

# La spectroscopie dans le proche infrarouge (NIRS) détermine avec précision la valeur nutritive des matières premières et des aliments pour porcs

Samantha Joan NOEL (1), Henry Johs. Høgh JØRGENSEN (1), Eric ROYER (2), Knud Erik BACH KNUDSEN (1)

(1) Department of Animal Science, AU Foulum, Aarhus University, DK 8830 Tjele, Denmark

(2) Pôle Technique d'Élevage, Ifip-institut du porc, 31500 Toulouse, France

[knuderik.bachknudsen@anis.au.dk](mailto:knuderik.bachknudsen@anis.au.dk)

## Near-infrared spectroscopy (NIRS) accurately predicts the nutritive value of individual components and mixed diets for pigs

Accurate feed-quality information is of utmost importance, not only because feed accounts for at least two-thirds of the cost of livestock production, but also because accurate feed-quality information is critical for optimizing performance and minimizing the climate footprint of livestock production. Current methods to determine the nutritive value of pig feedstuffs are time consuming and expensive (animal models or *in vitro* digestions) or not accurate enough to determine variation among feedstuffs of the same type (table values). Here, we used near-infrared spectroscopy (NIRS) of 619 pig feedstuffs in combination with modeling to develop rapid, inexpensive and accurate estimates of the digestibility of macronutrients (energy (DE), organic matter (OM), protein, fat, crude fiber (CF), nitrogen free extract (NFE), dietary fiber (DF) and hemicellulose) as well as metabolizable energy. Prediction models were developed for cereals, alternative ingredients (e.g. cereal substitutes, protein concentrates, cereal by-products and grass meal) and mixed diets or all pig feedstuffs together as a whole. Models were tested using an independent set of samples (n=154). Overall models predicted the digestibility of macronutrients well ( $R^2 = 0.70-0.87$  for DM, OM, protein, fat, and energy). Moderately accurate predictions ( $R^2 = 0.50-0.52$ ) were made for CF and DF. The mean relative standard error was 5%, except for the digestibility of fat, CF, DF and hemicellulose (16-25%). NIRS estimates of DE were better than those using the current Danish *in vitro* method with enzymatic digestion of OM ( $R^2 = 0.97$  vs. 0.90, respectively), and NIRS estimates of ME were better than using table values ( $R^2 = 0.94$  vs. 0.89, respectively). Thus, NIRS provides more accurate estimates of the digestibility of feedstuffs than current estimation methods.

## INTRODUCTION

L'ajustement de la variation de la valeur nutritive des aliments porcins est généralement effectué en utilisant les résultats d'analyse chimique et les valeurs moyennes de digestibilité des tables ou des équations disponibles. Cependant, à cause de l'effet des conditions de culture sur la composition des matières premières, les valeurs des tables sont insuffisamment précises pour déterminer les variations entre matières premières du même type (Just *et al.*, 1983). Actuellement, les autres méthodes pour déterminer la valeur nutritive des aliments pour porcs à l'aide de modèles animaux ou de digestions *in vitro* sont longues et coûteuses. L'objectif est ici d'utiliser le spectre proche infrarouge (NIRS) de matières premières et aliments porcins combiné avec la modélisation pour développer des estimations rapides, peu coûteuses et précises de leur composition et valeur nutritive.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Une lecture NIRS en duplicat de 773 échantillons broyés est effectuée à l'aide d'un analyseur Foss NIRS DS2500 (FOSS Analytical A/S, Silver Springs, USA). La valeur nutritive des échantillons, stockés à -20 °C, a été évaluée lors d'essais

alimentaires du système nutritionnel danois du porc (Just *et al.*, 1983) depuis 1975. Les échantillons sont tirés au sort (80:20) entre un jeu de données de calibration (n=619) pour construire les modèles de calibration, et un jeu de données indépendant de validation (n=154) pour tester les modèles. Les échantillons incluent des céréales (n=277), d'autres ingrédients (n=129) correspondant à des substituts et issues de céréales, sources de protéines, farines d'herbe et aliments complets (n=367).

Les calibrations des teneurs en macronutriments, acides aminés, des coefficients de digestibilité et de l'énergie métabolisable (EM) sont développées avec le logiciel WinISI version 4.9.0 (FOSS Analytical, Silver Springs, USA). La plage spectrale est réduite afin d'inclure les longueurs d'onde comprises entre 780 et 2 400 nm, avec des points de données tous les 0,5 nm, soit 1 698 points de données par balayage. Avant le développement du modèle, les spectres sont prétraités mathématiquement selon la méthode SNV-D (Barnes *et al.*, 1989) avec une dérivée de Savitzky-Golay.

Les modèles de calibration sont construits avec la méthode des moindres carrés partiels modifiés (mPLS) pour l'ensemble des données (Total), ainsi que pour des sous-groupes (non présentés) Céréales, Autres ingrédients et Aliments, et évalués avec leur jeu de données externe. De plus, une validation croisée est réalisée et utilisée pour déterminer le nombre de

**Tableau 1** – Performance des modèles d'estimation de composition et digestibilité pour l'ensemble des échantillons<sup>1</sup>

En g/kg sauf mention	Statistiques de calibration							Statistiques de validation				
	N	Min-Max	Moy.	ET	Facteurs	R <sup>2</sup>	SECV	N	Min-Max	R <sup>2</sup>	SEP	RPD
MMT	593	4,3 - 164,4	44,8	21,2	16	0,85	10,5	149	13,5 - 101,4	0,76	10,3	2,1
MAT	594	27,8 - 708,2	180,8	84,7	6	0,97	16,4	150	88,6 - 506,3	0,94	18,3	4,6
MG	573	3,9 - 250,2	45,4	30,1	8	0,92	9,5	140	18,0 - 209,3	0,94	8,7	3,5
CB	524	2,7 - 318,1	60,4	44,0	12	0,97	8,6	130	13,9 - 302,4	0,95	9,5	4,7
EB, kcal/kg	584	3876 - 5319	4491	178	9	0,81	87,5	146	4022 - 5284	0,84	78,9	2,3
NDF	427	9,3 - 725,0	159,3	83,1	11	0,95	23,2	110	46,6 - 449,6	0,90	23,3	3,6
Amidon	489	2,8 - 916,3	481,3	183,3	8	0,95	44,7	125	5,2 - 720,0	0,93	48,6	3,8
dMS, %	552	21 - 97,7	80,8	9,1	8	0,93	2,7	136	48,2 - 93,9	0,86	3,4	2,7
dMO, %	545	25 - 98,7	82,8	9,2	10	0,95	2,5	136	49,6 - 96	0,87	3,1	2,9
dED, %	549	23 - 98,2	80,4	9,2	12	0,94	2,7	135	49,2 - 95,7	0,86	3,2	2,8
dA MAT, %	520	21,9 - 95,9	77,4	9,1	15	0,85	4,6	130	58 - 96,7	0,58	5,7	1,6
dV MAT, %	456	11,7 - 100	82,3	9,1	13	0,90	4,0	114	14,9 - 92,9	0,75	4,3	2,1
dMG	472	14,5 - 93,8	51,4	14,3	10	0,73	9,0	122	19,3 - 94,5	0,70	8,6	1,7
dCB	419	0,3 - 100	29,9	17,1	9	0,70	11,3	100	4,1 - 78,9	0,52	9,9	1,7
dDF	395	6,5 - 100	43,8	16,6	6	0,63	11,2	102	3,9 - 85,7	0,50	10,6	1,6
EM50, kcal/kg	528	1118 - 4734	3490	399	12	0,91	142	130	2151 - 4688	0,84	162,8	2,5
Lysine	395	0,9 - 44,4	7,9	6,7	14	0,98	1,30	94	2,8 - 28,3	0,96	1,05	6,4
Méthionine	395	0,3 - 9,7	2,8	1,6	13	0,97	0,41	94	1,3 - 9,7	0,94	0,42	3,8
Cystine	395	0,3 - 11,1	3,3	1,6	8	0,95	0,44	94	1,1 - 11,8	0,94	0,44	3,6
Thréonine	395	0,8 - 27,9	6,1	4,1	16	0,99	0,71	94	3,2 - 21,8	0,96	0,68	6,1
Tryptophane	163	0,2 - 9,1	2,2	1,6	2	0,93	0,45	37	0,8 - 6	0,87	0,45	3,6

<sup>1</sup>Valeurs obtenues pour l'ensemble des 773 échantillons; R<sup>2</sup> : coefficient de détermination de la régression ; SECV : erreur type de validation croisée ; SEP : erreur type de prédiction corrigée du biais ; RPD : ratio (ET/SEP) ; d<sub>-</sub> : coefficient de digestibilité ; MMT, MAT, MG, MS, MO : matières minérales et azotées totales, grasse, sèche, organique ; ED : énergie digestible ; CB : cellulose brute ; DF : fibres alimentaires ; EM50 : Energie métabolisable corrigée pour 50 % de rétention protéique ; dA et dV : digestibilité fécale apparente et vraie.

facteurs à inclure dans le modèle. La validation croisée est réalisée en divisant les échantillons de calibration ordonnés sur leur teneur en groupes de 8, et en construisant des modèles successifs avec un groupe laissé de côté. Le R<sup>2</sup>, l'erreur type de validation croisée (SECV), l'erreur type de prédiction corrigée du biais (SEP) et le RPD (ratio entre l'ET de la population de calibration et la SEP) sont utilisés pour évaluer les performances de calibration (Sapienza *et al.*, 2008).

## 2. RESULTATS ET CONCLUSION

La performance des meilleurs modèles pour estimer la composition ou la digestibilité de chaque nutriment du groupe Total est présentée au tableau 1. Pour la plupart des constituants chimiques (MAT, MG, CB, amidon, NDF), les modèles ont une bonne correspondance entre valeurs prédites et mesurées avec un R<sup>2</sup> de prédiction de l'ordre de 0,90-0,99. Cependant, les matières minérales sont difficilement prédites (R<sup>2</sup> = 0,76). L'énergie brute n'est qu'assez bien modélisée (R<sup>2</sup> = 0,84). Les prédictions de digestibilité des nutriments sont moins précises que celles de composition chimique du fait de la plus grande incertitude des mesures de digestibilité. Les modèles de calibration sont performants pour les coefficients de digestibilité de MS, MO, et l'ED (RPD : 2,7-2,9), intermédiaires pour ceux de MAT et EM50 (RPD : 2,1-2,5), mais trop faibles pour la digestibilité de la MG et des fibres (RPD : 1,6-1,7). La variation du R<sup>2</sup> du jeu de validation suit généralement celle du jeu de calibration mais, comme prévu, à un niveau inférieur.

La SEP exprimée en pourcentage de la digestibilité moyenne mesurée pour chaque nutriment est inférieure à 5% sauf pour les digestibilités MG, CB, DF et hémicellulose (16-25% ; données non présentées). Les données obtenues par NIRS ont été utilisées pour estimer l'EM soit directement à partir de la relation entre NIRS et EM (R<sup>2</sup> = 0,94), ou en utilisant la NIRS pour prédire les caractéristiques chimiques en combinaison avec les prédictions de digestibilité des nutriments (R<sup>2</sup> = 0,94 ; EM (kJ) = 21,3×dMAT + 37,6×dMG + 19,7×dCB + 19,7×dNFE ; fractions digestibles en g/kg MS ; communication personnelle). Les deux méthodes permettent de meilleures prévisions que les valeurs des tables ou la combinaison des résultats d'analyse chimique aux valeurs des tables (R<sup>2</sup> = 0,89 et 0,91, respectivement). Les prédictions d'ED de 103 matières premières avec la NIRS (R<sup>2</sup> = 0,97) sont meilleures que les méthodes danoises actuelles de prédiction *in vitro* basée sur la digestion enzymatique de la MO appliquées sur ces 103 échantillons (R<sup>2</sup> = 0,90). Enfin, des estimations précises des acides aminés et de la MAT peuvent être effectuées à la fois sur les MP et les aliments.

La NIRS offre une estimation plus robuste de la valeur des matières premières que les méthodes d'estimation actuelles, et peut être utilisée sur une large gamme de valeurs mesurées et d'échantillons, avec une bonne précision

## REMERCIEMENTS

Cette étude du projet Feed-a-Gene a reçu le soutien du programme H2020 de l'Union européenne (n° 633631).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barnes R.F., Dhanoa M.S., Lister S.J., 1989. Standard normal variate transformation and detrending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Appl. Spectrosc.*, 43, 772-777.
- Just A., Jørgensen H., Fernández J.A., Enggaard Hansen N., 1983. The chemical composition, digestibility, energy and protein value of different feedstuffs for pigs). Report 556, National Institute of Animal Science, Denmark, 99 p.
- Sapienza D., Berzaghi P., Martin N., Taysom D., Owens F., Mahanna B., Sevenich D., Allen R., 2008. NIRS White Paper. Near Infrared Spectroscopy for forage and feed testing. [https://www.foragelab.com/Media/nirs\\_white\\_paper.pdf](https://www.foragelab.com/Media/nirs_white_paper.pdf)