



# ● Ny metode til bestemmelse af energiværdien i foderblandinger til svin

*Sigurd Boisen og José A. Fernández  
Afdeling for Forsøg med Svin og Heste*

● En ny metode til bestemmelse af energiværdien i enkeltfoderstoffer og foderblandinger er blevet udviklet. Metodens almengyldighed baseres på en generel sammenhæng mellem foderstoffernes in vivo fordøjelighed af energi og in vitro fordøjelighed af organisk stof, samt en forenklet beregning af foderets omsættelige energi.

De foreløbige undersøgelser af in vitro metodens robusthed viser, at den bedre end de hidtil anvendte kemiske analyser afspejler variationer i fordøjeligheden – og dermed energiværdien – i forskellige partier af samme foderstof. Desuden er

den i stand til at give en lige så sikker kontrol af blandingers energiværdi som den nugældende officielle metode. Den nye metode forudsætter i modsætning til den hidtil anvendte beregningsmetode ikke kendskab til blandingens procentiske indhold af råvarer.

Den beskrevne in vitro metode til bestemmelse af energiværdi i foder til svin kan derfor forventes 1) at blive et værdifuldt hjælpemiddel ved fremstilling af optimerede foderblandinger 2) at kunne erstatte den nugældende officielle metode til kontrol af foderblandingers energiværdi.

## Indledning

Efter ikrafttrædelsen den 22. januar 1992 af den nye fælles EF-foderstoflov har foderstof-firmaerne i Danmark fået mulighed for at

fremstille og sælge de såkaldt »lukkede blandinger«, hvortil der ikke kræves en angivelse af den nøjagtige råvaresammensætning. Da den officielle danske kontrolmetode til un-

dersøgelse af foderblandingers energiværdi netop er baseret på kendskabet til blandingsens procentiske sammensætning af råvarer, kan denne metode ikke anvendes til kontrol af lukkede blandinger.

Statens Husdyrbrugsforsøg har i flere år arbejdet med udvikling af alternative metoder til bestemmelse af energiværdien i foderblandinger til såvel svin som kvæg. For svinefoderets vedkommende har arbejdet især været koncentreret om videreudvikling af en hurtig laboratoriemetode (in vitro metode) til bestemmelse af foderets tørstof- og proteinfordøjelighed. Metoden blev beskrevet i 743. Meddelelse fra SH.

I nærværende meddelelse beskrives principperne i såvel den videreudviklede in vitro metode som metoden til beregning af foderets energiværdi. Sammenhængen mellem beregnede foderenheder opnået med henholdsvis den nugældende og nye metode belyses.

## Materialer og metoder

### Foderprøver

Omfatter over hundrede prøver af ublandede foderstoffer og foderblandinger, hvori næringsstoffernes fordøjelighed er blevet bestemt i tidligere fordøjelighedsforsøg med slagtesvin. Alle prøverne har været opbevaret ved  $-20^{\circ}\text{C}$  siden fordøjelighedsforsøgets udførelse.

### In vitro metode

Metoden efterligner svinenes fordøjelse i henholdsvis maven, tyndtarmen og blind- og tyktarmen efter følgende inkubationer (ved  $39^{\circ}\text{C}$  og konstant omrøring):

1. Ca 1 g fint formalet prøve (partikelstørrelse under 1 mm) opslemmes i 35 ml fortyndet saltsyre. Efter justering af pH til 2,0 og tilsætning af 10 mg pepsin (oprenset fra svinemaver) inkuberes i 2 timer.
2. Efter justering af pH til 6,8 og tilsætning af 50 mg pancreatin (frysetørret bugspytkirtel fra svin) inkuberes i 4 timer.

3. Efter justering af pH til 4,8 og tilsætning af en blanding indeholdende 0,5 ml Viscozym, 0,5 ml Celluclast og 0,1 ml Novozym (alle mikrobielle fiberspaltende enzymer fra Novo-Nordisk A/S) inkuberes i 18 timer. Den ufordøjede rest isoleres ved filtrering, hvorefter den først tørres og vejes og derefter foraskes og vejes.

På grundlag af indholdet af tørstof og aske i den oprindelige prøve beregnes fordøjeligheden af såvel tørstof som organisk stof.

### Beregning af foderenheder til svin (FEs)

I beregningen anvendes de samme principper, som anvendes ved beregningen af energiværdien ud fra fordøjelighedsforsøg med slagtesvin (in vivo metode):

1. Bruttoenergien (BE) bestemmes ved kalorimetri og udtrykkes i Megajoule pr kg tørstof (MJ/kg t.s.)
2. Fordøjelig energi beregnes på grundlag af BE og energifordøjeligheden, idet sidstnævnte fastlægges ud fra in vitro fordøjeligheden af organisk stof
3. Omsættelig energi (OE) beregnes på grundlag af fordøjelig energi og energitabet i urinen (UE). Idet det i in vivo metoden antages 1) at UE kan beregnes alene fra N-tabet i urinen og 2) at N-tabet i urinen udgør 50% af det fordøjede kvælstof, kan UE efter in vitro metoden tilsvarende beregnes på grundlag af in vitro ufordøjeligt kvælstof. Som angivet under Resultater og diskussion kan UE imidlertid beregnes lige så sikkert ud fra foderets totale indhold af kvælstof.

Energiværdien udtrykkes i Danmark som nettoenergi (NE), der beregnes på grundlag af en fastlagt sammenhæng til OE efter ligningen:  $NE = 0,75 \cdot OE (\text{MJ/kg t.s.}) - 1,88$ .

NE angives almindeligvis i foderenheder til svin (FEs), hvor 1 FEs er defineret som energiværdien af 1 kg byg. Idet 1 kg almindeligt byg er bestemt til at indeholde 7,72 MJ OE/kg t.s., kan FEs-værdien beregnes ud fra ligningen:

$$FEs = (0,75 \cdot OE (\text{MJ/kg t.s.}) - 1,88) / 7,72$$

**Tabel 2. Sammenhæng mellem energiværdien (FEs/100 kg tørstof) i ublandede foderstoffer og foderblandinger til svin. Beregnet efter henholdsvis den officielle metode (BFES) og in vitro metoden (IVFES) eller på grundlag af fordøjelighedsforsøg med slagtesvin (MFES)**

	n	Ligning	R <sup>2</sup>	RSD	CV
<b>Foderstoffer</b>					
	97	MFES = 0,95 * IVFES + 6,8	0,86	13,4	12,6
	97	MFES = 1,00 * BFES - 0,1	0,93	9,4	8,9
	97	BFES = 0,92 * IVFES + 10,2	0,86	12,7	12,0
	87	MFES = 1,03 * IVFES - 3,8	0,92	8,3	7,5
	87	MFES = 1,02 * BFES - 3,0	0,92	8,4	7,7
	87	BFES = 0,96 * IVFES + 5,6	0,89	9,0	8,1
<b>Byg</b>					
	10	MFES = 0,89 * IVFES + 9,9	0,92	1,0	0,9
	10	MFES = 2,97 * BFES - 236,6	0,80	1,7	1,4
<b>Solsikkekage</b>					
	6	MFES = 0,88 * IVFES + 9,7	0,97	2,2	2,8
	6	MFES = 0,49 * BFES + 40,5	0,64	7,1	8,9
<b>Foderblandinger</b>					
	36	MFES = 1,05 * IVFES - 5,5	0,90	4,3	3,7
	36	MFES = 0,98 * BFES + 0,9	0,90	4,3	3,7
	36	BFES = 1,04 * IVFES - 2,6	0,94	3,3	2,8

fremmest af variationen i foderets kvælstofindhold. Sammenhængen mellem ovenstående ligning og en mere forenklet ligning, hvor:

$$UE(\text{MJ/kg t.s.}) = 0,017 * N(\text{g/kg t.s.}) \quad (2)$$

fremgår af fig. 2. Også i dette tilfælde er korrelationen meget høj ( $r = 0,98$ ).

#### Beregning af omsættelig energi

Foderets omsættelige energi (OE) beregnes ud fra ligning (1) og (2):

$$OE(\text{MJ/kg t.s.}) = BE(\text{MJ/kg t.s.}) * (0,0116 * OM_2 - 0,191) - 0,017 * N(\text{g/kg t.s.})$$

#### Beregning af FEs

Energiværdien kan herefter omregnes til foderenheder som angivet under Materialer og metoder.

#### Sammenhæng mellem beregnede foderenheder (FEs)

Energiværdien udtrykt som FEs/100 kg t.s.

blev beregnet i op til 4 forskellige partier af 48 foderstoffer, ialt 97 foderstofpartier. Resultaterne blev sammenlignet med de beregnede energiværdier med såvel den officielle metode, der er baseret på kemiske analyser, som in vivo metoden, der er baseret på fordøjelighedsforsøg med slagtesvin (tabel 1).

En direkte sammenligning mellem den officielle metode og in vivo metoden er dog i mange tilfælde ukorrekt, eftersom tabelværdierne for næringsstoffernes fordøjelighed, som den officielle metode er baseret på, ofte stammer fra de samme foderstofpartier, som også indgår i nærværende undersøgelse. Herved favoriseres den officielle metode i forhold til in vitro metoden, når de to metoders almenlydighed skal vurderes. En sådan vurdering er alligevel forsøgt på grundlag af en række regressionsanalyser (tabel 2).

Som det fremgik af tabel 1, var der enkelte foderstoffer, der især bliver vurderet anderledes med in vitro metoden. Ved at udelade nogle af disse, nemlig 1) kartoffelprodukterne: kartoffelproteinkoncentrat, rå kartoffelstivelse og kartoffelpulver, 2) mølleriproduk-

**Tabel 1. Foderenheder (FEs/100 kg tørstof) i foderstoffer til svin. Beregnet efter henholdsvis den officielle metode og in vitro metoden eller på grundlag af fordøjelighedsforsøg med slagtesvin**

Tabel nr.	Foderstof	n	Off. metode	In vitro	In vivo	s.e. <sup>1)</sup> (in vivo)
103	Bomuldsfrøkage	3	87-90	71-92	81-86	2-5
106	Bomuldsfrøkrå	1	74	64	73	2
116	Kokoskage	1	113	110	104	3
117	Kokoskage, fedtrig	1	119	112	111	4
139	Sojaproteinkonc.	1	136	136	136	4
142	Sojaskrå	4	129-131	126-132	120-128	3-5
145	Solsikkekage	3	83-87	73-86	73-84	4
146	Solsikkekage, uafsk.	2	57	62-72	63-77	2-5
151	Rapsskrå	3	92-93	94-96	87-94	3-7
152	Rapskage	2	114-117	116-120	118-127	4-7
201	Byg	4	117-120	111-124	109-121	0-2
202	Havre	3	103-106	89-104	102-106	1-6
203	Hvede	4	128	128-132	124-129	1
204	Majs	4	133	129-135	130-140	2-4
205	Sorghum	1	128	136	134	1
207	Rug	4	123-124	123-131	123-125	0-6
208	Hestebønner	2	112-113	116-123	103-108	2-5
213	Ærter	4	119-122	114-132	112-129	2-5
302	Byg, afskallet	1	140	128	123	3
305	Bygskalmel	1	61	28	52	6
308	Havreskalmel	1	30	18	49	9
311	Hvedeklid	3	87-94	67-103	74-105	1-5
313	Hvedestivelse	1	136	142	148	1
317	Majsfodermel	4	131-135	123-131	126-142	2-4
318	Majsgluten	2	156-160	142-147	164-170	1-2
319	Majsglutenfoder	2	95-96	81-88	94-95	2-3
320	Majskim	2	142-148	136-153	117-138	2-5
323	Majsstivelse	2	135-136	137-141	140-147	1-4
335	Rugklid	2	88-89	99	86-90	5
402	Blodmel	1	128	123	129	5
405	Fiskemel, askefattig	3	148-154	132-136	141-158	2-7
412	Kød- & benmel, askef.	4	69-73	63-85	59-79	5-8
413	Kød- & benmel, asker.	1	61	44	35	5
415	Skummetmælkspulver	1	132	135	136	3
417	Vallepulver	1	114	123	114	2
507	Græsgrønmel	1	58	51	37	6
508	Grønmel	2	40-41	36-65	30-55	4-6
513	Kartoffelpulver	1	105	128	99	10
514	Kartoffelproteinkonc.	1	148	126	172	8
515	Kartoffelstivelse	2	116	63-66	118-123	3-7
517	do, hydrolyseret	1	117	139	137	2
519	Lucernegrønmel	1	41	58	49	3
524	Tapioka	4	113-119	104-129	115-127	1-2
533	Sukkerroeaffald	1	94	118	94	3
701	Halm	1	-19	-18	-19	4
702	Halm, ludet	1	18	39	21	4
703	Halm, NH <sub>3</sub> -behandlet	1	0	-4	0	4
773	Majskolbeensilage	1	114	123	127	8

<sup>1)</sup> s.e. = usikkerhed på bestemmelsen af in vivo resultater i de pågældende forsøg

## Resultater og diskussion

### Beregning af energifordøjeligheden

In vitro fordøjeligheden af organisk stof (EFOS) blev sammenlignet med energifordøjeligheden bestemt på slagtesvin (FKENG) i op til 4 forskellige partier af de almindeligste foderstoffer til svin omfattende byg, hvede, rug, havre, majs, majsfodermel, hvedeklid, tapioka, soyaskrå, rapskage, solsikkekage, kokoskage, ærter og grønmel – ialt 51 foderstofpartier.

Som det fremgår af fig. 1 er der generelt en god sammenhæng mellem FKENG og EFOS. Sammenhængen kan beskrives ved ligningen:

$$FKENG = 1,16 * EFOS - 19,1 \quad (1)$$

Den fundne korrelation er meget høj ( $r = 0,98$ ) og usikkerheden ( $rsd = 3,2$ ) er ikke meget højere end den standardafvigelse, man ofte finder på de enkelte grises energifordøjelighed.

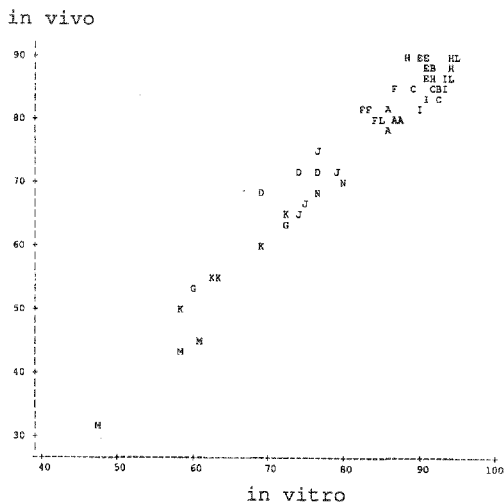


Fig. 1. Sammenhæng mellem in vivo fordøjeligheden af energi og in vitro fordøjeligheden af organisk stof i de vigtigste vegetabiliske foderstoffer til svin: byg (A), hvede (B), rug (C), havre (D), majs (E), majsfodermel (F), hvedeklid (G), tapioka (H), soyaskrå (I), rapskage (J), solsikkekage (K), ærter (L), grønmel (M) og kokoskage (N).

Det fremgår også af fig. 1, at de forskelle, der kan være i in vivo fordøjeligheden mellem forskellige partier inden for samme foderstof, oftest afspejles i in vitro fordøjeligheden.

### Beregning af energitabet med urinen

Energitalet med urinen (UE) kan som angivet i 556. Beretning fra SH beregnes ud fra ligningen:

$$UE(kJ/dag) = 97 + 37,5 * N \text{ i urin(g/dag)}$$

Denne ligning er beregnet på grundlag af balanceforsøg med slagtesvin, der har fået ca 1,6 kg fodertørstof pr dag, og kan derfor omregnes til:

$UE(MJ/kg \text{ t.s.}) = 0,06 + 0,019 * N(g/kg \text{ t.s.}) * dN$ , hvor N og dN er henholdsvis indholdet af kvælstof i foderet og den andel af kvælstoffet, der er fordøjet.

Da kvælstoffordøjeligheden er relativ konstant, bestemmes variationen i UE først og

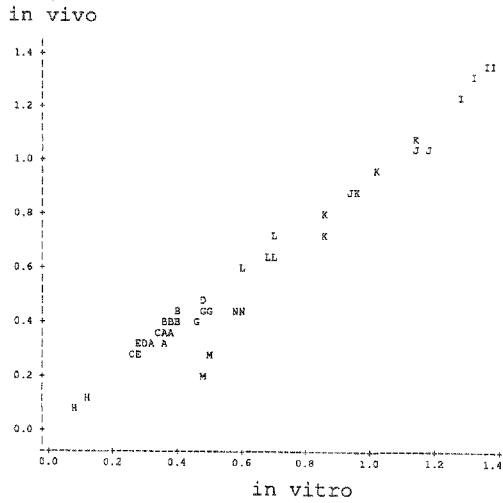


Fig. 2. Sammenhæng mellem energitabet i urin (MJ/kg tørstof) beregnet henholdsvis på grundlag af fordøjelighedsforsøg med slagtesvin (in vivo) og en forenklet ligning til brug ved energivurdering efter in vitro metoden (in vitro). Symboler som angivet i tekst til fig. 1.

terne: bygskalmel og havreskalmel og 3) sukkerroeaffald, samt de tre halmpartier, der ligger uden for de øvrige foderstoffers variationsområde i energiværdi, fås et datasæt med 87 foderstofpartier. Det fremgår af tabel 2, at i dette datasæt forklarer in vitro metoden 92% af variationen i energiværdien ( $R^2 = 0,92$ ), hvilket må anses for at være meget tilfredsstillende. Det er karakteristisk, at de foderstoffer, der stemmer bedst overens i in vitro og in vivo fordøjelighed, også er dem, der er bedst undersøgt ved fordøjelighedsforsøg med slagtesvin. Foderstoffer som kartoffelproteinkoncentrat og sukkerroeaffald, hvor tabelværdierne kun er baseret på ét fordøjelighedsforsøg, vil derfor blive undersøgt nærmere.

In vitro metoden er i højere grad end den officielle metode i stand til at afspejle variationerne i fordøjeligheden i forskellige partier af det samme foderstof. Dette antydes af tallene i tabel 1, bl.a. for solsikkekage, byg, ærter, hvedeklid og grønmel og fremgår direkte af regressionsanalyserne for to andre datasæt med partier af henholdsvis byg og solsikkekage (tabel 2).

Beregningsmetodernes anvendelighed på foderblandinger er belyst ved regressionsanalyser på et datasæt med 32 forsøgsblandinger. Som det fremgår af tabel 2, var der en god overensstemmelse mellem alle tre metoder. Variationskoefficienten (CV) mellem den nugældende kontrolmetode og in vitro metoden var mindre end 3. Eftersom mange af de undersøgte blandinger var forsøgsblandinger med en utraditionel sammensætning, kan det forventes, at forskellen vil være endnu mindre, når det gælder de almindeligt an-

vendte foderblandinger. Dette undersøges i øjeblikket nærmere i samarbejde med Steins Laboratorium og Landsudvalget for Svin.

Resultaterne fra såvel denne undersøgelse, som en undersøgelse af in vitro metodens reproducerbarhed på andre laboratorier, offentliggøres snarest.

## Konklusion

Energiværdien af de allerfleste foderstoffer kan beregnes med god sikkerhed ved anvendelse af en generel formel baseret på foderstoffets bruttoenergi og kvælstofindhold samt in vitro fordøjeligheden af dets organiske stof.

Variationsområdet i energifordøjeligheden af forskellige partier af samme foderstof afspejles væsentligt bedre i in vitro fordøjeligheden end i de kemiske analyser, der ligger til grund for den officielle metode. Energiværdien i foderstoffer vil derfor ofte kunne beregnes mere sikkert med in vitro metoden end med den officielle metode. Dette gælder specielt for forskellige kategorier af foderstoffer, der stammer fra det samme udgangsmateriale.

Energiværdien i foderblandinger kan, ud fra de foreliggende undersøgelser, beregnes lige så sikkert med in vitro metoden som den nugældende kontrolmetode, der i modsætning til in vitro metoden forudsætter kendskab til blandingens sammensætning.

In vitro metoden kan derfor forventes

- 1) at blive et værdifuldt hjælpemiddel ved fremstilling af foderblandinger,
- 2) at kunne erstatte den nugældende metode til kontrol af foderblandingers energiværdi.