

UTILISATION DE L'ENERGIE CHEZ LE DINDON EN CROISSANCE

Rivera-Torres Virginie^{1,2}, Dubois Serge³, Noblet Jean³, van Milgen Jaap³

¹TECHNA, BP10, 44220 COUERON

²AgroParisTech, UFR Nutrition animale, qualité des produits et bien-être, 16 rue Claude Bernard, 75005 PARIS

³INRA, UMR 1079, 35590 SAINT GILLES

RÉSUMÉ

Les besoins énergétiques d'entretien et de croissance de la dinde ont été peu décrits. L'objectif du travail présenté était d'analyser le devenir de l'énergie métabolisable (EM) chez le dindon en croissance avec en particulier la mesure de la production de chaleur et ses composantes, la nature de l'énergie retenue (protéines et lipides) et l'efficacité d'utilisation de l'EM en énergie nette (EN). Dans ce but, 18 mesures de 7 jours ont été réalisées en chambre respiratoire sur des dindons de souche B.U.T. 9 âgés de 1 à 16 semaines. Chaque mesure a consisté à suivre les performances de croissance et à mesurer en continu la production de chaleur chez les animaux alimentés *ad libitum* les 6 premiers jours de mesure et à jeun le dernier jour de mesure. Les mesures en conditions à jeun ont permis d'estimer la production de chaleur liée au métabolisme basal (FHP). Celles réalisées en conditions *ad libitum* ont permis de quantifier les composantes de la production de chaleur et la nature de l'énergie retenue en fonction du stade de croissance. Les performances de croissance des animaux ont été supérieures d'environ 20% au potentiel de la souche. Chez le dindon nourri, la production de chaleur représente en moyenne 59% de l'EM ingérée et 9% de l'EM ingérée sont dédiés à l'activité physique. La FHP est proportionnelle au poids vif à la puissance 0,75, considéré comme le poids métabolique (451 kJ/kg PV^{0,75}/j) et la dépense d'entretien est estimée à 613 kJ d'EM/kg PV^{0,75}/j. L'efficacité d'utilisation de l'EM pour déposer de l'énergie sous forme de protéines (k_p) est de 0,65 tandis que celle pour le dépôt lipidique (k_f) n'est pas différente de 1. L'énergie retenue sous forme de lipides augmente avec l'âge mais reste constante sur la période de croissance étudiée lorsqu'elle est exprimée par unité de poids métabolique. L'énergie retenue sous forme de protéines augmente rapidement en début de croissance (entre 1 et 7 semaines d'âge) et tend à se stabiliser par la suite. Ces premiers résultats apportent une base d'analyse des besoins énergétiques du dindon en croissance.

ABSTRACT

Energy requirements for maintenance and growth are not well described in turkeys. The aim of the present trial was to study the use of metabolizable energy (ME) of male growing turkeys by measuring heat production and its components, the nature of the energy retained (protein and lipid), and the efficiency of utilizing ME for net energy (NE). To accomplish this, 18 energy and nitrogen balance measurements of seven days were carried out on groups of B.U.T. 9 turkeys. These measurements were performed on turkeys from 1 to 16 weeks. Each measurement consisted of measuring *ad libitum* feed intake, growth and heat production in an open-circuit respiration chamber for 6 days, followed by measuring the fasting heat production during 1 day. These measurements allowed to decompose the total heat production between fasting heat production (FHP), heat production due to physical activity and thermic effect of feeding and to quantify the nature of retained energy according to the growth stage. Performance of the animals was 20% greater than the predicted performance of the strain. Under the fed status, heat production represented 59% of ingested ME whereas 9% of the ingested ME corresponded to physical activity. The FHP was proportional to BW^{0.75}, which represented the metabolic weight. The FHP was estimated at 451 kJ/kg BW^{0.75}/d whereas, the maintenance energy expenditure was 613 kJ/kg BW^{0.75}/d. The efficiency of energy utilization to deposit protein (k_p) was 0.65, and the efficiency of lipid deposition (k_f) was not different from 1. The energy retained as lipid increased with age but remained constant when expressed per unit of metabolic weight. The energy retained as protein increased rapidly between 1 and 7 weeks of age and remained constant thereafter. These first results provide a basis for the analysis of energy requirements of the growing turkey.

INTRODUCTION

La définition des besoins en énergie pour la volaille se fait généralement sur la base de valeurs exprimées en énergie métabolisable (EM). L'EM ingérée sert à la couverture des besoins d'entretien et des besoins de production qui correspondent au dépôt d'énergie sous forme de protéines et de lipides chez l'animal en croissance. L'utilisation de l'EM par l'animal se traduit alors d'une part par de l'énergie fixée et, d'autre part, par une perte d'énergie sous forme de chaleur qui correspond aux dépenses d'entretien et à l'extra-chaleur du dépôt d'énergie. La quantité d'énergie perdue sous forme de chaleur par l'animal a été mesurée chez différentes espèces et elle représente plus de la moitié de l'EM ingérée chez le poulet (Geraert et al., 1990) ou chez le porc en croissance (van Milgen et Noblet, 2003). Elle varie non seulement en fonction de l'espèce considérée mais aussi en fonction de l'âge et de la nature et de la quantité d'aliment. Les mesures en chambre respiratoire par calorimétrie indirecte sont un bon outil pour décrire la répartition de l'EM ingérée entre l'énergie retenue et la production de chaleur (et ses différentes composantes); leur couplage avec des mesures de bilan azoté permet de décrire la répartition de l'énergie retenue entre le dépôt protéique et le dépôt lipidique.

De nombreux travaux sur l'utilisation de l'énergie ont été réalisés chez le porc et le poulet de chair mais ils sont très rares chez la dinde et les données de base sont insuffisantes pour quantifier les besoins énergétiques de la dinde en croissance. L'objectif du présent travail était double. Il visait à décrire l'évolution des dépenses énergétiques du dindon en croissance soumis à un aliment standard et à développer les premières bases d'établissement factoriel des besoins énergétiques du dindon.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Deux lots de 30 dindonneaux mâles de souche B.U.T. 9 ont été mis en place à 1 jour d'âge, élevés en flat-deck et nourris *ad libitum* avec 4 aliments standards successifs ayant des teneurs en protéines de 28,0% (aliment 1), 25,0% (aliment 2), 21,3% (aliment 3) et 19,3% et des apports en acides aminés permettant de couvrir les besoins nutritionnels. Ces aliments ont été formulés avec du blé, du maïs, du tourteau de soja et de l'huile végétale; les teneurs estimées en EM sont de 11,7, 11,7, 12,5 et 13,2 MJ/kg pour respectivement les aliments 1, 2, 3, et 4. L'eau était disponible à volonté.

Un groupe représentatif de chaque lot a été placé dans une cage, elle-même mise dans une chambre

respiratoire de 1,7 m³ de volume et à une température de 31 puis 29 °C pour le stade 1, 24 puis 22°C pour le stade 2 et à 21°C pour les stades 3 et 4 pour la réalisation d'un bilan nutritionnel. Chaque bilan a duré 7 jours et les mesures ont été réalisées à l'âge de 1 et 2 (stade 1, aliment 1), 5 et 6 (stade 2, aliment 2), 9 et 10 (stade 3, aliment 3) et 13 à 16 semaines (stade 4, aliment 4). Le nombre de dindons a été ajusté en fonction du poids vif des animaux. Aussi les mesures ont-elles démarré avec 14 dindonneaux à la deuxième semaine d'âge puis 10, 5, 4, 3 et 2 dindons, et enfin un seul dindon en cage à partir de 13 semaines d'âge. Du 1^{er} au 6^{ème} jour de mesure, les animaux ont été maintenus en chambre avec eau et aliment *ad libitum*. Pendant le dernier jour de mesure, ils ont été mis à jeun avec de l'eau *ad libitum* pour estimer la production de chaleur à jeun.

1.2. Mesures et calculs

Les dindons ont été pesés individuellement lors de leur entrée en chambre respiratoire, à la fin de la période nourrie (6 jours plus tard) et à la fin du jour de jeûne. Les consommations d'eau et d'aliment ont été enregistrées en continu et les fientes ont été collectées et pesées à la fin de la période nourrie. La consommation d'O₂ et la production de CO₂ ont été mesurées en continu, ce qui permet l'estimation de la production de chaleur totale. L'activité physique des dindons était mesurée par des capteurs de force sur lesquels la cage était montée, et qui enregistraient en continu la force exercée par les animaux. Le premier jour de mesure étant considéré comme un jour d'adaptation, seule la période entre le 2^{ème} et le 6^{ème} jour nourri a été exploitée pour les estimations de production de chaleur.

La mesure de la production de chaleur pendant la journée à jeun permet d'estimer par modélisation la production de chaleur à jeun (FHP) représentée par l'asymptote de la production de chaleur à activité physique nulle et le coût énergétique unitaire de l'activité physique exprimé en kJ par unité de force. Ce dernier critère, couplé avec l'activité physique mesurée à l'état nourri, a servi à calculer les dépenses énergétiques liées à l'activité physique (AHP) chez le dindon nourri. La différence entre la production de chaleur totale et la somme de la FHP et de l'AHP correspond à la production de chaleur liée à l'effet thermique de l'aliment ingéré (TEF). Les calculs et méthodes pour la détermination de ces composantes de la production de chaleur sont décrits par van Milgen et al. (1997).

L'EM ingérée par l'animal est estimée à partir des mesures de l'énergie brute dans l'aliment et dans les fientes. L'énergie retenue (ER) est calculée par différence entre l'EM ingérée et la production de chaleur. La quantité d'azote retenue par les dindons (ou bilan azoté) correspond à la différence entre la quantité d'azoté ingérée et la somme de l'azote

excrétaée dans les fientes et évaporée dans la chambre respiratoire. La quantité de protéines déposée est alors calculée ($6,25 \times N$) ainsi que l'énergie retenue sous forme de protéines (ERP ; $23,6 \times 6,25 \times N$). L'énergie retenue sous forme de lipides (ERL) se déduit alors par simple différence entre l'ER et l'ERP ($39,7 \text{ kJ/kg}$ lipides). L'énergie nette (EN) correspond à la somme de ER et FHP.

Pour évaluer les effets de l'âge des dindons, les données de performances et de bilans nutritionnels ont été soumises à une analyse de variance prenant en compte les effets du stade ($n=4$). Afin de déterminer l'exposant du poids vif le plus approprié pour la définition du poids métabolique, une régression de la FHP par rapport au poids vif (PV) a été réalisée :

$$\text{FHP} = a \text{PV}^b \quad \text{Eq. 1}$$

où b est le coefficient métabolique et a est la FHP par unité de poids métabolique (en $\text{kJ/kg PV}^b/\text{j}$). De plus, dans le but d'estimer le besoin énergétique d'entretien (EM_m , $\text{kJ/kg PV}^b/\text{j}$) et les efficacités d'utilisation de l'énergie retenue totale (k_g) ou sous forme de protéines (k_p) et de lipides (k_f), des analyses par régression (multiple) ont été réalisées avec les données exprimées en $\text{kJ/kg PV}^b/\text{j}$:

$$\text{EM} = \text{EM}_m + 1/k_g \text{ER} \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{EM} = \text{EM}_m + 1/k_p \text{ERP} + 1/k_f \text{ERL} \quad \text{Eq. 3}$$

La variabilité des résultats augmentant avec le PV des animaux, les modèles ont été transformés en échelle logarithmique afin de satisfaire au mieux l'hypothèse d'homoscédasticité des résidus. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec les procédures GLM et NLIN de SAS.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les performances de croissance ont été satisfaisantes et supérieures d'environ 20% au potentiel estimé par le sélectionneur pour la souche B.U.T. 9. Les indices de consommation sur les périodes étudiées augmentent logiquement avec le PV (Tableau 1). En raison de problèmes techniques, la première mesure en chambre respiratoire sur le lot 1 au cours de la deuxième semaine de vie n'a pas pu être exploitée. Le Tableau 1 présente les bilans énergétiques et azotés moyens calculés pour chacun des 4 stades. La plupart des données ont été exprimées par kg de poids métabolique de façon à pouvoir comparer les stades sur une base commune.

La relation entre la valeur de FHP et le PV selon l'équation 1 conduit à un exposant du PV égal à $0,78$ ($\pm 0,02$). Cet exposant n'est pas différent de la valeur $0,75$ ($P=0,13$) utilisée habituellement pour des espèces animales adultes. Il est plus faible que la valeur déterminée chez le veau ($0,85$; Labussière et al., 2008) mais est toutefois plus élevé que celle déterminée chez le poulet ($0,70$; Noblet et al., 2007) ou le porc ($0,60$; van Milgen et Noblet, 2003). Par

commodité, les résultats de production de chaleur de notre essai ont été exprimés par kg de PV à la puissance $0,75$ (ou poids métabolique). Sur cette base, la valeur moyenne de la FHP est $451 \pm 38 \text{ kJ/kg PV}^{0,75}/\text{j}$. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celles estimées par MacLeod et al. (1979) à 540 et $400 \text{ kJ/kg PV}^{0,75}/\text{j}$ chez le dindon pour des températures de 20 et 35°C , respectivement. En toute logique, cette valeur de FHP est identique aux 4 stades étudiés.

Bien que la quantité d'EM ingérée par jour augmente avec l'âge, elle diminue par $\text{kg PV}^{0,75}$. Il en résulte une diminution significative de la production de chaleur par $\text{kg PV}^{0,75}$. Il en est de même de la production de chaleur liée à l'activité physique ou à l'effet thermique du repas (TEF). Toutefois, la composante activité physique de la production de chaleur représente une proportion constante de l'EM ingérée aux 4 stades étudiés (9% ; $P=0,60$) alors que le TEF représente une proportion décroissante de l'EM avec l'âge (17% en moyenne ; $P<0,01$). Il en résulte que l'extra-chaleur (somme de AHP et TEF) diminue avec l'âge des dindons et, qu'à l'inverse, le rendement EN/EM, s'accroît ($P<0,01$; Tableau 1).

En lien avec la diminution du niveau d'EM par $\text{kg PV}^{0,75}$ avec l'âge, l'ER se réduit significativement avec l'augmentation du PV ou de l'âge. Toutefois, cette diminution de l'ER touche uniquement ERP et ERL reste constante ($P=0,37$). C'est donc la baisse de l'ERP, combinée avec la baisse de consommation par $\text{kg PV}^{0,75}$, qui entraîne une diminution des valeurs de l'ER et du ratio ERP/ER avec l'âge. L'ERP par jour augmente rapidement entre les stades 1 et 2, mais se stabilise par la suite tandis que l'ERL augmente sur toute la période de croissance observée, et plus particulièrement après le stade 3. D'après l'équation 2, le besoin énergétique pour l'entretien est estimé à $613 \pm 54 \text{ kJ d'EM/kg PV}^{0,75}/\text{j}$ et l'efficacité globale de l'ER est alors de $0,75 \pm 0,06$.

Un second modèle (équation 3) a permis de distinguer l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour le dépôt protéique (k_p) de celle pour le dépôt lipidique (k_f). Il donne une valeur du coefficient k_f supérieure à 1 comme déjà remarqué dans la bibliographie chez la volaille (MacLeod, 1992 ; Nieto et al., 1995). La corrélation de 44% entre ERP et ERL peut expliquer l'imprécision de l'estimation de la valeur de k_f qui n'est pas différente de 1 ($P=0,52$). Une telle valeur du coefficient k_f laisse supposer que le dépôt lipidique se fait à partir des lipides ingérés, ce qui justifierait une valeur proche de 1. Cependant, le bilan lipidique indique que la quantité de lipides déposés est supérieure d'environ 50% à la quantité de lipides ingérés. Par ailleurs, l'augmentation du quotient respiratoire (QR) est indicative de l'augmentation de la lipogenèse avec l'âge. Il y a donc synthèse lipidique *de novo* à partir d'autres nutriments comme l'amidon

et la vraie valeur de k_f est probablement inférieure à 1. Néanmoins, si on fixe la valeur de k_f à 1 dans l'équation 3, elle devient ($ETR=0,047 \text{ kJ/kg PV}^{0,75}/j$) :

$$EM = 641 \text{ PV}^{0,75} + 1/0,65 \text{ ERP} + \text{ERL}$$

Sur la base de ce modèle, le besoin énergétique pour l'entretien est estimé à $641 \pm 32 \text{ kJ/kg PV}^{0,75}/j$. Il reste proche de celui estimé à $700 \text{ kJ/kg PV}^{0,75}/j$ pour le poulet par Geraert et al. (1990). La FHP trouvée dans notre étude représente alors 70% du besoin en EM pour l'entretien. Le coefficient k_p ($0,65 \pm 0,05$) peut être confronté aux valeurs déterminées chez le porc ($k_p = 0,60$) par Noblet et al. (1999). L'écart entre k_p et k_f ($k_f > k_p$) trouvé dans notre étude et la diminution de la proportion de l'ERP dans l'ER est cohérente avec l'augmentation du rendement EN/EM avec l'âge (Tableau 1).

CONCLUSIONS

La détermination de l'utilisation de l'énergie par la volaille, et plus spécifiquement par la dinde, a été peu étudiée. Cet essai en chambre respiratoire a permis de décrire l'utilisation de l'énergie par le dindon en croissance à partir d'une alimentation standard et en différenciant 4 périodes d'âge. Les résultats ont montré que le coefficient métabolique le plus adapté

pour exprimer les besoins pour l'entretien du dindon en croissance est de 0,78, ce qui n'est pas significativement différent de la valeur « 0,75 » généralement utilisée pour les animaux adultes de différentes espèces. La description des composantes de l'utilisation de l'énergie chez le dindon entre 1 et 16 semaines d'âge a montré que l'activité physique peut être exprimée en fonction de l'EM ingérée quelque soit le stade de développement de l'animal. De même, la quantité de lipides déposés exprimée en fonction du poids métabolique est constante sur toute la période de croissance. Le rendement global d'utilisation de l'énergie augmente donc avec l'âge mais conduit à une baisse du ratio ERP/ER, et donc à des animaux plus gras. Enfin, nos résultats ont permis de proposer un modèle factoriel de définition de l'utilisation de l'EM par la dinde en croissance. Ce modèle est toutefois peu réaliste en ce qui concerne le rendement d'utilisation de l'EM pour le dépôt de lipides. Des travaux supplémentaires sont donc à poursuivre afin de préciser ce point, notamment en fonction de la nature de l'EM apportée au dindon et en particulier en fonction de la fraction de l'énergie apportée par les lipides alimentaires. La validité de nos résultats pour les femelles et d'autres souches de dindes est également à vérifier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Geraert, P.A., MacLeod, M. G., Larbier, M., Leclercq, B., 1990. *Poult. Sci.*, 69:1911-1921.
- Labussière, E., Dubois, S., van Milgen, J., Bertrand, G., Noblet, J., 2008. *Br. J. Nutr.*, 100:1315-1324.
- Mac Leod, M. G., Tullett, S. G., Jewitt, T.R., 1979. *Proc. 8th Symposium on energy metabolism*, Cambridge, EAAP 26, pp257.
- Mac Leod, M. G., 1992. *Br. J. Nutr.*, 67:195-206.
- Nieto, R., Prieto, C., Fernandez-Figares, I., Aguilera, J. F., 1995. *Br. J. Nutr.*, 74:163-172.
- Noblet, J., Dubois, S., van Milgen, J., Warpechowski, M., Carré, B., 2007. In : *EAAP 124. Energy and Protein Metabolism and Nutrition* (Ortigue-Marty, edit.) Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp479.
- Noblet, J., Karege, C., Dubois, S., van Milgen, J., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77:1208-1216.
- Van Milgen, J., Noblet, J., Dubois, S., Bernier, J. F., 1997. *Br. J. Nutr.*, 78:397-410.
- Van Milgen, J., Noblet, J., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77:2154-2162.
- Van Milgen, J., Noblet, J., 2003. *J. Anim. Sci.* 81, E. Suppl. 2:E86-E93.

Tableau 1. Performances et bilans nutritionnels du dindon en croissance à 4 stades de croissance.

Stade	1	2	3	4	ETR ³	Probabilité ³
Age (semaines)	1 - 2	5 - 6	9 - 10	13 - 16		
Nombre de mesures	3	4	4	6		
Performances moyennes						
Poids vif, kg	0,54	3,32	7,91	13,77	1,02	<0,01
Poids métabolique, kg PV ^{0,75}	0,63	2,45	4,71	7,15	0,33	<0,01
Gain de poids vif, g/j	58	144	134	149	30	<0,01
Ingestion ¹ , g/j	82	313	445	570	52	<0,01
Indice de Consommation ¹	1,40	2,17	3,36	3,85	0,37	<0,01
Bilan azoté, g N/j						
Ingéré	3,38	10,46	13,68	14,97	2,03	<0,01
Retenu	1,97	5,58	6,64	6,14	1,27	<0,01
Bilan lipidique, g lipides/j						
Ingéré	3,50	13,35	18,71	24,00	2,14	<0,01
Retenu	4,67	21,50	23,00	45,67	8,88	<0,01
Bilan énergétique⁴, kJ/kg PV^{0,75}/j						
EM ² ingérée	1651	1608	1233	1107	129	<0,01
Production de chaleur						
Totale (HP)	880	859	803	704	55	<0,01
A jeun (FHP)	408	456	492	442	38	0,32
Activité physique (AHP)	173	129	110	102	26	<0,01
Effet thermique du repas (TEF)	298	274	201	160	30	<0,01
Energie Retenue						
Totale (ER)	771	759	429	402	110	<0,01
Protéines (ERP)	511	405	234	149	31	<0,01
Lipides (ERL)	259	344	196	254	86	0,37
Utilisation de l'EM ingérée						
AHP/EM	0,107	0,080	0,090	0,091	0,021	0,60
TEF/EM	0,179	0,170	0,164	0,145	0,013	<0,01
EN/EM	0,714	0,749	0,745	0,763	0,018	<0,01
Quotient respiratoire	0,947	0,983	0,991	1,003	0,018	<0,01
Valeurs énergétiques de l'aliment, MJ/kg¹						
EM	12,52	12,35	12,85	12,91	0,35	<0,01
EN	8,93	9,24	9,61	10,48	0,33	<0,01

¹ : Valeurs standardisées à 88% de matière sèche (MS).

² EM : énergie métabolisable, EN : énergie nette.

³ A partir de l'analyse de variance prenant en compte l'effet du stade de croissance; ETR : écart-type résiduel, Probabilité : effet du stade.

⁴ : 1kJ = 0,24 kCal.