

**INFLUENCE DE L'APPORT EN ACIDES AMINÉS ESSENTIELS,
PARALLÈLEMENT À UNE RÉDUCTION DU TAUX PROTÉIQUE, SUR LA MISE EN
VALEUR DES PROTÉINES ET DE L'ÉNERGIE CHEZ LE PORC EN CROISSANCE.**

Cas particulier de la thréonine et de l'isoleucine.

présentée à

L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZURICH

pour l'obtention du titre de
Docteur ès sciences techniques

par

Blaise Jean-Paul PERREY

Ing. Agr. Dipl. EPFZ

né le 30 juillet 1963

originaire de Cernier (NE)

acceptée sur proposition de

Prof. Dr. C. Wenk, rapporteur

Prof. Dr. H.P. Pfirter, corapporteur

Dr. A. Aumaître, corapporteur

Zurich, 1995

Résumé

Lors de deux expérimentations, nous avons recherché l'influence d'une restriction de l'apport en matières azotées (MAT), parallèlement à une supplémentation différenciée en acides aminés essentiels (AAE) sur les performances zootechniques, les bilans azoté et énergétique de porcelets Large White castrés de 8 à 40kg. Chaque expérimentation comprend trois répétitions avec au total 48 animaux logés en chambre respiratoire et alimentés ad libitum avec des régimes iso-énergétiques (13.4MJ d'énergie digestible porc (EDP) par kg à 870g MS).

Au cours de la première expérimentation, les animaux sont répartis selon un schéma factoriel double, caractérisé par la concentration protéique (MAT17 et MAT13 avec respectivement 12.2 et 9.5g MAT·(MJ ED)⁻¹) et le taux de thréonine (*thr*) et d'isoleucine (*ile*) optimal (AAE+) ou non (AAE-) des régimes.

Pour la deuxième expérimentation, la concentration globale en *thr* et *ile* est différenciée avec 0.46 et 0.35 g·(MJ ED)⁻¹ (régimes *thr+/ile-*); respectivement 0.39 et 0.44 g·(MJ ED)⁻¹ (régimes *thr-/ile+*) pour des niveaux protéiques identiques à ceux appliqués antérieurement.

Au niveau des paramètres zootechniques, une différenciation de la concentration protéique; de la *thr* et/ou de l'*ile* n'a pas eu d'influence marquée sur le gain moyen et l'ingéré moyen quotidien en première (727g et 1.39kg) et deuxième (619g et 1.20kg) expérimentation. L'absence de différences inter-régimes s'explique principalement par un rapport AAE/MJ EDP voisin; des concentrations en lysine et leucine en deçà (0.68) respectivement au delà (1.03 g·(MJ ED)⁻¹) des recommandations. L'indice de consommation jusqu'à 30kg est semblable, quelque soit le taux protéique.

Une concentration protéique élevée favorise le bilan azoté, excepté lors de la phase initiale de la première expérimentation où un taux optimal en *thr* et *ile* implique, à concentration protéique équivalente, des résultats supérieurs de 0.49 et 0.31g N·(kg PV^{0.569} et j)⁻¹ pour les variantes MAT17/AAE+ et MAT13/AAE+ à ceux obtenus sans supplémentation en acides aminés MAT17/AAE- (2.65) et MAT13/AAE- (2.70g N·(kg PV^{0.569} et j)⁻¹). Cette supériorité est de 0.36g N·(kg

PV^{0.569} et j)⁻¹ lors d'une supplémentation optimale en AAE de régimes faibles en MAT (*MAT13/AAE+* vs *MAT17/AAE-*).

Les effets d'une réduction du taux de MAT dépendent de l'importance de celle-ci et de sa durée. Ils se manifestent significativement durant l'intervalle 30 à 40kg PV pour *MAT17/AAE+* vs *MAT13/AAE+* (+0.68g N·(kg PV^{0.569} et j)⁻¹). L'influence d'une différenciation *thr-ile* n'est pas clairement établie.

Le rendement azoté obtenu en première (0.62) et deuxième (0.64) expérimentation avec des régimes à faibles concentrations protéiques (*MAT13*) et quelque soit leur taux en AAE est supérieur à celui réalisé avec des variantes ayant une concentration protéique élevée (0.53 et 0.54 respectivement). Les valeurs les plus faibles sont obtenues lors d'une concentration non optimale en AAE (0.50 pour *MAT17/AAE-*) ou lors d'un déséquilibre *thr-ile* et d'une concentration protéique élevée (0.52 pour *MAT17 thr-/ile+*).

L'excrétion d'urée augmente de façon marquée en fonction du poids vif lors de concentrations MAT élevées alors qu'elle reste faible jusqu'à 30kg PV pour les autres régimes.

Concernant le bilan énergétique, les résultats moyens exprimés en MJ·(PV^{0.569} et j)⁻¹ restent dans le même ordre de grandeur, quelque soit la concentration protéique et le niveau d'AAE pour la première (*MAT17/AAE+* =1.4; *MAT17/AAE-* =1.3; *MAT13/AAE+* =1.5; *MAT13/AAE-* =1.3) et deuxième expérimentation (*MAT17 thr+/ile-* =1.1; *MAT17 thr-/ile+* =1.2; *MAT13 thr+/ile-* =1.0; *MAT13 thr-/ile+* =1.2). La métabolisation de l'énergie (m(E)) est supérieure avec de faibles concentrations protéiques (0.830) comparativement aux régimes *MAT17* (0.774). Les pertes via l'urine et le méthane sont comprises entre 2.1 et 3.7% de l'énergie digestible.

Indépendamment du taux protéique et de la concentration en AAE de la ration, le rendement énergétique global est maximum jusqu'à 20kg PV. Pour une concentration protéique équivalente, une teneur optimale en AAE permet l'obtention de résultats supérieurs de 6 à 12% durant l'intervalle 20 à 30kg PV et de 9 à 13% de 30 à 40kg PV (*MAT17/AAE+* vs *AAE-*; *MAT13/AAE+* vs *AAE-*); le meilleur résultat (0.54) étant obtenu à 20kg avec un faible taux de MAT et une concentration optimale en AAE (*MAT13/AAE+*). Une supplémentation différenciée en AAE n'influence pas les résultats de manière décisive.

Un taux élevé en MAT tend à favoriser la répartition de l'énergie nette sous forme de dépôts protéiques (RE_p), quelque soit la supplémentation en AAE. Ces régimes présentent une différence de 27 et 24g $MAT \cdot j^{-1}$ (40kg PV) vs leur homologues en AAE (première expérimentation). Les valeurs concernant la répartition de l'énergie sous forme de dépôts de graisse (RE_f) les plus élevées sont obtenues avec une supplémentation optimale en AAE de régimes peu concentrés en protéines ($MAT13/AAE+$), particulièrement durant l'intervalle jusqu'à 20kg PV où la différence est significative vs $MAT17/AAE-$ ($0.39 MJ \cdot (PV^{0.569} \text{ et } j)^{-1}$).

Lors de la deuxième expérimentation et pour ce qui concerne RE_p , une concentration élevée en MAT et optimale en *thr* permet les meilleurs résultats. Globalement, la concentration en MAT est prépondérante. Aucune influence indiscutable ne peut être imputée à un apport *thr-ile* différencié ($MAT17 \text{ thr-ile-}$ vs $MAT17/AAE+$).

Pour la première expérimentation, un taux protéique élevé diminue l'énergie métabolisable pour l'entretien (EM_e^*) de 25% ($MAT17$ vs $MAT13$); une concentration optimale en AAE entraîne une valeur EM_e^* supérieure de 15% à celle des régimes AAE-. Un taux protéique élevé induit une infériorité de l'ordre de 15% du rendement énergétique partiel pour la croissance (k_g) ($MAT17$ vs $MAT13$), tandis qu'une teneur optimale en AAE l'influence de manière positive de l'ordre de 16% ($AAE+$ vs $AAE-$).

Des tendances équivalentes sont relevées lors de la deuxième expérimentation avec des valeurs EM_e^* inférieures de 12% pour $MAT17$ vs $MAT13$; supérieures de 12% pour les régimes à concentration optimale en *thr* vs les régimes optimaux en *ile*. Les résultats de k_g sont inférieurs de 11% pour un taux protéique élevé ($MAT17$ vs $MAT13$) et une teneur optimale en *thr* a une incidence légèrement supérieure (5%) à celle réalisée avec un taux approprié d'*ile*.

Tous régimes confondus, la valeur EM_e^* s'élève à $747 \text{ kJ} \cdot (PV^{0.569})^{-1}$, tandis que k_g est de 0.68 ($r = 0.825$).

Les résultats de cette étude montrent qu'un déséquilibre dans l'apport en AAE charge le métabolisme de manière plus importante avec des régimes à concentration protéique élevée et que cette dernière influence le besoin en EM_e^* . La concentration protéique du régime semble donc première limitante pour l'obtention de bonnes valeurs RE_p à ce stade de croissance.

Summary

In 2 series of experiments, the effect of feeding low-protein diets fortified with essential amino acids (EAA) on the growth performance, carcass characteristic and nitrogen and energy balance of castrated male Large White piglets weighing from 8 to 40kg was investigated. A total of 48 animals were kept in respiration chambers and fed ad libitum with an isoenergetic feed (digestible energy, DE, 13.4 MJ/kg, dry matter 870 g/kg) to have 3 replications in both series of experiments.

In the first series of experiments, 4 diets based on 2 dietary protein levels (*CP17* and *CP13* corresponding to 12.2 and 9.5g of CP per MJ DE respectively) and either optimal (*EAA+*) or sub-optimal (*EAA-*) concentrations of threonine (*thr*) and isoleucine (*ile*) were fed to animals according to a 2 x 2 factorial design.

In the second series of experiments, the diets were formulated to contain same levels of crude protein as in the first series of experiments and 2 combinations of *thr* and *ile*. The first combination contained 0.46g *thr* and 0.35g *ile* per MJ DE (diet *thr+/ile-*) and the second combination contained 0.39g *thr* and 0.44g *ile* per MJ DE (diet *thr-/ile+*).

Lowering of dietary protein, *thr*, and/or *ile* concentration did not show remarkable effect on the average weight gain and feed intake of animals in the first (727g and 1.39kg, respectively) and second (619g and 1.20kg, respectively) series of experiments. This can be explained by a small ratio of EAA to DE, lower (0.68) and higher (1.03 g/MJ DE) concentrations of lysine and leucine, respectively, compared to recommended levels. The feed conversion efficiency up to 30kg body weight was unaffected by the dietary protein level.

Nitrogen balance was favoured by an increased dietary protein level except during the starter period of the first series of experiments. During this period, the nitrogen balance values of animals fed on high- and low-protein diets containing a sub-optimal EAA content (2.65 and 2.70 g·(kg LW^{0.569} and day)⁻¹, respectively) were increased by 0.49 and 0.31 g·(kg LW^{0.569} and day)⁻¹, respectively, when the dietary EAA content was increased to an optimal level (*EAA+* diets). With low-protein diets (*CP13/EAA+* vs *CP17/EAA-*), nitrogen balance

was increased by $0.36 \text{ g} \cdot (\text{kg LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$ when the diet was supplemented with an optimal amount of EAA.

The effect of a reduction in dietary protein level depends on the order and duration of that reduction. This effect was significant during the growth period from 30 to 40kg LW for the group *CP17/EAA+* compared to *CP13/EAA+* group ($+0.68 \text{ g} \cdot (\text{kg LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$). The effect of a differentiation of *thr* and *ile* was not clear.

Nitrogen utilisation observed with low-protein diets (*CP13*) in first and second series of experiments (0.62 and 0.64, respectively) was higher compared to high protein diets (0.53 and 0.54, respectively) regardless of the dietary EAA concentration. The lowest nitrogen balance was observed with sub-optimal EAA concentration ($0.5 \text{ g} \cdot (\text{kg LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$ for *CP17/EAA-* group) or with imbalanced *thr* and *ile* content in high protein diets ($0.52 \text{ g} \cdot (\text{kg LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$ for *CP17 thr-/ile+* group).

Urea excretion was increased with increasing level of crude protein in the diet, when animals were by 30kg lighter, thus indicating its dependency on the body weight.

Energy balance expressed as $\text{MJ} \cdot (\text{LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$ was unaffected by the dietary protein and EAA concentrations in first series of experiments (*CP17/AEE+* =1.4; *CP17/EAA-* =1.3; *CP13/EAA+* =1.5; *CP13/EAA-* =1.3) as well as in the second series of experiments (*CP17 thr+/ile-* =1.1; *CP17 thr-/ile+* =1.2; *CP13 thr+/ile-* =1.0; *CP13 thr-/ile+* =1.2). Energy metabolizability was higher with low-protein diets (0.830) as compared to *CP17* diets (0.774). Energy loss through urine and methane amounted 2.1 - 3.7% of the digestible energy.

The overall energetic efficiency was maximum up to 20kg live weight regardless of the dietary protein and EAA levels. For a given protein level, the optimal EAA content allowed to achieved 6 - 12% better result during 20 to 30kg live weight and 9 - 13% better result during 30 to 40kg live weight (*CP17/EAA+* vs *EAA-*; *CP13/EAA+* vs *EAA-*). The best result (0.54) was observed at 20kg live weight with low-protein diets containing an optimal level of EAA (*CP13/EAA+*). Two combinations of EAA in the second series of experiments did not influence the experimental results significantly.

Along with the supplementation of any of EAA concerned, an elevated dietary protein level resulted an elevated energy retention in the form of body protein (RE_p). These diets had a difference of 27 and 24g CP (40kg LW) as compared to their homogenous EAA (first series of experiments). The highest energy retention in the form of fat (RE_f) was observed with an optimal level of EAA in low-protein diets ($CP13/EAA+$) especially until 20kg LW, and this value was significantly higher as compared to that of $CP17/EAA-$ group ($0.39 \text{ MJ} \cdot (\text{LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$).

In the second series of experiments, the high-protein diets containing an optimal level of *thr* resulted the best RE_p value. Generally, the dietary protein level influenced the RE_p value but various combinations of *thr* and *ile* did not have an effect ($CP17 \text{ thr+}/\text{ile-}$ vs $CP17 \text{ thr-}/\text{ile+}$).

In the first series of experiments, high dietary protein level ($CP17$) reduced the metabolizable energy for maintenance (ME_m) by 25% as compared to $CP13$ diet. In relation to EAA- diets, the optimal level of EAA ($EAA+$) increased the ME_m by 15%. Partial energy utilisation efficiency for growth (k_g) was by 15% lower with high-protein diets as compared to low-protein diets whereas an optimal EAA level showed a positive effect of about 16% ($EAA+$ vs $EAA-$).

The same tendency could be observed in the second series of experiments too. As compared to $CP13$ diets, the high-protein diet exhibited a 12% lower ME_m value. The ME_m value with diets containing optimal *thr* content was by 12% higher as compared to diets containing optimal level of *ile*. The k_g value was by 11% lower with high-protein diets and slightly higher (5%) with *thr* supplemented diets as compared to low-protein and *ile* supplemented diets, respectively.

The overall average of ME_m and k_g amounted to $747 \text{ kJ} \cdot (\text{LW}^{0.569} \text{ and day})^{-1}$ and 0.68 ($r=0.825$), respectively.

The result of the present study reveal that an imbalanced amino acid ratio in high-protein diets strongly affect the metabolic process and that the dietary protein level affects the ME_m requirement of the animal. Therefore, the dietary protein level can be identified as the first limiting factor governing the energy retention in the form of protein during the growth phase considered in the present study.

Zusammenfassung

In zwei Versuchsreihen haben wir den Einfluss einer eingeschränkten Zufuhr an Rohprotein (RP) bei gleichzeitig differenziertem Zusatz an essentiellen Aminosäuren (eAS) auf die Mastleistungsdaten, die Stickstoff- und Energiebilanz an kastrierten Ferkeln (8 bis 40kg) der Rasse Edelschwein (ES) untersucht. Die beiden Versuchsreihen bestehen aus drei Wiederholungen, mit insgesamt 48 Tieren; die in Respirationskammern mit einem isoenergetischen Futter (13.4 MJ verdauliche Energie Schwein (VES) je kg, mit 870g TS) ad libitum gefüttert wurden.

In der ersten Versuchsreihe sind die Tiere nach einer 2 mal 2 Versuchsanordnung aufgeteilt, gekennzeichnet durch die Proteinkonzentration (*RP17* und *RP13* mit 12.2 bzw. 9.5g RP·(MJ VE)⁻¹) und einen optimalen (eAS+) oder nicht-optimalen (eAS-) Gehalt an Threonin (*thr*) und Isoleucin (*ile*) der Diäten.

In der zweiten Versuchsreihe wird die Gesamtkonzentration von *thr* und *ile* differenziert mit 0.46 und 0.35 g·(MJ VE)⁻¹ (Diäten *thr+/ile-*); bzw. 0.39 und 0.44 g·(MJ VE)⁻¹ (Diäten *thr-/ile+*) bei gleichen Proteinniveaus wie bereits in der ersten Versuchsreihe.

Was die Mastleistungsdaten betrifft, hat eine Verschiebung der Konzentration des Proteins; des *thr* und/oder *ile* keinen markanten Einfluss auf die mittlere Tageszunahme und -verzehr in der ersten (727g bzw. 1.39kg) und in der zweiten (619g bzw. 1.20kg) Versuchsreihe. Die fehlenden Unterschiede zwischen den Diäten, erklären sich durch ein enges Verhältnis der eAS/MJ VES; Konzentrationen von Lysin und Leucin unter (0.68) bzw. über (1.03g·(MJ VE)⁻¹) den Empfehlungen. Die Futtermittelverwertung ist bei allen Proteingehalten bis zu einem LG von 30kg ähnlich.

Eine erhöhte Proteinkonzentration begünstigt die Stickstoffbilanz, ausgenommen in der Startphase der ersten Versuchsreihe, wo ein optimaler Gehalt an *thr* und *ile* bei gleichwertiger Proteinkonzentration, die ohne Aminosäurezusatz erhaltenen Ergebnisse der Varianten *RP17/eAS-* (2.65) und *RP13/eAS-* (2.70g N·(kg LG^{0.569} und Tag)⁻¹) um 0.49 (*RP17/eAS+*) bzw. 0.31g N·(kg LG^{0.569} und Tag)⁻¹ (*RP13/eAS+*) erhöht. Bei Diäten mit wenig RP

(*RP13/eAS+* vs *RP17/eAS-*) beträgt diese Erhöhung bei optimaler Zugabe von eAS $0.36\text{g N}\cdot(\text{kg LG}^{0.569} \text{ und Tag})^{-1}$.

Die Wirkungen einer Reduktion des Gehaltes an RP hängen von der Grössenordnung und Dauer derselben ab. Sie zeigen sich signifikant während des Intervalls von 30 bis 40kg LG für *RP17/eAS+* vs *RP13/eAS+* ($+0.68\text{g N}\cdot(\text{kg LG}^{0.569} \text{ und Tag})^{-1}$). Der Einfluss einer Differenzierung von *thr-ile* ist nicht eindeutig.

Die in der ersten (0.62) und zweiten (0.64) Versuchsreihe bei niedriger Proteinkonzentration (*RP13*) erhaltene Stickstoffverwertung ist, unabhängig des eAS-Gehaltes, höher, als bei denjenigen Varianten mit einer höheren Proteinkonzentration (0.53 bzw. 0.54). Die tiefsten Werte werden bei einer nicht optimalen eAS-Konzentration (0.50 für *RP17/eAS-*) oder bei einem unausgeglichene *thr-ile*-Verhältnis und gleichzeitig erhöhter Proteinkonzentration (0.52 für *RP17 thr-/ile+*) erhalten.

Die Harnstoffausscheidung erhöht sich bei erhöhter RP-Konzentration in kennzeichnender Weise in Abhängigkeit des Lebendgewichts, während sie bei den anderen Diäten bis 30kg LG niedrig bleibt.

Bei der Energiebilanz bleiben die durchschnittlichen Resultate, ausgedrückt in $\text{MJ}\cdot(\text{LG}^{0.569} \text{ und Tag})^{-1}$, bei allen Proteinkonzentrationen und eAS-Niveaus für die erste (*RP17/eAS+* =1.4; *RP17/eAS-* =1.3; *RP13/eAS+* =1.5; *RP13/eAS-* = 1.3) und zweite Versuchsreihe (*RP17 thr+/ile-* =1.1; *RP17 thr-/ile+* =1.2; *RP13 thr+/ile-* =1.0; *RP13 thr-/ile+* =1.2) in der gleichen Grössenordnung. Die Umsetzbarkeit der Energie ($u(E)$) ist höher bei niedriger Proteinkonzentration (0.830) gegenüber den Diäten mit *RP17* (0.774). Die Verluste über den Urin und das Methan liegen zwischen 2.1 und 3.7% der verdaulichen Energie.

Unabhängig des Proteinanteils und der eAS-Konzentration in der Ration, ist der energetische Gesamtwirkungsgrad bis 20kg LG maximal. Für eine gleichwertige Proteinkonzentration erlaubt ein optimaler Gehalt an eAS das Erreichen von 6 bis 12% besseren Resultaten während des Intervalls von 20 bis 30kg LG und von 9 bis 13% besseren Resultaten für 30 bis 40kg LG (*RP17/eAS+* vs *eAS-RP13/eAS+* vs *eAS-*); das beste Resultat (0.54) wurde bei 20kg mit einem niedrigen Gehalt an RP und einer optimalen Konzentration an eAS (*RP13/eAS+*) erhalten. Eine differenzierte Zugabe von eAS beeinflusst die Ergebnisse nicht entscheidend.

Bei gleich welcher Zugabe von eAS, scheint ein erhöhter Gehalt an RP die Aufteilung der retinierten Energie in Form von Protein (RE_p) zu begünstigen. Diese Diäten weisen einen Unterschied von 27 und 24g $RP \cdot Tag^{-1}$ (40kg) LG gegenüber ihren homologen eAS (erste Versuchsreihe) auf. Die höchsten RE_f -Werte (retinierte Energie in Form von Fett) werden bei einer optimalen Zugabe von eAS zu Diäten mit tiefer Proteinkonzentration ($RP13/eAS+$), vor allem während des Intervalls bis 20kg LG, erreicht; wo die Differenz gegenüber ($RP17/eAS-$) ($0.39 MJ \cdot (LG^{0.569} \text{ und } Tag)^{-1}$) signifikant ist.

In der zweiten Versuchsreihe erlaubt eine höhere RP-Konzentration mit optimalem *thr*-Gehalt das Erreichen der besten Ergebnisse für RE_p . Gesamthaft ist die Konzentration an RP entscheidend. Kein eindeutiger Einfluss kann der differenzierten *thr-ile*-Zugabe ($RP17 \text{ thr+ile- vs } RP17/eAS+$) zugeschrieben werden.

In der ersten Versuchsreihe vermindert ein erhöhter Proteingehalt die umsetzbare Energie für die Erhaltung (UE_e^*) um 25% ($RP17$ vs $RP13$); eine optimale Konzentration an eAS führt gegenüber der Diät mit eAS- zu einem um 15% höheren UE_e^* -Wert. Ein erhöhter Proteingehalt führt zu einem in der Grössenordnung um 15% tieferen partiellen Teilwirkungsgrad für das Wachstum (k_g) ($RP17$ vs $RP13$), während ein optimaler Gehalt an eAS ihn positiv in der Grössenordnung um 16% ($eAS+$ vs $eAS-$) beeinflusst.

Gleiche Tendenzen werden in der zweiten Versuchsreihe erhalten; mit um 12% tieferen UE_e^* -Werten für $RP17$ vs $RP13$ und um 12% höheren für Diäten mit optimaler Konzentration an *thr* gegenüber den Diäten optimal an *ile*. Die Werte von k_g sind um 11% tiefer für einen erhöhten Proteingehalt ($RP17$ vs $RP13$) und ein optimaler Gehalt an *thr* ergibt leicht höhere Werte (5%) als derjenige mit einem *ile*-Zusatz.

Ueber alle Diäten gemittelt erreicht der UE_e^* -Wert $747 kJ \cdot (LG^{0.569})^{-1}$, während k_g 0.68 ($r=0.825$) beträgt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass ein unausgeglichenes AS-Verhältnis den Metabolismus stärker belastet bei Diäten mit erhöhtem Proteingehalt, und dass letzterer den Bedarf an UE_e^* beeinflusst. Die Proteinkonzentration der Diät scheint daher erst limitierend für das Resultat von guten RE_p -Werten in diesem Wachstumsstadium.