



29. DECEMBER

NR. 521

### Effekten af foderets fiberindhold på omsætningen af kvælstof, energi og mineralstoffer hos rotter med normal eller reduceret tarmflora

*S. Boisen, S. Rotenberg, N. Agergaard og I. Jacobsen*  
*Afdelingen for Dyrefysiologi, Biokemi og Analytisk Kemi*

Effekten af cellulose, pektin og sand på omsætningen af kvælstof (N), energi og mineralstoffer blev undersøgt på rotter med normal (NM) eller reduceret mikroflora (RM) i tarmkanalen. Tarmfloraen blev reduceret ved tilsætning af antibiotika (Nebacitin) til foderet.

Hos NM-rotterne reducerede cellulose fordøjeligheden af N, energi, Ca og Mg samt Ca/P forholdet i knoglerne; pektin reducerede fordøjeligheden af N og energi, medens sandet ingen effekt havde på de undersøgte fordøjeligheder.

Omsætningen af næringsstoffer hos RM-rotterne var på en række punkter forskellig fra omsætningen hos NM-rotterne. Således var fordøjeligheden af energien nedsat, men øget for mineralstoffernes vedkommende. Antibiotikaens indflydelse på N-fordøjeligheden afhang af fibertilsetningen, men den tilsyneladende biologiske værdi og nettoudnyttelsen af proteinet (kasein) var generelt øget. Desuden konstateredes hos RM-rotterne et kraftigt forøget tarmindehold – især i blindtarmen, øget vægt af den tømte blindtarm og reduceret vægt af lever og kropsfedt.

#### Indledning

Næringsstoffernes fordøjelighed og omsætning i enmavede dyr er påvirket af såvel foderets sammensætning, herunder fiberindholdet, som af den mikrobielle omsætning i blind- og tyktarmen.

Plantefibre omfatter en række forskellige polymere stoffer, der ikke kan nedbrydes af tarmkanalens egne enzymer, men som i forskellig grad kan forgæres af bakterierne i blind- og tyktarmen. Således omsættes pektin næsten fuldstændigt, hemicellulose er også forholdsvis omsættelig, medens cellulose kun omsættes i ringe grad, og lignin er normalt ikke omsættelig.

Tarmfloraens aktivitet er næsten altid begrænset af energiforsyningen. Energien fås fra forgæringen af de kulhydrater, der ikke er omsat i

tyndtarmen, dvs. plantefibre fra foderet og mucopolysakkarider fra tarmvæggen. Ved forgæringen dannes flygtige fedtsyrer, der kan optages og udnyttes energetisk af værtsdyret.

De fleste undersøgelser over plantefibres indflydelse på næringsstoffernes fordøjelighed har været udført med almindelige fodermidler. Disse har imidlertid dels et meget heterogent indhold af de forskellige fibre, dels er der til disse fibre bundet lavt fordøjelige proteiner samt mange andre stoffer, der kan indvirke på absorptionen, bl.a. fytinsyre, der har en stærk bindingskapacitet til kationer.

Formålet med nærværende arbejde var at studere effekten af henholdsvis cellulose, pektin og sand på omsætningen af kvælstof, energi og mine-

ralstoffer hos voksende rotter under indflydelse af en normal eller reduceret mikroflora i tarmkanalen.

### Materialer og metoder

Undersøgelsen blev udført på 40 SPF Wistar hanrotter, der vejede 170–180 g ved forsøgets start. Rotterne blev anbragt i individuelle bure og fodret ad libitum med en fuldfoderblanding, der var sammensat af oprensede næringsstoffer, og som hos kontrolholdet bestod af 65% autoklavret kartoffelstivelse, 13% kasein, 7% sojaolie, 6% rørsukker, 4% cellulose samt mineral- og vitaminblandinger. I de færdige foderblandinger udgjorde calcium 0.5%, fosfor 0.4% og magnesium 0.06%. Halvdelen af rotterne fik desuden tildelt 0.7% Nebacitin (1/3 Neomycinsulfat + 2/3 Bacitracin), der er et antibiotikum, som ikke absorberes i tarmkanalen og som ifølge tidligere undersøgelser reducerer tarmfloraens aktivitet med 80–90%. Disse rotter benævnes RM (reduceret mikroflora), medens de øvrige benævnes NM (normal mikroflora). De 2 hold blev yderligere inddelt i hver 4 undergrupper: en kontrolgruppe (gruppe K) samt 3 andre grupper, hvor 10% kartoffelstivelse blev udskiftet med hhv. cellulose (gruppe C), pektin (gruppe P) eller sand (gruppe S). Foderoptagelsen samt fæces- og urinudskillelsen blev registreret i 5 dage efter en forperiode på ligeledes 5 dage, og prøver af foder, fæces og urin blev analyseret for N, energi og mineralstoffer.

### Resultater

Som det fremgår af tabel 1, er foderoptagelse, tilvækst og slutvægt kun i mindre grad påvirket af tilsætningen af såvel fibre som antibiotika. Der er dog en tendens til, at fibre øger tilvæksten hos NM-rotter, og at Nebacitin øger tilvæksten hos rotter, som ikke har fået ekstra fibertilsetning i foderet. Disse forskelle skyldes dog udelukkende en øget opfyldning af mave-tarmkanalen, idet kropsvægten af de slagtede dyr uden mave-tarmindholdet i virkeligheden er upåvirket af fibertilsetningen og signifikant lavere hos RM-rotterne. Også andre ændringer i kroppens sammensætning som følge af fiber- og antibiotikatilsætninger kan konstateres. Således var levervægten signifikant lavere hos RM-rotterne. Det samme gjaldt for vægten af epididymal fedt, der er et indeks for total kropsfedt. Til gengæld var vægten

af tyndtarmen lidt forøget og af blindtarmen kraftigt forøget i RM-rotterne. Effekten af pektin var stort set den samme som af Nebacitin, blot i nogle tilfælde endnu mere udtalt (tabel 1).

Tabel 2 viser, at protein- og energiomsætningen påvirkes af såvel fibre som antibiotika. Den tilsyneladende fordøjelighed af N blev reduceret af cellulose og i endnu højere grad af pektin. Nebacitin havde ingen virkning på proteinfordøjeligheden i gruppe K, men reducerede den i gruppe C og S og øgede den i gruppe P. Den tilsyneladende biologiske værdi (BV) af proteinet (kasein) blev reduceret af cellulose, men øget af pektin hos NM-rotterne. Nebacitin øgede BV i alle grupper, dog kun lidt hos cellulosefodrede rotter.

Den tilsyneladende fordøjelige energi (DE) var væsentligt nedsat i gruppe C, men kun i ringe grad i gruppe P hos NM-rotterne. Nebacitin reducerede DE i alle grupper, dog mest i gruppe P-RM. Alligevel var DE i denne gruppe betydeligt højere end i gruppe C-RM.

Fordøjeligheden af calcium og magnesium var hos NM-rotterne reduceret af cellulose, men upåvirket af pektin. Derimod havde foderets fiberindhold ingen indflydelse på fordøjeligheden af fosfor i disse dyr (tabel 3). Nebacitin øgede fordøjeligheden af alle tre mineralstoffer i gruppe K, men havde ingen virkning i gruppe C. Derimod gav Nebacitin anledning til en kraftig forøget fordøjelighed af fosfor i gruppe P, medens fordøjeligheden af alle tre mineralstoffer blev reduceret i gruppe S.

### Diskussion

Den betydelige forøgelse af tarmindeholdet hos rotter med reduceret mikroflora er formentlig resultatet af en nedsat muskelspænding i blind- og tyktarmen og deraf følgende nedsat peristaltik og passagehastighed, som medfører en gradvis op-hobning af indholdet.

Plantefibrenes reducerende virkning på den tilsyneladende N-fordøjelighed er almindelig kendt, men årsagen er omdiskuteret. Således antages fibrenes adsorptionsevne til foderproteiner og fordøjelsesenzymer, samt pektinernes geldannende evne, at spille en rolle. Nye undersøgelser tyder dog på, at foderproteinets fordøjelighed ikke påvirkes af fibrene, medmindre proteinet er bundet til fiberfraktionen. Den væsentligste årsag til en nedsat tilsyneladende N-fordøjelighed er derfor normalt et øget tab af endogent protein i

**Tabel 1. Effekten af fibre og tarmflora på forskellige vægtparametre hos voksende rotter**

	Normal mikroflora (NM)				Reduceret mikroflora (RM)				Variationsanalyse		
	K	C	P	S	K	C	P	S	F <sup>1)</sup>	M <sup>2)</sup>	I <sup>3)</sup>
Foderoptagelse, g/d	14.6	16.3	15.7	16.3	14.9	14.2	14.5	16.1	–	–	–
Tilvækst, g/d	3.8	4.2	4.3	4.4	4.4	3.5	3.8	4.9	–	a <sup>4)</sup>	b <sup>5)</sup>
Levende vægt, g	210	214	216	214	218	208	210	216	–	–	–
Indhold: mave+tarm, g	9	14	17	10	21	17	21	18	b	a	a
Tom kropsvægt, g	201	200	199	204	197	191	189	198	–	b	–
Lever, g/100 g l.v.	5.2	5.1	5.1	5.1	4.9	5.0	4.5	4.9	–	b	–
Epididymal fedt, g/100 g l.v.	1.2	1.3	1.0	1.2	0.9	1.1	0.6	0.8	b	b	–
Tyndtarm, g/100 g l.v.	2.1	2.1	3.0	2.1	2.4	2.2	3.0	2.3	b	–	–
Blindtarm, g/100 g l.v.	0.35	0.37	0.74	0.37	0.66	0.56	0.90	0.63	b	b	–

1) Fodereffekt

2) Tarmfloraens effekt

3) Vekselvirkningen mellem foder og tarmflora

4) P<0.05

5) P<0.01

**Tabel 2. Effekten af fibre og tarmflora på protein- og energiomsætningen hos voksende rotter**

	Normal mikroflora (NM)				Reduceret mikroflora (RM)				Variationsanalyse		
	K	C	P	S	K	C	P	S	F	M	I
Tilsynel. N fordøjelighed, %	92.1	90.4	88.7	92.6	92.3	88.3	91.1	90.5	a	–	b
Tilsynel. biologisk værdi, %	66.2	63.7	72.6	67.1	75.7	67.4	74.7	72.9	b	b	–
Nettoproteinudnyttelsen, % <sub>N</sub>	61.0	57.6	64.4	62.1	69.8	59.6	68.1	66.0	b	b	–
Fordøjelig energi, %	92.3	82.4	90.8	92.0	91.2	81.3	87.5	90.0	b	b	b
Kvælstofaflejring, mg/d	170	178	204	202	203	174	207	236	a	b	b
Fordøjelig energi, kJ/d	251	249	263	253	255	215	236	257	–	–	a

Se fodnote til tabel 1.

**Tabel 3. Effekten af fibre og tarmflora på mineralstofomsætningen hos voksende rotter**

	Normal mikroflora (NM)				Reduceret mikroflora (RM)				Variationsanalyse		
	K	C	P	S	K	C	P	S	F	M	I
<i>Calcium:</i>											
Tilsynel. fordøjelighed, %	64.5	59.3	65.0	64.3	70.7	60.7	70.0	59.1	b	–	–
Tilsynel. udnyttelsesgrad, %	63.8	59.1	64.4	63.7	70.1	59.9	69.4	58.6	b	–	–
Aflejring, mg/d	47.9	47.7	50.4	51.8	51.6	42.3	50.1	49.1	–	–	–
<i>Magnesium:</i>											
Tilsynel. fordøjelighed, %	71.6	65.7	70.7	70.0	76.3	64.3	68.0	66.0	–	–	–
Tilsynel. udnyttelsesgrad, %	25.0	23.9	26.3	25.3	23.3	21.5	22.4	24.0	–	–	–
Aflejring, mg/d	2.1	2.2	2.3	2.3	2.0	1.7	1.9	2.3	–	–	–
<i>Fosfor:</i>											
Tilsynel. fordøjelighed, %	70.7	69.7	70.1	69.8	76.0	68.7	89.3	66.1	b	–	b
Tilsynel. udnyttelsesgrad, %	58.6	55.1	59.7	57.3	63.5	50.8	67.8	53.0	b	–	–
Aflejring, mg/d	32.1	32.9	35.4	35.2	34.8	26.7	36.5	32.1	b	–	–

Se fodnote til tabel 1

form af fordøjelsessekreter og tarmepitelceller. Resultaterne i dette arbejde tyder imidlertid på, at mikrofloraen også kan spille en rolle, idet pektinets reducerende effekt på N-fordøjeligheden ophæves af Nebacitin, hvilket kan forklares ved, at pektin leverer energi til en øget mikrobiel proteinsyntese i NM-rotterne. Kvælstoffet hertil skaffes fra bakteriernes  $\text{NH}_3$ -produktion i forbindelse med nedbrydning af ikke-absorberet protein i tarmindholdet og af urea, der diffunderer fra blodet ind over tarmvæggen. På den anden side synes mikrofloraen at have en generel nedsættende effekt på den tilsyneladende biologiske værdi af kaseinet. Dette kan forklares ved, at en del af den bakterielle  $\text{NH}_3$ -produktion fra tarmindholdets protein diffunderer ud i blodet, hvorefter det omdannes i leveren til urea, der udskilles med urinen.

Den mikrobielle omsætning i blind- og tyktarmen har således indflydelse på kvælstoffets udskillelsesvej via fæces eller urin, men kan også tænkes at have andre vigtige fysiologiske virkninger. F.eks. kan den reducerede levervægt hos RM-rotterne være et udtryk for et nedsat behov for afgiftning af visse mikrobielle slutprodukter, såsom  $\text{NH}_3$  og aminer.

Ved ad libitum fodring synes foderoptagelsen at blive reguleret af foderets omsættelige energi, således at en lavere energikoncentration i foderet (højere fiberindhold) øger foderoptagelsen. Det er endvidere velkendt, at fibre generelt øger passagehastigheden.

Den reducerede optagelse af fordøjelig energi i gruppe C-RM og i nogen grad i gruppe P-RM kan derfor skyldes den nedsatte muskelspænding og peristaltik hos dyr med reduceret mikroflora. Herved sker der en opfyldning af hele mave-tarmkanalen, hvorved appetitten nedsættes.

Absorptionen af mineralstoffer finder hovedsageligt sted i tyndtarmen, men nyere undersøgelser har vist, at der også kan foregå en betydelig absorption i blind- og tyktarmen af kalcium og fosfor, samt at magnesium absorberes fortrinsvis i disse tarmafsnit.

Cellulosens reducerende effekt på kalciumfordøjeligheden skyldes sandsynligvis en stærk adsorptionseffekt. En tilsvarende effekt af pektin, hvis galacturonsyre-enheder kan binde kalcium og magnesium ved stærke ionbindinger, finder man derimod ikke, da pektin nedbrydes praktisk taget fuldstændigt i blind- og tyktarmen. Cellulosens reducerende effekt på kalciumfordøjeligheden afspejledes tydeligt i et signifikant reduceret Ca/P forhold i lårbensknoglen fra gennemsnittet på 1.98 til 1.94 i de cellulosefodrede rotter. Kalcium og magnesium kan danne uopløselige salte med fosfor i tarmkanalen og dermed reducere fosforabsorptionen. Den kraftigt forøgede fosforabsorption i gruppe P-RM kan derfor forklares ved at kalcium i dette tilfælde bindes til unedbrudt pektin.

Den generelt øgede absorption af mineralstoffer hos kontrolrotter med reduceret mikroflora skyldes formentlig en nedsat passagehastighed hos disse dyr.

Den reducerede absorption af mineralstoffer i gruppe S-RM er utvivlsomt forbundet med en reduceret absorption af kvælstof og energi i denne gruppe og er formentlig forårsaget af en vis ødelæggelse af slimhindens celler på grund af sandets slibende effekt. Da der ikke er nogen tilsvarende reduktion af absorptionen i gruppe S-NM, må der være tale om en ændret morfologi i tarmvæggene hos RM-rotterne. Dette er i overensstemmelse med andre undersøgelser, der har vist, at den fornyelse, der hele tiden sker af slimhindens celler i tarmkanalen hos normale rotter, er kraftigt reduceret i kimfrie dyr.

Det kan således konkluderes, at såvel fibre som tarmfloraen påvirker omsætningen af næringsstoffer hos rotter. Bestemmelse af mikrofloraens direkte effekt kompliceres imidlertid af de betydelige ændringer, der opstår i tarmkanalen, når den mikrobielle aktivitet reduceres. Disse ændringer påvirker ikke kun næringsstoffernes absorption men også stofomsætningen i den øvrige del af kroppen.