  dage) hos rotter.**

Zink (ppm)	Protein (%)		
	8	16	24
3	73 <sup>a</sup>		
6	110 <sup>ab</sup>	118 <sup>ab</sup>	
9	170 <sup>b</sup>	235 <sup>c</sup>	314 <sup>c</sup>
50	272 <sup>c</sup>	833 <sup>d</sup>	1007 <sup>d</sup>

## Diskussion

Af resultaterne fremgår det, at proteinniveauet i foderet gennemgående havde en større effekt på de målte parametre end zinkindholdet. Ud fra udenlandske undersøgelser ser det ud til, at en marginal zinkmangel kan være begrænsende for proteinudnyttelsen. I denne undersøgelse fandtes kun en svag effekt på proteinets fordøjelighed ved de relativt lave zinkniveauer (3–9 ppm). Et fald i proteinets fordøjelighed skyldes formodentlig et fald i aktiviteten af carboxypeptidaser i pankreas. Også den biologiske værdi var lavere, når zinkindholdet i foderet var marginalt, hvilket formodentlig skyldes, at zink er nødvendigt ved en lang række trin i syntesen af proteiner. Men effekten af de relativt lave zinkindtag på proteinudnyttelsen var forholdsvis lille. Hertil skal siges, at proteinkilden i denne undersøgelse havde en god aminosyresammensætning, samt at forsøgsperioden var forholdsvis kort. Effekten af marginale zinkindtag må forventes at blive større, når der fodres med et protein af lavere biologisk værdi over en længere periode.

Proteinniveauet i foderet havde derimod en markant effekt på zinkabsorptionen og zinkaflejringen. Den højere zinkabsorption resulterede i højere indhold af zink i lårbensknoglen, og zinkkoncentrationen i lårbensknoglen synes således at være et godt mål for dyrets zinkstatus. Bestemmelse af zinkindholdet i leveren synes derimod ikke at være egnet til fastlæggelse af zinkstatus hos rotter.

Det er fastslået, at visse aminosyrer kan fremme zinkabsorptionen, men mekanismen bag den markante effekt af protein på udnyttelsen af zink er ikke klarlagt.