

Réponse des performances de porcelets à l'apport de phénylalanine et de tyrosine dans des aliments à bas taux protéiques

Mathieu GLOAGUEN (1,2), Nathalie Le FLOC'H (1,2), Yvan PRIMOT (3), Etienne CORRENT (3), Jaap VAN MILGEN (1,2)

(1) INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

(3) Ajinomoto Eurolysine S.A.S., 153, rue de Courcelles, F-75817 Paris Cedex 17, France

Jaap.vanmilgen@rennes.inra.fr

Avec la collaboration technique de M. EUDAIMON (3), Y. JAGUÉLIN-PEYRAUD (1,2), A. STARCK (1,2), G. GUILLEMOIS (1,2), J.F. ROUAD (1,2), P. TOUANÉL (1,2), F. GUÉRIN (1,2) et A. MARCHAIS (1,2).

Réponse des performances de porcelets à l'apport de phénylalanine et de tyrosine dans des aliments à bas taux protéiques

La phénylalanine (Phe) et la tyrosine (Tyr) sont des acides aminés indispensables pour la croissance. La Tyr est fournie soit directement par l'aliment, soit indirectement par biosynthèse à partir de la Phe alimentaire. Les teneurs minimales dans l'aliment de Phe:Lys et en Tyr:Lys digestibles iléales standardisées (DIS) qui maximisent la croissance n'ont pas été estimées expérimentalement. Trois expériences ont été réalisées pour déterminer la réponse de porcelets entre 10 et 20 kg de poids vif à l'apport croissant de Phe:Lys DIS (33, 39, 46, 52, 58 et 65% ; expérience 1), de Tyr:Lys DIS (21, 27, 33, 39, 45 et 52% ; expérience 2) et à la substitution équimolaire de Tyr par la Phe (50, 43 et 36% de Tyr:(Phe+Tyr) DIS ; expérience 3). Pour chaque expérience, six animaux issus de 14 blocs ont été alimentés avec un des six régimes contenant 14,5% de MAT et 1,00% de Lys DIS et différant par l'apport de L-Phe et/ou de L-Tyr. La croissance est maximisée pour des teneurs en Phe:Lys DIS et Tyr:Lys DIS de, respectivement, 54 et 40%. Des déficiences de 10% en Phe et Tyr réduisent la croissance de, respectivement, 3,0 et 0,7%. La substitution équimolaire de Tyr par la Phe réduit quant à elle les performances d'environ 10%. En conclusion, il est recommandé de ne pas raisonner le besoin en Tyr exprimé par la somme de la Phe et de la Tyr, mais d'utiliser un ratio de 54% en Phe:Lys DIS et de 40% Tyr:Lys DIS pour maximiser la croissance.

Growth response of piglets to the supply of phenylalanine and tyrosine when offered low-protein diets

Phenylalanine (Phe) and tyrosine (tyr) are indispensable amino acids for growth. Tyrosine can be provided directly by the diet or indirectly by biosynthesis from dietary Phe. The standardized ileal digestible (SID) Phe:Lys and Tyr:Lys requirements have not been determined experimentally in piglets. Three experiments were conducted to estimate the response of piglets (10-20 kg body weight) offered diets with different levels of SID Phe:Lys (33, 39, 46, 52, 58, and 65%; experiment 1), SID Tyr:Lys (21, 27, 33, 39, 45, and 52%; experiment 2) and the effect of equimolar substitution of Tyr by Phe (50, 43, and 36% SID Tyr:(Phe+Tyr); experiment 3). For each experiment, six pigs (originating from 14 blocks of six pigs each) were assigned to one of six low CP diets (14.5% CP) sub-limiting in SID Lys (1.00%) and providing different levels of L-Phe and/or L-Tyr. The estimated SID Phe:Lys and SID Tyr:Lys for maximizing daily gain were 54 and 40%, respectively, using a curvilinear-plateau model. A 10% deficiency in Phe and Tyr reduced daily body weight gain by 3.0 and 0.7%, respectively. The equimolar substitution of Tyr by Phe resulted in a reduced growth rate of about 10%. In conclusion, it is recommended not to express the Tyr requirement as the sum of Phe and Tyr, but rather to use specific ratios for each of these amino acids to maximize growth, *i.e.*, 54% SID Phe:Lys, and 40% SID Tyr:Lys.

INTRODUCTION

L'utilisation d'acides aminés (AA) libres permet de réduire la teneur en matières azotées totales (MAT) de l'aliment et l'excrétion d'azote sans diminuer la croissance des porcelets, tant que les besoins en AA indispensables et en azote sont couverts. Bien qu'il existe une littérature abondante concernant les besoins pour la croissance en lysine (Lys), thréonine (Thr), méthionine (Met) et en tryptophane (Trp), la connaissance des besoins des autres AA indispensables reste limitée. Ainsi, les besoins en phénylalanine (Phe) et en tyrosine (Tyr), AA aromatiques et indispensables pour la croissance du porc (Mertz *et al.*, 1952), ont été très peu étudiés.

L'estimation du besoin en Phe varie de 57% (BSAS, 2003) à 61% (NRC, 1998) lorsqu'il est exprimé en digestibilité iléale standardisée (DIS) par rapport à la Lys. Cependant, ces estimations sont faites à partir d'une base de données restreinte (Mertz *et al.*, 1954 ; Robbins et Baker, 1977) constituée de résultats d'études portant sur peu de porcs (au maximum quatre par traitement) et n'ayant pas été conçues pour estimer un besoin en AA exprimé en DIS selon le concept de la protéine idéale utilisé en pratique.

La Tyr est fournie soit par l'aliment, soit indirectement par une hydroxylation irréversible de la Phe alimentaire dans le foie et les reins. Cette étape est activée par l'apport alimentaire de Tyr (Fitzpatrick, 2012). La Tyr est utilisée pour la synthèse des protéines corporelles et est également un précurseur de la mélanine, des catécholamines et des hormones thyroïdiennes. Une carence en Tyr peut se produire lorsque l'apport de Tyr alimentaire est réduit ou lorsque l'apport en Phe est insuffisant pour la synthèse de Tyr. Etant donné que la Phe peut être utilisée pour la synthèse de Tyr, le besoin est exprimé comme la somme de Phe+Tyr. Or, le besoin en Tyr n'a pas été clairement quantifié jusqu'à présent. Les besoins rapportés en (Phe+Tyr):Lys DIS varient de 93% (NRC, 2012) à 100% (BSAS, 2003). En nutrition humaine, le concept d'un besoin minimal et maximal de Phe a été utilisé pour déterminer le besoin (Pencharz *et al.*, 2007). Le besoin en Phe est minimal lorsque seul le besoin propre en Phe est concerné (le besoin en Tyr est donc couvert par l'apport alimentaire en Tyr). Le besoin en Phe est maximal lorsque son apport doit couvrir les besoins en Phe et en Tyr.

L'objectif de cette étude est d'une part, d'estimer par des dose-réponses les besoins en Phe:Lys et Tyr:Lys DIS qui maximisent les performances de jeunes porcs et, d'autre part, d'évaluer la possibilité de substitution de la Tyr par la Phe.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Pour les trois expériences réalisées successivement, les méthodes sont similaires et ont été décrites en détail par Barea *et al.* (2009). Les trois essais ont été réalisés avec des porcelets (Piétrain x (Large White x Landrace)) issus du troupeau expérimental de l'INRA de St-Gilles. Après le sevrage à 4 semaines d'âge, les porcelets ont reçu un régime commercial et ont été logés par deux dans des cages (150 x 60 cm) offrant un accès illimité à l'eau. A 5 semaines d'âge, 14 blocs de six porcs de même sexe, de poids similaire et de même origine (frères, sœurs, demi-frères ou demi-sœurs) ont été constitués. Dans un bloc, chaque porcelet a été affecté à l'un des traitements décrits ci-après et logé individuellement.

Le régime commercial post-sevrage a été progressivement remplacé par les régimes expérimentaux 10 jours après le sevrage. Ainsi à partir de 12 jours après le sevrage, les porcelets ont reçu uniquement les régimes expérimentaux. L'aliment et l'eau étaient distribués à volonté. Chaque expérience a duré 21 jours et les animaux ont été pesés au début et à la fin de la période expérimentale, après une nuit de jeûne. La consommation d'aliment a été mesurée chaque semaine après la collecte des refus alimentaires. La température ambiante a été maintenue à 28°C la semaine après le sevrage, puis a été diminuée de 1°C par semaine.

Des régimes à faibles teneurs en MAT (14,5% MAT) ont été formulés pour être sub-limitants en Lys (1,00% DIS) afin d'exprimer l'apport d'AA en ratio à la Lys selon le concept de la protéine idéale (Boisen, 2003). Des AA de synthèse ont été apportés pour couvrir ou légèrement dépasser les besoins en AA indispensables et en azote indifférencié de porcelets de 10 à 20 kg de poids vif. Les aliments apportaient (par kg) 10,1 MJ EN, 4,0 g de P digestible, 2,9 g Ca/ g P digestible et une balance électrolytique de 180 mEq.

1.1.1. Expériences 1 et 2

Deux études de dose-réponse ont été menées pour étudier l'effet de l'apport de Phe et de Tyr sur les performances du porcelet. L'objectif de l'expérience 1 était d'estimer le besoin en Phe:Lys DIS dans les conditions d'un apport supposé suffisant en Tyr. Le régime de base (Tableau 1) fournissait 53% de Tyr:Lys, ce qui correspond à 155% du besoin proposé par le NRC (1998). Les porcelets ont reçu l'un des six aliments expérimentaux formulés pour apporter des niveaux croissants de Phe:Lys DIS (33, 39, 46, 52, 58 et 65%) par l'ajout de L-Phe à un régime de base limitant en Phe. La même approche a été utilisée dans l'expérience 2 pour déterminer le besoin en Tyr via l'utilisation de six régimes apportant 21, 27, 33, 39, 45 et 52% de Tyr:Lys DIS obtenus par l'ajout de L-Tyr à un régime de base limitant en Tyr. Dans l'expérience 2, le niveau de Phe correspondait au besoin de Phe:Lys DIS estimé dans l'expérience 1. Pour chaque expérience, deux lots d'aliments ont été fabriqués, un avec le niveau basal en AA et le second avec l'apport le plus élevé en AA, pour ensuite être mélangés afin d'obtenir les rapports AA:Lys DIS souhaités.

1.1.2. Expérience 3

L'objectif de cet essai était d'étudier dans quelle mesure la Phe pouvait être utilisée pour couvrir le besoin en Tyr. L'apport alimentaire de Phe+Tyr était le premier facteur limitant pour la croissance et l'effet de la substitution de la Tyr par la Phe a été étudié à deux niveaux de Phe+Tyr qui correspondaient à 71 et 86% du besoin (Phe+Tyr):Lys DIS estimé dans les expériences 1 et 2. Les contributions relatives de Phe et de Tyr ont été modifiées en remplaçant la L-Tyr par une quantité équimolaire de L-Phe. Les niveaux de Phe:Lys DIS ont été soit diminués soit augmentés de 5% pour obtenir trois niveaux de Tyr:(Phe+Tyr) (50, 43 et 36%) pour chacun des deux niveaux de (Phe+Tyr):Lys DIS.

1.2. Analyses de laboratoire

Les teneurs en matière sèche et MAT (NF V18-100) ont été mesurées pour chaque régime. En complément, l'énergie brute (ISO 9831) des régimes a été analysée et les teneurs en AA totaux et en AA libres ont été déterminées par le laboratoire d'Ajinomoto Eurolysine S.A.S. (Amiens, France) par chromatographie par échange d'ions (JLC-500 / V AminoTac Amino Acid Analyzer, Jeol, Croissy-sur-Seine, France).

Tableau 1 – Composition des régimes expérimentaux.

Expérience	1		3	
	Basal	Basal	71% du besoin en Phe+Tyr	86% du besoin en Phe+Tyr
Matières premières, %				
Blé tendre	50,00	50,00	50,00	50,00
Orge	28,40	28,40	28,40	28,40
Amidon de maïs	5,75	6,14	5,99	5,97
Huile de tournesol	1,34	1,00	1,15	1,15
L-Lysine HCl	1,00	1,00	1,00	1,00
L-Thréonine	0,49	0,49	0,49	0,49
L-Tryptophane	0,15	0,15	0,15	0,15
DL-Méthionine	0,35	0,35	0,35	0,35
L-Valine	0,42	0,42	0,42	0,42
L-Histidine	0,18	0,18	0,18	0,18
L-Isoleucine	0,31	0,31	0,31	0,31
L-Leucine	0,59	0,59	0,59	0,59
L-Phénylalanine	-	0,21	0,05	0,13
L-Tyrosine	0,36	-	0,08	0,14
L-Arginine	0,11	0,11	0,11	0,11
L-Glutamate	4,20	4,30	4,38	4,26
L-Glycine	0,56	0,56	0,56	0,56
L-Proline	0,20	0,20	0,20	0,20
Phytase	0,02	0,02	0,02	0,02
Bicarbonate de sodium	1,30	1,30	1,30	1,30
Sel	0,45	0,45	0,45	0,45
Carbonate de calcium	2,14	2,14	2,14	2,14
Phosphate bicalcique	1,20	1,20	1,20	1,20
Complément oligo-vitaminique	0,50	0,50	0,50	0,50
Caractéristiques nutritionnelles¹				
Matières azotées totales, %	14,76	14,32	14,24	14,60
Energie métabolisable, MJ/kg ²	13,66	13,75	13,83	13,77
Energie nette, MJ/kg ²	10,69	10,76	10,82	10,78
Lysine (Lys), %	1,07	1,07	1,06	1,07
Phénylalanine (Phe), %	0,40	0,58	0,42	0,49
Tyrosine (Tyr), %	0,56	0,24	0,30	0,35
Lys DIS, % ³	1,01	1,01	1,01	1,02
Phe DIS, % ³	0,35	0,53	0,38	0,45
Tyr DIS, % ³	0,54	0,21	0,27	0,32

¹ Valeurs analysées et ajustées à 88% de matière sèche.

² Les teneurs en énergie métabolisable et nette ont été calculées d'après Noblet et al. (1994).

³ Digestibilité iléale standardisée (DIS) calculée à partir des analyses d'acides aminés et des valeurs DIS d'après Sauvante et al. (2002).

1.3. Analyses statistiques

Les données ont été analysées séparément pour chaque expérience en utilisant la procédure MIXED (SAS Inst Inc., Cary, NC, version 9.2) et le modèle inclut comme effets fixes : la teneur en Phe:Lys dans l'expérience 1, la teneur en Tyr:Lys dans l'expérience 2, et les teneurs en Tyr:(Phe+Tyr), en (Phe+Tyr):Lys et leurs interactions dans l'expérience 3. Le bloc a été pris en compte comme un effet aléatoire.

La réponse de la vitesse de croissance à l'apport de Phe et de Tyr a été analysée par régression avec un modèle curvilinéaire-plateau en utilisant la procédure NLIN de SAS (Robbins *et al.*, 2006). Le modèle a été paramétré pour inclure un plateau différent pour chaque bloc, la concentration minimale en AA DIS pour atteindre le plateau (estimation des besoins) et la réponse à une réduction de l'apport de 10% par rapport au besoin estimé.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La plupart des porcelets ont été en bonne santé tout au long des expériences. Les quelques diarrhées, sans relation

apparente avec les régimes, ont fait l'objet d'un traitement avec de la colistine par voie orale (CEVA Santé Animale, Libourne, France). Dans les expériences 2 et 3, un porc a été retiré de l'étude en raison d'une faible consommation d'aliment au cours de la période d'adaptation. Les valeurs analysées des aliments sont cohérentes avec les valeurs attendues (Tableau 1).

Dans l'expérience 1, la consommation moyenne journalière (CMJ), le gain moyen quotidien (GMQ) et l'efficacité alimentaire (EA) sont plus élevés lorsque le rapport Phe:Lys DIS augmente de 33 à 46% pour rester stable par la suite ($P < 0,01$; Tableau 2). Les besoins estimés en Phe:Lys DIS étaient de 54,8, 54,2 et 52,6% pour respectivement la CMJ, le GMQ et l'EA (Tableau 3). Les valeurs des plateaux des différents blocs d'animaux variaient de 597 à 748 g/j pour les CMJ, de 366 à 468 g/j pour les GMQ et de 0,57 à 0,69 g/g pour l'EA. Une réduction de 10% de l'apport de Phe par rapport aux besoins diminue, respectivement, la moyenne de la CMJ, le GMQ et l'EA de 1,8, 3,0 et 1,7%.

Dans l'expérience 2, une augmentation de l'apport de Tyr:Lys DIS améliore la CMJ et le GMQ ($P < 0,01$) mais pas l'EA (Tableau 2). La CMJ et le GMQ sont maximisés à,

Tableau 2 – Effet de l’apport de Phe:Lys digestible idéale standardisée (expérience 1) ou de Tyr:Lys DIS (expérience 2) sur les performances de porcelets entre 10 et 20 kg de poids vif¹.

Phe:Lys DIS, % ²	34	38	45	52	55	64	ETR ¹	P ¹
CMJ, g/j ³	521 ^a	525 ^a	705 ^b	694 ^b	675 ^b	686 ^b	91	< 0,01
GMQ, g/j ³	225 ^a	283 ^a	421 ^b	416 ^b	416 ^b	411 ^b	53	< 0,01
EA, g/g ³	0,47 ^a	0,53 ^b	0,60 ^c	0,60 ^c	0,62 ^c	0,60 ^c	0,04	< 0,01
Tyr:Lys DIS, %	21	27	30	36	41	48		
CMJ, g/j ³	689 ^a	742 ^b	776 ^{bc}	823 ^d	808 ^{cd}	795 ^{cd}	59	< 0,01
GMQ, g/j ³	390 ^a	436 ^b	453 ^{bc}	474 ^c	474 ^c	450 ^{bc}	47	< 0,01
EA, g/g ³	0,57	0,59	0,58	0,58	0,59	0,57	0,05	0,62

¹ Six régimes et 14 blocs pour chaque essai. ETR : écart-type résiduel ; P : probabilité pour l’effet régime. Sur une même ligne, les moyennes ajustées non suivies d’une même lettre sont différentes (P < 0,05). Les poids moyens initiaux étaient de 10,7 ± 1,2 kg dans l’expérience 1, et de 11,1 ± 1,1 kg dans l’expérience 2.

² Valeurs mesurées à partir des analyses d’acides aminés et des valeurs de digestibilité idéale standardisée (DIS) de Sauvant *et al.* (2002).

³ CMJ : consommation moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; EA : efficacité alimentaire.

respectivement, 42,8 et 39,7% de Tyr:Lys DIS (Tableau 3). La plage de valeurs des plateaux des blocs varient de 718 à 875 g/j pour les CMJ et de 405 à 516 g/j pour les GMQ. Réduire l’apport de Tyr de 10% par rapport au besoin entraîne une réduction de respectivement 0,6 et de 0,7% de la CMJ et du GMQ.

Comme attendu dans l’expérience 3, la réduction du niveau de (Phe+Tyr):Lys DIS de 86 à 71% du besoin dégrade la CMJ, le GMQ et l’EA (P < 0,01 ; Tableau 4). Comme indiqué précédemment, pour un niveau donné de (Phe+Tyr) DIS, la Phe est le premier facteur limitant au plus haut niveau de Tyr:(Phe+Tyr) DIS. Réduire ce niveau en-dessous de 48% entraîne une augmentation de la CMJ, du GMQ et de l’EA (P < 0,01). Réduire davantage ce rapport baisse légèrement les performances.

Tableau 3 – Estimation par un modèle curvilinéaire-plateau des besoins en Phe:Lys digestible idéale standardisée (DIS) et en Tyr:Lys DIS de porcelets entre 10 et 20 kg de poids vif¹.

Critère	CMJ ²	GMQ ²	EA ²
Besoin en			
Phe:Lys DIS, %	54,8 (5,8)	54,2 (3,5)	52,6 (3,3)
Tyr:Lys DIS, %	42,8 (5,9)	39,7 (6,4)	-
Réponse à une carence de 10%, % ³			
Phe:Lys DIS	-1,8 (0,7)	-3,0 (0,7)	-1,7 (0,4)
Tyr:Lys DIS	-0,6 (0,2)	-0,7 (0,3)	-

¹ Erreurs standards entre parenthèses.

² CMJ : consommation moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; EA : efficacité alimentaire.

³ Réponse à 90% du besoin estimé, % de la valeur plateau.

Ecart-type résiduel (Phe; Tyr) : CMJ (97; 59), GMQ (58; 47) et EA (0,045; -).

2.1. Besoin en phénylalanine

Dans l’expérience 1, afin d’estimer les besoins en Phe, un niveau élevé de Tyr qui dépassait le besoin escompté a été utilisé. Dans cette étude, un apport en « excès » de Tyr a été évité afin de limiter le déséquilibre avec les autres AA neutres à haut poids moléculaire (Phe, Trp, Leu, Ile et Val). Ce déséquilibre est responsable d’une compétition entre ces AA pour leur transport à travers la barrière hémato-encéphalique (Andersen et Avins, 1976) pouvant conduire à une réduction de la prise alimentaire (Tackman *et al.*, 1990). Les résultats de notre étude indiquent que l’apport de 54% de Phe:Lys DIS permet de maximiser la croissance de porcelets de 10 à 20 kg

de poids vif nourris avec des régimes à basse teneur en MAT. Cette estimation est inférieure à celles du NRC (1998 : 61% ; 2012 : 58%, 2012) et du BSAS (2003 : 57%). Lorsque la Tyr devient déficitaire dans l’aliment, un apport supplémentaire de Phe peut être nécessaire pour produire de la Tyr et ainsi couvrir le besoin en Tyr. Chez le rat en croissance, lorsque l’aliment apporte 0,00, 0,16, 0,32 et 0,48% de Tyr, les estimations de besoins en Phe sont respectivement de 0,70, 0,52, 0,38 et 0,38% (Stockland *et al.*, 1971). Cette variation du besoin en Phe pour répondre aux besoins en Tyr indique que le concept de protéine idéale devrait intégrer le principe d’un besoin minimal et maximal en Phe. Nous n’avons pas pu évaluer le besoin maximal en Phe dans cette étude car cela aurait nécessité l’utilisation d’un aliment dépourvu de Tyr. Chez l’Homme, il a été montré qu’en l’absence de Tyr, le besoin en Phe des enfants n’était que de 64% de celui des adultes (Hsu *et al.*, 2007). Cela indique que la Phe alimentaire ne permet pas de couvrir la totalité du besoin en Tyr et qu’une partie de ce besoin doit être assuré par l’alimentation chez les enfants. Par ailleurs, la Tyr synthétisée *de novo* à partir de la Phe alimentaire est oxydée chez les enfants (Hsu *et al.*, 2011), ce qui peut limiter la capacité de la Phe alimentaire à couvrir les besoins nutritionnels de Tyr. Par conséquent, le porcelet pourrait aussi avoir un besoin propre en Tyr et le besoin en Phe pourrait également augmenter avec le poids des animaux.

2.2. Besoin en tyrosine

Dans l’expérience 2, la réponse observée à des niveaux croissants de Tyr:Lys DIS indique que la Tyr est un AA indispensable chez le porcelet. La réduction de la croissance induite par la baisse des teneurs en Tyr:Lys DIS de 52 à 21% est uniquement due à une diminution de la prise alimentaire alors que l’EA n’est pas affectée. Le niveau de Tyr:Lys DIS qui maximise le GMQ est estimé à 40% (Tableau 3). Les performances n’augmentent pas entre 40 et 52% de Tyr:Lys DIS indiquant qu’au-dessus d’un niveau de 40% dans l’aliment, le besoin en Phe est minimal. Cela confirme que dans l’expérience 1, l’apport de 53% de Tyr:Lys DIS était supérieur au besoin maximal de Tyr alimentaire et que l’apport minimal de Phe nécessaire au maintien de la croissance des porcelets a été évalué correctement. Le niveau optimal de Tyr alimentaire correspond donc à 43% de Phe+Tyr, ce qui est plus élevé que le niveau estimé par le NRC (1998 : 35% ; 2012 : 38%), en accord avec le BSAS (2003 : 43%) et inférieure à la valeur rapportée par Robbins et Baker (1977 : 49%).

Tableau 4 – Effet de la substitution de la Tyr digestible iléale standardisée par de la Phe sur les performances de porcelets entre 10 et 20 kg de poids vif (expérience 3)¹.

(Phe+Tyr):Lys DIS, % du besoin	71			86			Statistiques			
	33	37	42	40	44	51	P			
							Ratio	Niveau	Ratio × Niveau	
Phe:Lys DIS, % ²	33	37	42	40	44	51				
Tyr:Lys DIS, % ²	33	27	22	37	32	28				
Tyr:(Phe+Tyr) DIS, %	50	42	34	48	42	35	ETR			
CMJ, g/j ³	479 ^a	680 ^{cd}	634 ^{bc}	607 ^b	731 ^d	713 ^d	85	< 0,01	< 0,01	0,24
GMQ, g/j ³	174 ^a	331 ^{bc}	303 ^b	321 ^b	412 ^d	370 ^{cd}	57	< 0,01	< 0,01	0,03
EA, g/g ³	0,36 ^a	0,49 ^{bc}	0,48 ^b	0,52 ^{cd}	0,56 ^d	0,52 ^c	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01

¹ Six régimes et 14 blocs. ETR : écart-type résiduel. Sur une même ligne, les moyennes ajustées non suivies d'une même lettre sont différentes ($P < 0,05$). Les poids moyens initiaux étaient de $11,1 \pm 1,2$ kg.

² Valeurs mesurées à partir des analyses d'acides aminés et des valeurs digestibilité iléale standardisée (DIS) de Sauvany et al. (2002).

³ CMJ : consommation moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; EA : efficacité alimentaire.

2.3. La substitution de la tyrosine par la phénylalanine

Le besoin en Tyr est couvert lorsque l'apport de Tyr alimentaire et la Tyr synthétisée à partir de l'hydroxylation de la Phe sont disponibles pour le dépôt protéique et la synthèse des hormones et neurotransmetteurs. Dans l'expérience 3, nous avons fait l'hypothèse que, lorsque le niveau de Tyr+Phe est maintenu dans le régime, le besoin en Tyr peut être couvert par un apport équimolaire de Phe. Toutefois, lorsque le niveau de Tyr:(Phe+Tyr) DIS est diminué de 42 à 35%, le GMQ a légèrement diminué et l'EA se dégrade. Cela montre qu'une substitution équimolaire de Tyr par Phe n'est pas 100% efficace pour assurer une croissance maximale. A l'inverse, Sasse et Baker (1972) ont déterminé que, sur une base molaire, la Phe avait une efficacité égale à la Tyr pour fournir de la Tyr chez des poussins. Dans notre étude, l'apport de Phe en excès ne fournit pas suffisamment de Tyr pour satisfaire le besoin en Tyr. En outre, la baisse de la croissance était indépendante du niveau de Phe+Tyr, ce qui indique que l'activation attendue de la Phe hydroxylase par la Phe et les augmentations de Tyr synthétisée à partir de Phe n'ont pas conduit à une plus grande disponibilité de la Tyr pour la croissance. On peut penser que la grande part de la Tyr synthétisée dans le foie à partir de l'hydroxylation de la Phe est dégradée dès qu'elle est synthétisée et n'est donc pas disponible pour la synthèse des protéines corporelles. En effet, Shiman et Gray (1998) ont montré chez le rat, qu'à des concentrations plasmatiques normales ou élevées de Phe et Tyr, la majorité de la Tyr synthétisée à partir de la Phe est dégradée dans les hépatocytes.

2.4. Implications pratiques

Dans nos conditions expérimentales, nos résultats indiquent que le niveau de Phe:Lys DIS dans les aliments pour porcelets peut être réduit à 54% sans affecter la croissance des animaux. Cette valeur est bien inférieure à celle proposée par les normes actuelles. Dans un régime à base de céréales et de tourteau de soja, lorsque le niveau de MAT est réduit, les apports en Ile (van Milgen *et al.*, 2012) et en His et Leu (Gloaguen *et al.*, 2013) deviennent limitant pour la croissance avant la Phe et la Tyr. Ainsi, en considérant les AA de synthèse disponibles actuellement en formulation (L-Lys, L-Thr, DL-Met, L-Trp et L-Val), il est peu probable que la Phe devienne un facteur limitant pour la croissance dans les régimes à basse teneur en protéines.

Le besoin en Tyr est généralement exprimé comme la somme de Phe+Tyr. Cette expression du besoin en Tyr suppose que la Phe peut être substituée à la Tyr sur la base du poids dans le régime pour couvrir les besoins de Tyr.

Les résultats de cette étude ont démontré qu'une substitution équimolaire de la Tyr par la Phe ne permet pas de maintenir la croissance des porcelets. Par conséquent, la somme Phe+Tyr n'est pas un critère apte à exprimer le besoin de Tyr. Par conséquent, le niveau (Phe+Tyr):Lys optimal pour maintenir la croissance chez les porcs ne serait pas constant et augmenterait lorsque l'apport de Tyr dans l'aliment diminue.

Des connaissances sur l'efficacité de la substitution de la Tyr par la Phe sont donc nécessaires avant d'appliquer un besoin Phe+Tyr dans la formulation des aliments. Par conséquent, en l'état actuel des connaissances, il serait préférable de ne pas utiliser un besoin Phe+Tyr dans la protéine idéale, mais plutôt des besoins distincts en Phe et en Tyr.

Les besoins actuels ont été définis comme les concentrations minimales en AA dans le régime qui maximisent la croissance des porcs sur la base d'un modèle curvilinéaire-plateau.

D'un point de vue économique, le niveau d'AA qui permet un profit maximum peut être différent du niveau maximisant la croissance. Ici, un déficit de 10% en Phe et de Tyr alimentaire réduit le GMQ de, respectivement, 3,0 et 0,7%.

Une carence en Phe n'a donc qu'un léger impact négatif sur ce critère, ce qui est similaire aux réponses observées pour l'His et la Leu, tandis que l'effet de la Tyr est négligeable. Cela contraste avec la réponse observée pour des déficits en Ile et Val (Gloaguen *et al.*, 2011).

CONCLUSION

Les estimations des besoins en Phe:Lys DIS et en Tyr:Lys DIS pour maximiser la croissance sont respectivement de 54 et 40%. Le remplacement de la Tyr alimentaire par de la Phe sur une base molaire ne permet pas de maintenir la croissance des porcelets. Ceci suggère que l'utilisation d'un besoin en (Phe+Tyr):Lys DIS dans la protéine idéale pour les porcs devrait être reconsidérée.

Ces données sont les premières estimations des besoins en Phe:Lys et en Tyr:Lys DIS chez le porcelet qui semblent être plus appropriées pour exprimer le besoin en ces AA.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andersen A.E., Avins L., 1976. Lowering brain phenylalanine levels by giving other large neutral amino acids. A new experimental therapeutic approach to phenylketonuria. *Arch. Neurol.*, 33, 684-686.
- Barea R., Brossard L., Le Floc'h N., Primot Y., Melchior D., van Milgen J., 2009. The standardized ileal digestible valine-to-lysine requirement ratio is at least seventy percent in postweaned piglets. *J. Anim. Sci.*, 87, 935-947.
- Boisen S., 2003. Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: J.P.F. D'Mello (Ed.), *Amino acids in animal nutrition*, 157-168. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- BSAS, 2003. Nutrient requirement standards pigs. British Society of Animal Science, Penicuik, UK, 28 p.
- Fitzpatrick P.F., 2012. Allosteric regulation of phenylalanine hydroxylase. *Arch. Biochem. Biophys.*, 519, 194-201.
- Gloaguen M., Le Floc'h N., Brossard L., Barea R., Primot Y., Corrent E. van Milgen J., 2011. Response of piglets to the valine content in diet in combination with the supply of other branched-chain amino acids. *Animal*, 5, 1734-1742.
- Gloaguen M., Le Floc'h N., Primot Y., Corrent E., van Milgen J., 2013. Response of piglets to the standardized ileal digestible isoleucine, histidine and leucine supply in cereal-soybean meal-based diets. *Animal*, 7, 901-908.
- Hsu J.W., Ball R.O., Pencharz P.B., 2007. Evidence that phenylalanine may not provide the full needs for aromatic amino acids in children. *Pediatr. Res.*, 61, 361-365.
- Hsu J.W., Jahoor F., Butte N.F., Heird W.C., 2011. Rate of phenylalanine hydroxylation in healthy school-aged children. *Pediatr. Res.*, 69, 341-346.
- Mertz E.T., Beeson W.M., Jackson H.D., 1952. Classification of essential amino acids for the weanling pig. *Arch. Biochem. Biophys.*, 38, 121-128.
- Mertz E.T., Henson J.N., Beeson W.M., 1954. Quantitative phenylalanine requirement of the weanling pig. *J. Anim. Sci.*, 13, 927-932.
- Noblet J, Fortune H, Shi X.S., Dubois S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 72, 344-354.
- NRC, 1998. Nutrient requirements of swine. 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA, 198 p.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA, 400 p.
- Pencharz P.B., Hsu J.W., Ball R.O., 2007. Aromatic amino acid requirements in healthy human subjects. *J. Nutr.*, 137 (Suppl. 1), 1597S-1598S.
- Robbins K.R., Baker D.H., 1977. Phenylalanine requirement of weanling pig and its relationship to tyrosine. *J. Anim. Sci.*, 45, 113-118.
- Robbins K.R., Saxton A.M., Southern L.L., 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *J. Anim. Sci.*, 84 (E. Suppl.), E155-E165.
- Sasse C.E., Baker D.H., 1972. The phenylalanine and tyrosine requirements and their interrelationship for the young chick. *Poultry Sci.*, 51, 1531-1536.
- Sauvant D., Perez J.-M., Tran G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. INRA Editions, Paris, 304 p.
- Shiman R., Gray D.W., 1998. Formation and fate of tyrosine: intracellular partitioning of newly synthesized tyrosine in mammalian liver. *J. Biol. Chem.*, 273, 34760-34769.
- Stockland W.L., Lai Y.F., Meade R.J., Sowers J.E., Oestemer G., 1971. L-phenylalanine and L-tyrosine requirements of the growing rat. *J. Nutr.*, 101, 177-184.
- Tackman J.M., Tews J.K., Harper A.E., 1990. Dietary disproportions of amino acids in the rat: effects on food intake, plasma and brain amino acids and brain serotonin. *J. Nutr.*, 120, 521-533.
- van Milgen J., Gloaguen M., Le Floc'h N., Brossard L., Primot Y., Corrent E., 2012. Meta-analysis of the response of growing pigs to the isoleucine concentration in the diet. *Animal*, 6, 1601-1608.