



23. JUNI

NR. 667

Omregningsfaktorer fra kvælstof til protein i foderstoffer

Sigurd Boisen og Steen Bech-Andersen

Centrallaboratoriet

Bjørn O. Eggum

Afdelingen for dyrefysiologi og biokemi

Indholdet af Kjeldahl-N, protein-N, amid-N og protein blev bestemt i syv almindelige foderstoffer (skummetmælkspulver, byg, græsmel, soyaskrå, fiskemel, ærter samt kød- og benmel). På grundlag heraf blev omregningsfaktorerne fra 1) protein-N (eksklusivt amid-N) til protein, 2) protein-N (inklusivt amid-N) til protein og 3) total-N (Kjeldahl-N) til protein beregnet. Ved alle 3 beregningsmåder var der en betydelig variation i omregningsfaktorerne for de forskellige foderstoffer. I 1. tilfælde fordelte de sig omkring 6,25 (fra 5,53 i kød- og benmel til 6,91 i skummetmælkspulver), og i 2. tilfælde var de alle under 6,25 (fra 4,88 i kød- og benmel til 6,13 i skummetmælkspulver). I 3. tilfælde, der svarer til den beregningsmåde, der normalt anvendes til bestemmelse af foderstofferne proteinindhold, var omregningsfaktorerne endnu lavere (fra 4,38 i græsmel til 5,75 i skummetmælkspulver).

På baggrund af de fundne resultater kan det konkluderes, at anvendelsen af en generel omregningsfaktor på 6,25 fra kvælstof til protein i foderstoffer bør tages op til ny vurdering.

Indledning

Foderstoffernes proteinindhold har igennem mange år været bestemt på grundlag af kvælstofindholdet bestemt ved Kjeldahl-metoden og faktoren 6,25 (råprotein = $N \times 6,25$) ud fra den antagelse, at proteinet indeholder 16% kvælstof. Det herved bestemte råproteinindhold vil dog ofte være væsentligt forskellig fra det faktiske proteinindhold af 2 grunde:

1. Forskellig aminosyresammensætning i proteinet.
2. Indholdet af andre N-holdige stoffer i foderstoffet.

Da anvendelsen af en korrekt omregningsfaktor er af betydning både for fremstillingen af fo-

derblandinger til enmavede dyr og for foderstoffernes prisberegning, vil indflydelsen af de ovennævnte forhold blive belyst nærmere i denne meddelelse. Undersøgelserne er foretaget på 7 almindelige foderstoffer og er baseret på nøjagtige proteinbestemmelser ud fra detaljerede aminosyreanalyser.

Materialer og metoder

De analyserede foderstoffer (skummetmælkspulver, byg, græsmel, soyaskrå, fiskemel, ærter samt kød- og benmel) var alle almindelige handelsvarer uden nærmere karakterisering.

Analyserne af aminosyrer og ammonium blev udført med en LKB-aminosyreanalysator efter

en forudgående sur hydrolyse i 6 M saltsyre i 23 timer, dog blev tryptofan bestemt fluorometrisk efter en forudgående basisk hydrolyse i en 4,2 M natriumhydroxydopløsning i 16 timer. Kvælstofanalyserne blev udført med Kjeldahl-apparat.

I forbindelse med aminosyreanalyserne indgik en række regneprogrammer, der automatisk beregner de relevante parametre. Disse omfatter A: prøvens indhold af de enkelte aminosyrer (g as/kg tørstof), B: de enkelte aminosyrers N-bidrag i procent af Kjeldahl-N (g as-N/100 g N) og C: aminosyresammensætningen (g as/100 g as).

Proteinkoncentrationen i prøven (g protein/kg tørstof) blev beregnet ved summation af A, idet der korrigeres for vægtforskellen mellem den frie aminosyre og aminosyreresten i proteinet (Mw af as - Mw af vand). Herved fås formelen: $g \text{ protein} = \sum g \text{ as}_i \times (Mw(\text{as}_i) - 18) / Mw(\text{as}_i)$, hvor as_i er en af de ialt 20 aminosyrer, der indgår i proteinet. Protein-N i procent af total-N (g as-N/100 g N) beregnes ved summation af B. Ammoniak-N i procent af total-N (g NH_3 -N/100 g N) beregnes direkte ud fra ammoniumindholdet i hydrolysatet. Amideeringsgraden beregnes ud fra formelen: $g \text{ NH}_3\text{-N} / (g \text{ asp-N} + g \text{ glu-N}) \times 100\%$.

Resultater og diskussion

Som det fremgår af tabel 1 varierer kvælstofkoncentrationen i de enkelte aminosyrer (i den del der indgår i proteinet, d.v.s. den frie aminosyre - vand) fra 8,6% i tyrosin til 35,9% i arginin.

Tabel 1. Molekylvægte^{a)}, antal af kvælstofatomer, kvælstofkoncentrationer og omregningsfaktorer fra kvælstof til de enkelte aminosyrer

Aminosyre	Molekylvægt ^{a)}	Antal N	% N	Faktor
Alanin	71,1	1	19,7	5,08
Arginin	156,2	4	35,9	2,79
Asparaginsyre	115,1	1	12,2	8,20
Asparagin	114,1	2	24,5	4,08
Cystein	103,2	1	13,6	7,35
Glutaminsyre	129,1	1	10,8	9,26
Glutamin	128,1	2	21,8	4,59
Glycin	57,1	1	24,5	4,08
Histidin	137,2	3	30,6	3,27
Isoleucin	113,2	1	12,4	8,06
Leucin	113,2	1	12,4	8,06
Lysin	138,2	2	20,3	4,93
Methionin	131,2	1	10,7	9,35
Phenylalanin	147,2	1	9,5	10,53
Prolin	97,1	1	14,4	6,94
Serin	87,1	1	16,1	6,21
Threonin	101,1	1	13,8	7,25
Tryptofan	186,2	2	15,0	6,67
Tyrosin	163,2	1	8,6	11,63
Valin	99,1	1	14,1	7,09

^{a)} Molekylvægt (Mw) af den del der indgår i proteinet, dvs. Mw af den frie aminosyre - 18 (Mw af vand).

Heraf følger at omregningsfaktoren fra kvælstof til den enkelte aminosyre varierer fra 2,79 for arginin til 11,63 for tyrosin. Disse store forskelle medfører, at der kan være en betydelig forskel på omregningsfaktoren fra kvælstof til protein i forskellige proteinkilder.

I tabel 2 er angivet indholdet af de enkelte ami-

Tabel 2. Aminosyresammensætningen (g/100 g aminosyre) i forskellige foderstoffer

Aminosyre	Skummetmælkspulver	Byg	Græs-mel	Soya-skrå	Fiske-mel	Ærter	Kød- og benmel
Alanin	3,2	4,2	6,2	4,3	7,1	4,4	9,4
Arginin	3,0	5,0	5,0	7,5	6,1	8,8	8,1
Asparaginsyre	7,4	6,0	14,5	11,3	10,1	11,4	7,4
Cystein	0,8	2,2	1,2	1,5	0,8	1,7	0,5
Glutaminsyre	21,2	25,8	11,9	18,6	15,3	17,9	12,4
Glycin	1,8	4,0	5,7	4,3	6,9	4,6	20,3
Histidin	2,6	2,2	2,2	2,6	2,0	2,5	1,3
Isoleucin	5,3	4,0	5,1	4,8	5,0	4,5	2,4
Leucin	9,9	7,5	8,7	7,7	8,5	7,3	5,2
Lysin	6,5	3,5	5,3	6,3	8,0	7,1	4,5
Methionin	2,4	1,7	1,8	1,4	3,2	1,1	1,2
Phenylalanin	4,8	5,3	5,5	5,0	4,2	4,9	2,7
Prolin	9,2	11,0	5,6	5,3	4,1	4,8	11,4
Serin	5,5	4,6	5,2	5,3	4,4	5,2	4,0
Threonin	4,1	3,4	4,8	3,9	4,5	3,9	2,7
Tryptofan	1,4	1,3	1,2	1,3	1,4	1,1	1,5
Tyrosin	4,5	3,0	3,8	3,7	2,8	3,5	1,4
Valin	6,4	5,6	6,3	5,2	5,8	5,2	3,9

nosyrer i de 7 undersøgte proteinkilder, og der kan konstateres en betydelig forskel i aminosyresammensætningen. Således varierede koncentrationen (g/100 g aminosyrer) af arginin fra 3,0 i skummetmælkspulver til 8,8 i ærter, medens koncentrationen af tyrosin varierede fra 1,4 i kød- og benmel til 4,5 i skummetmælkspulver.

Foderstoffernes indhold af protein-N og protein og de dertil hørende omregningsfaktorer er angivet i tabel 3, hvoraf det fremgår, at faktoren varierer fra 5,53 i kød- og benmel til 6,91 i skummetmælkspulver. Selv om der kan konstateres en betydelig variation, synes faktoren 6,25 dog ud fra disse resultater at være en rimelig gennemsnitsværdi. Imidlertid er der ikke i disse beregninger taget højde for, at de målte koncentrationer af asparaginsyre og glutaminsyre i virkeligheden for en stor del stammer fra asparagin og glutamin, der under den sure hydrolyse forud for aminosyrebestemmelsen fraspalter ammonium og derved omdannes til de respektive syrer. Dette betyder, at protein-N er bestemt for lavt og dermed, at omsætningsfaktoren er bestemt for højt (protein-koncentrationen ændres næsten ikke, da vægten af amidgruppen (-CONH₂) er næsten identisk med vægten af syregruppen (-COOH).

Tabel 3. Omregningsfaktorer fra protein-N (eksklusivt amid-N) til protein

Proteinkilde	Protein-N (g/kg t.s.)	Protein (g/kg t.s.)	Faktor
Skummetmælkspulver .	52,7	364,2	6,91
Byg	15,4	103,5	6,72
Græsmel	19,8	127,7	6,45
Soyaskrå	60,1	378,5	6,30
Fiskemel	94,8	588,9	6,21
Ærter	30,1	184,0	6,11
Kød- og benmel	59,7	330,0	5,53

Da det frigjorte ammonium under hydrolysen synes at kunne bestemmes med rimelig nøjagtighed sammen med de frigjorte aminosyrer, er det muligt at lave en tilnærmet bestemmelse af amidringgraden af asparaginsyre og glutaminsyre (tabel 4). De derved bestemte amidningsgrader er i alle tilfælde over 50%.

Ved at inkludere det beregnede amid-N i protein-N fås et nyt talsæt (tabel 5) med samme variation i omregningsfaktorerne som i tabel 3, men på et lavere niveau, idet alle faktorer nu bliver mindre end 6,25. De herved fremkomne omregningsfaktorer giver forholdet mellem vægten af det

Tabel 4. Beregnede amidningsgrader af asparaginsyre og glutaminsyre

Proteinkilde	asp-N + glu-N (g/100 g N)	Amidnings-NH ₃ (g/100 g N)	grad (%)
Skummetmælkspulver .	18,6	10,4	56,0
Byg	18,5	12,7	69,0
Græsmel	13,6	10,9	80,5
Soyaskrå	18,9	9,9	52,5
Fiskemel	13,9	7,2	51,9
Ærter	17,4	11,7	67,6
Kød- og benmel	10,9	5,7	52,2

kvælstof, der indgår i foderstoffets proteinfraktion og vægten af proteinet, men da en proteinbestemmelse i foderstoffet normalt baseres på det totale kvælstofindhold, hvor kvælstoffet fra alle øvrige kvælstofholdige stoffer medregnes, er denne faktor imidlertid også for høj.

Tabel 5. Omregningsfaktorer fra protein-N (inklusive amid-N) til protein

Proteinkilde	Protein-N (g/kg t.s.)	Protein (g/kg t.s.)	Faktor
Skummetmælkspulver .	59,3	363,8	6,13
Byg	18,0	103,3	5,74
Græsmel	23,2	127,5	5,51
Soyaskrå	67,0	378,0	5,65
Fiskemel	103,8	588,4	5,67
Ærter	34,3	183,7	5,36
Kød- og benmel	63,7	329,8	4,88

Bidraget fra protein-N til Kjeldahl-N fremgår af tabel 6, hvor bidraget er beregnet på grundlag af såvel de direkte aminosyreanalyser som efter medregning af bidraget fra amid-N i asparagin og glutamin. En væsentlig del af det resterende kvælstof stammer i de fleste foderstoffer fra nucleinsyrer.

Tabel 6. Protein-N (procent af Kjeldahl-N)

Proteinkilde	Eksklusivt amid-N	Inklusivt amid-N
Skummetmælkspulver .	83,2	93,7
Byg	77,0	90,0
Græsmel	68,0	79,5
Soyaskrå	87,4	97,3
Fiskemel	76,5	83,7
Ærter	84,3	96,0
Kød- og benmel	84,8	90,5

Tabel 7 angiver de beregnede omregningsfaktorer fra foderrets totale kvælstofindhold til proteinindholdet. Disse faktorer ligger alle væsentligt under 6,25, svarende til at foderstoffernes proteinindhold overvurderes med op til 40% (for græs-

Tabel 7. Omregningsfaktorer fra Kjeldahl-N til protein

Proteinkilde	Kjeldahl-N (g/kg t.s.)	Protein (g/kg t.s.)	Faktor
Skummetmælkspulver	63,3	363,8	5,75
Byg	20,0	103,3	5,17
Græsmel	29,1	127,5	4,38
Soyaskrå	68,8	378,0	5,49
Fiskemel	124,0	588,4	4,75
Ærter	35,7	183,7	5,15
Kød- og benmel	70,4	329,8	4,68

mels vedkommende), når faktoren 6,25 anvendes som beregningsgrundlag. Tilsvarende vil man, ved at erstatte en foderblandings råprotein fra skummetmælkspulver med den samme mængde råprotein fra græsmel, i virkeligheden tilføre ca. 25% mindre protein.

Resultaterne i tabellerne 2-7 er alle baseret på en enkelt prøve af hvert foderstof. Man kan imidlertid forvente en vis variation i omregningsfaktoren for forskellige partier af samme foderstof. Således må det antages, at faktoren for byg og ærter vil være påvirket af såvel sort som af dyrkningsforholdene (især kvælstofgødsningen), medens faktoren for de øvrige undersøgte foderstoffer vil være påvirket af såvel oprindelse som tekniske produktionsbetingelser. For at få et indtryk af variationen i omregningsfaktorerne inden for

samme proteinkilde udførtes en supplerende undersøgelse med prøver fra 5 forskellige partier af de samme 7 foderstoffer (for byg var der tale om 5 forskellige sorter uden nærmere definerede dyrkningsbetingelser). Resultaterne for gennemsnit og standardafvigelse er angivet i tabel 8. Det fremgår heraf, at det som forventet ikke er muligt at angive en helt præcis omregningsfaktor for de forskellige foderstoftyper. Alligevel ville der ved anvendelse af en individuel omregningsfaktor for de enkelte foderstoffer opnås en væsentlig bedre bestemmelse af proteinindholdet end ved anvendelse af faktoren 6,25.

Da det i virkeligheden ikke er protein, men essentielle aminosyrer, de enmavede dyr har behov for, er det nødvendigt at kombinere foderstoffernes proteinindhold med proteinets aminosyresammensætning (tabel 2). Kun herved vil det være muligt, at fremstille foderblandinger med et optimalt indhold af de essentielle aminosyrer. En mere direkte metode til at opnå dette, ville imidlertid være at anvende omregningsfaktorer fra foderstoffernes indhold af kvælstof til de essentielle aminosyrer (evt. til fordøjelige essentielle aminosyrer). Muligheden herfor vil blive belyst i en kommende meddelelse.

Tabel 8. Gennemsnit og standardafvigelse (SD) af Kjeldahl-N, protein og omregningsfaktor i 5 forskellige partier fra hver proteinkilde

Proteinkilde	Kjeldahl-N (g/kg t.s.)	(SD)	Protein (g/kg t.s.)	(SD)	Faktor (%)	(SD)
Skummetmælkspulver	62,5	1,2	358,6	20,7	5,74	0,24
Byg	21,3	2,3	112,2	13,6	5,26	0,14
Græsmel	30,1	2,7	130,7	12,5	4,34	0,18
Soyaskrå	79,3	2,0	430,6	12,3	5,43	0,19
Fiskemel	123,0	3,0	589,4	17,3	4,80	0,06
Ærter	37,2	3,7	192,2	10,4	5,17	0,05
Kød- og benmel	76,1	4,1	360,3	21,1	4,74	0,05