

UN COMPLÉMENT MATERNEL EN ÉLÉMENTS ORGANIQUES Cu, Zn et Mn AFFECTE LE DÉVELOPPEMENT OSSEUX DU POUSSIN À L'ÉCLOSION

Torres Cibele, Korver Doug

*4-10 Centre d'agriculture et de foresterie de l'Université d'Alberta, Edmonton, Canada T6G
2P5*

doug.korver@ales.ualberta.ca

RESUME

Les oligoéléments organiques (OEO) alimentaires peuvent augmenter la minéralisation de l'os chez les poussins de chair. Les OEO dans le régime des poules peuvent favoriser la croissance osseuse de l'embryon dans la mesure où Cu, Zn et Mn ont des fonctions essentielles dans le développement osseux. Nous avons examiné les effets d'un régime maternel supplémenté avec Cu, Zn et Mn alimentaires sur les caractéristiques des os à l'éclosion de poussins issus de poules précoces, d'âge moyen ou plus âgées. Des reproductrices de poulets de chair (n = 18/régime) ont été logées dans des cages individuelles et ont reçu une ration de base à faible teneur en Cu, Zn et Mn. On y a ajouté des oligoéléments, comme suit : 1) Contrôle : oligoéléments inorganiques (OEI) ; sulfates minéraux selon des niveaux utilisés en industrie ; 2) oligoéléments organiques (OEO) : Zn, Mn et Cu chélatés par de l'acide 2-hydroxy-4-(méthylthio)-butanoïque (HMTBA) selon des niveaux NRC (National Research Council) (1994) oligoéléments organiques + inorganiques (OEO + OEI) : régime 1 plus 40 mg/kg Zn supplémentaires, 40 Mn et 20 Cu en tant qu'oligoéléments organiques ; 4) niveau élevé d'OEI : régime 1 plus 40 mg/kg Zn, 40 Mn et 20 Cu en tant qu'oligoéléments inorganiques. La masse osseuse, la longueur et la largeur des os des poussins ont été testées en utilisant une analyse par mesures répétées (PROC MIXED). Parmi les poules précoces, les poussins issus des poules OEO présentaient des fémurs et tibias plus épais que les poussins issus des poules du groupe contrôle (+ 5 % pour les deux) et du groupe à niveau élevé d'OEI (+ 6 % pour les deux). Parmi les poules d'âge moyen, les poussins issus des poules OEO et à niveau élevé d'OEI présentaient des fémurs plus épais (+ 4 % et + 7 %, respectivement) que ceux issus du groupe OEO + OEI. Malgré un moindre apport d'oligoéléments supplémentaires, le développement du tibia à l'éclosion était augmenté dans le groupe OEO par rapport à tous les autres régimes ou traitements administrés aux poules précoces ; le groupe OEO a donné un plus grand développement du fémur que le groupe issu des poules OEI et le groupe issu des poules à niveau élevé d'OEI chez les poules précoces, et que le groupe issu des poules OEO + OEI chez les poules d'âge moyen.

ABSTRACT

Maternal supplementation with organic Cu, Zn and Mn form affects chick bone development at hatch.

Dietary organic trace minerals (OTM) can increase bone mineralization in broiler chicks. OTM in the hen's diet might increase bone growth in the embryo as Cu, Zn and Mn have key functions in bone development. We investigated the effects of maternal dietary Cu, Zn and Mn form on chick bone traits at hatch from Early (33 wk), Mid (46 wk) and Late (60 wk) hen age. Broiler breeders (n=18/diet), were housed in individual cages, and fed a basal ration low in Cu, Zn and Mn. Trace minerals were added as: 1) Control: ITM; mineral sulfates at industrial levels (100 mg/kg Zn, 120 Mn, 10 Cu); 2) OTM: Zn, Mn and Cu chelated by 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMTBA) at NRC (1994) levels (50 mg/kg Zn, 60 Mn, 10 Cu); 3) OTM+ITM: Trt 1 plus an additional 40 mg/kg Zn, 40 Mn and 20 Cu as OTM; 4) High ITM: Trt 1 plus 40 mg/kg Zn, 40 Mn and 20 Cu as ITM. Chick bone weight, width and length were analyzed using repeated measures analysis (PROC MIXED). Among Early hens, chicks from OTM hens had femurs & tibias that were thicker than chicks from Control (both by 5%) and High ITM (both by 6%) hens. Among Mid hens, chicks from the OTM and High ITM hens had thicker femurs (by 4 and 7%, respectively) than chicks from the OTM+ITM group. Despite a lower level of supplemental TM, tibia development at hatch was increased in the OTM group relative to all other treatments in Early hens; OTM resulted in greater femur development relative to the ITM and High ITM in Early hens, and relative to OTM + ITM in Mid hens.

INTRODUCTION

Dans l'embryon du poulet, l'ossification du tibia et du fémur démarre le jour 6 suivant l'incubation (Bellairs et Osmond, 2005). À partir de ce moment et jusqu'à la fin de l'incubation, les minéraux stockés dans l'œuf sont mobilisés par l'embryon et utilisés pour la formation de l'os (Romanoff, 1967 ; Richards et Packard, 1996). En conséquence, le développement embryonnaire repose sur les quantités adéquates de minéraux déposées dans l'œuf par la poule avant la ponte (Richards et Packard, 1996).

Les oligoéléments sont fournis en compléments dans le régime alimentaire de la poule sous la forme de sels inorganiques, tels que sulfates ou oxydes. Les minéraux organiques représentent une alternative à la supplémentation minérale dans la nutrition animale. Certains minéraux chélatés augmentent la disponibilité des minéraux pour une absorption intestinale (Cao et al., 2000), probablement du fait de leur aptitude à éviter tout antagonisme alimentaire. Des antagonismes se produisent avec des formes inorganiques, (Leeson et Summers, 2001) et certains types de chélates (Cao et al., 2000). Une fois dissocié, l'oligoélément ionisé obtenu est libre d'interagir avec des antagonistes alimentaires, par exemple un phytate. Les molécules de phytate lient les ions minéraux libres, les rendant indisponibles à l'absorption (Leeson et Summers, 2001).

À ce jour, aucune étude n'a été menée pour évaluer l'effet sur le développement osseux de la descendance d'un complément en Cu, Zn et Mn organiques dans le régime alimentaire de la poule. Du fait de leur rôle critique dans le développement osseux, nous partons de l'hypothèse que l'utilisation d'une forme de Cu, Zn et Mn ayant une meilleure biodisponibilité peut augmenter l'état de développement du squelette dans l'embryon à l'éclosion. Cette étude avait pour objectif d'examiner l'effet d'un complément alimentaire maternel en Cu, Zn et Mn chélatés par de l'acide 2-hydroxy-4-(méthylthio)-butanoïque (HMTBA) sur la masse, la longueur et la largeur du tibia et du fémur du poussin au moment de l'éclosion.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1 Volailles et régimes

Dix-huit reproductrices pour poulets de chair Ross 308 par régime (n = 72 au total) ont été logées dans des cages individuelles et gérées conformément au guide de gestion des éleveurs-souches.

Les régimes alimentaires se composaient d'une ration de base de maïs-blé-soja à faible teneur en Cu, Zn et Mn, à laquelle des oligoéléments étaient ajoutés sous forme inorganique (sulfates) ou organique (Mintrex P). Le régime de contrôle contenait des niveaux de minéraux conformes aux niveaux couramment fournis dans l'industrie, à savoir des minéraux sous la forme de sulfates à 100 mg/kg Zn, 120 mg/kg Mn et 10 mg/kg Cu. Le régime 2 (OEO) contenait du Mintrex P (Zn, Mn et Cu chélatés par HMTBA ; Novus International Inc., St. Charles, MO) donné en complément conformément à une approximation des niveaux de minéraux NRC (1994) recommandés pour les poules pondeuses (50 mg/kg Zn, 60 mg/kg Mn, 10 mg/kg Cu). Pour analyser si une augmentation des niveaux de minéraux dans le régime augmente le développement osseux, le Régime 3 comprenait OEO + OEI (Régime 1 plus 40 mg/kg Zn, 40 mg/kg Mn et 20 mg/kg Cu supplémentaires sous forme d'OEO) ; et le Régime 4 incluait des niveaux élevés d'OEI (Régime 1 plus 40 mg/kg Zn, 40 mg/kg Mn et 20 mg/kg Cu sous forme d'OEI).

Les reproductrices pour poulets de chair ont reçu le régime expérimental sur la durée correspondant à un âge de 22 à 60 semaines.

Les poules ont été inséminées avec de la semence poolée de mâles issus du même élevage de reproductrices. Pour chaque incubation (planifiée pour les poules précoces à 33 semaines, les poules d'âge moyen à 46 semaines et les poules plus âgées à 60 semaines), des œufs fertilisés ont été conservés pour l'incubation et stockés en chambre froide pendant 10 jours au maximum. Pour l'incubation, les œufs ont été marqués et placés sur des plateaux d'incubation par pedigree individuel. À l'éclosion, les poussins ont été sexés via les plumes, pesés et identifiés individuellement par une étiquette au cou. Les poussins ont été tués par dislocation cervicale et les pattes ont été retirées. Le tibia et le fémur gauches ont été disséqués, débarrassés du tissu musculaire qui adhérait et pesés. La longueur et la largeur du tibia et du fémur (mm) ont été mesurées en utilisant un pied à coulisse à affichage numérique. La longueur du

fémur a été déterminée depuis le bord proximal du trochanter jusqu'au bord distal du condyle. La longueur du tibia a été mesurée de l'extrémité proximale de l'éminence intercondylienne à l'extrémité de l'épiphyse distale. La largeur a été calculée au niveau de la diaphyse médiane (50 % de la longueur). Le protocole expérimental a été approuvé par le comité Animal Care and Use Committee for Livestock de l'Université d'Alberta.

1.2 Analyse statistique

Les données caractéristiques des os provenant de la même unité expérimentale (poule) à trois moments différents du cycle de production des œufs (âge de la poule), ont été analysées en utilisant des techniques de mesures répétées de SAS dans PROC MIXED (Wang et Goonewardene, 2004). Les principaux effets comprenaient le régime et l'âge de la poule. L'âge de la poule correspondait au facteur de temps, et le sexe était le terme aléatoire. La masse corporelle du poussin à l'éclosion a été testée comme covariante. La méthode de la plus petite différence significative (ppds) a été utilisée pour identifier les moyennes statistiquement différentes. Le seuil de signification a été défini à $P < 0,05$.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Nos données n'ont indiqué aucune différence ($p \geq 0,05$) due au régime alimentaire en termes de nombre total et utilisable d'œufs par poule (Tableau 1) pendant les 38 semaines correspondant à la durée de l'expérience. On a cependant relevé une tendance presque significative ($p < 0,10$) à un nombre réduit d'œufs utilisables pondus par les poules du groupe à niveau élevé d'OEI.

L'âge de la poule avait un effet sur la masse du fémur, ainsi que sur la longueur du fémur et du tibia, indépendamment du régime alimentaire (Tableau 1). Pour la largeur, l'interaction entre ces deux paramètres était significative.

Les fémurs des poussins issus de poules précoces étaient 12 % plus lourds que ceux des poussins issus des poules plus âgées (0,33 contre $0,29 \pm 0,02$ mm, Tableau 1). Le fémur était significativement plus long chez les poussins issus des poules d'âge moyen en comparaison avec les poules précoces et

plus âgées (25,17 contre 24,53 et $24,74 \pm 0,11$ mm respectivement, Tableau 1). Concernant le tibia, l'âge de la poule n'avait pas d'effet significatif sur la masse du tibia (Tableau 1). Les poussins issus de poules plus âgées présentaient des tibias plus courts que les poussins issus des poules d'âge moyen (33,42 contre $33,97 \pm 0,13$ mm, Tableau 1) ; il n'y avait aucune différence significative entre les longueurs de tibia des poussins issus de poules précoces et issus de poules plus âgées (33,68 contre $33,42 \pm 0,13$ mm, Tableau 1). L'impact de ces découvertes sur le développement futur du poussin, en particulier des poussins issus de jeunes poules, justifie par conséquent des analyses plus poussées.

Ces dernières années, des chercheurs se sont concentrés sur les effets de l'âge de la mère sur la croissance de la descendance ; cependant, aucune attention importante n'a été accordée à l'impact de l'âge de l'élevage maternel sur le développement de l'embryon et des os du poussin. Étant donné qu'une augmentation de la taille de l'œuf est associée à une augmentation de la taille et de la masse du poussin à l'éclosion (Tona et al., 2004 ; Willemsen et al., 2008), on pouvait s'attendre à ce que le développement osseux suive cette tendance. Nos données ont cependant indiqué que la masse et la longueur des os des pattes à l'éclosion semblent diminuer lorsque la poule est plus âgée. Une étude précédente a montré que les poussins issus d'un élevage de poules précoces (25 semaines) présentaient une résistance osseuse réduite par rapport à ceux issus d'un élevage plus âgé (65 semaines) (Shaw et al., 2010). Alfonso-Torres et al (2009) ont indiqué que l'ossification aux derniers stades du développement embryonnaire n'était pas différente chez les poussins issus d'un élevage de poules précoces (38 semaines) par rapport à ceux issus d'un élevage de poules plus âgées (60 semaines). Il est cependant important de mentionner que ces études mesuraient des poussins issus d'élevages de poules reproductrices jeunes et âgées différents. Notre étude comparait des poussins issus du même élevage de reproductrices pour poulets de chair, alimentées avec la même composition de base et gérées de façon similaire sur l'ensemble de l'étude. En conséquence, notre recherche différait des études rapportées précédemment, car elle excluait les variations dues à la composition du régime alimentaire en termes d'ingrédients et de nutriments, comme la gestion

des reproductrices, qui s'avère influencer la qualité du poussin (Yassin, 2008).

Une interaction importante entre le régime alimentaire et l'âge de la poule sur la largeur du tibia et du fémur a été observée (Tableau 1). Chez les poules précoces, les poussins issus des poules OEO présentaient des fémurs et des tibias qui étaient plus épais que ceux des poussins issus du groupe de contrôle et des poules à niveau élevé d'OEI (Tableau 1). Chez les poules d'âge moyen, les poussins issus des poules OEO et des poules à niveau élevé d'OEI présentaient des fémurs plus épais que les poussins du groupe OEO+OEI ; aucun des poussins avec traitement ne différait des poussins de contrôle. On n'a enregistré aucun effet du régime sur l'épaisseur du fémur et du tibia parmi les poussins issus des poules plus âgées.

Un complément en Cu, Zn et Mn chélatés au HMTBA a par exemple réduit l'incidence d'enchondromatose du tibia (Dibner et al., 2007), d'anomalies en varus et valgus, et augmenté la résistance à la rupture de l'os chez les dindes (Ferket et al., 2009). Dans cette recherche, nous avons démontré qu'un complément maternel en OEO augmentait le développement de l'os de la descendance, en particulier chez les poussins issus de poules précoces et d'âge moyen.

La forme des oligoéléments examinée dans cette recherche se compose d'un atome de Cu, Mn ou Zn chélaté par deux molécules de ligand hydroxy-analogues de méthionine (HMTBA). Ces liaisons covalentes rendent la molécule stable au faible pH du jabot œsophagien, du ventricule succenturié et du gésier (Richards et al., 2005), empêchant sa dissociation. En conséquence, le complexe protège le minéral de toute interaction avec des antagonistes alimentaires alors qu'il transite dans le tractus gastro-intestinal. Une fois que ce complexe atteint l'épithélium absorbant de l'intestin grêle, le minéral se dissocie du HMTBA et est alors transporté dans la cellule épithéliale par un vecteur (Richards et al., 2005). Comme les minéraux chélatés peuvent délivrer des oligoéléments plus efficacement vers les surfaces absorbantes (Richards, 2010), ils peuvent favoriser davantage le développement osseux que les compléments minéraux inorganiques.

L'importance de Zn, Cu et Mn dans le développement embryonnaire de l'os et du tissu conjonctif est bien décrite. Le manganèse par exemple joue un rôle essentiel dans la formation de la matrice organique osseuse aux tous premiers stades de l'embryogenèse. Le zinc joue un rôle important dans la synthèse du collagène et la croissance de l'hydroxyapatite, qui sont importants pour poursuivre le développement de l'os (Starcher et al., 1980 ; Ma et Yamaguchi, 2001).

Ce processus est accompli par l'enzyme lysyloxidase, qui nécessite Cu pour exercer son activité physiologique (Rucker et al., 1998). Ces fonctions des oligoéléments peuvent expliquer la raison pour laquelle un complément avec des formes mieux biodisponibles de minéraux organiques augmente l'épaisseur du tibia dans l'expérience actuelle.

Les anomalies du squelette sont des troubles fréquemment associés à une croissance rapide des poulets de chair (Angel, 2007). Dans l'industrie de la volaille, cela a un impact important sur le bien-être de l'oiseau car les volailles boiteuses souffrent, ce qui réduit leur aptitude à marcher, et à consommer de l'eau et des aliments (Cook, 2000 ; Naas et al., 2009). Nos résultats ont montré que le développement de l'os embryonnaire est réduit lorsque la poule est plus âgée. En outre, malgré un niveau inférieur d'oligoéléments supplémentaires, le développement du tibia à l'éclosion était augmenté dans le groupe des OEO par rapport à tous les autres traitements administrés aux poules précoces ; l'OEO a entraîné un meilleur développement du fémur par rapport à celui du groupe issu des poules OEI et à un niveau élevé d'OEI chez les poules précoces, et par rapport à celui du groupe OEO + OEI chez les poules d'âge moyen. Nos découvertes présentent un intérêt pratique car les os plus larges des poulets de chair peuvent augmenter la résistance à la rupture, ce qui à son tour peut augmenter la performance et la santé des poulets de chair.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alfonso-Torres, K. A., L. H. Gargaglioni, J. M. Pizauro, D. E. Faria Filho, R. L. Furlan, and M. Macari. 2009. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 61:219-226.
- Angel, R. 2007. *J Appl Poult Res* 16:138-149.
- Bellaïrs and Osmond, ed. 2005. *The Atlas of Chick Development*. Academic Press, San Diego. pp. 95-96.
- Cao, J., P. R. Henry, R. Guo, R. A. Holwerda, J. P. Toth, R. C. Littell, R. D. Miles, and C. B. Ammerman. 2000. *J. Anim. Sci.* 78:2039-2054.
- Cook, M. 2000. *Poult. Sci.* 79:982-984.
- Dibner, J. J., J. D. Richards, M. L. Kitchell, and M. A. Quiroz. 2007. *J Appl Poult Res* 16:126-137.
- Ferket, P. R., E. O. Oviedo-Rondon, P. L. Mente, D. V. Bohorquez, A. A. Santos Jr., J. L. Grimes, J. D. Richards, J. J. Dibner, and V. Felts. 2009. *Poult Sci* 88: 118-131. Leeson and Summers. 2001. *Nutrition of the Chicken*. 4th ed. Univ. Books, Guelph, Ontario, Canada. pp.335-340.
- Ma, Z. J., and M. Yamaguchi. 2001. *J. Bone Mineral Metabol.* 19:38-44.
- Naas, I. A., I. C. L. A. Paz, M. S. Baracho, A. G. Menezes, L. G. F. Bueno, I. C. L. Almeida, and D. J. Moura. 2009. *J Appl. Poult Res.* 18:432-439.
- Richards, J., J. H. Atwell, and J. Dibner. 2005. *Poult. Sci.* 84 (Suppl. 1):89.
- Richards, J. D. 2010. *Feedstuffs*. Vol.82, No 03. Available at: <http://www.novusint.com/LinkClick.aspx?fileticket=pSZ1sW9oOdY%3d&tabid=2804>. Accessed on November 19th, 2010.
- Richards, M.P., and M.J. Packard. 1996. *Poult. Avian Biol. Rev.* 7:143-161.
- Romanoff, A. L. 1967. MacMillan, New York, NY. 398 p.
- Rucker, R. B., T. Kosonen, M. S. Clegg, A. E. Mitchell, B. R. Rucker, J. Y. Uriu-Hare, and C. L. Keen. 1998. *Am J Clin Nutr* 67 (suppl): 996-1002.
- Shaw, A. L., J. P. Blake, and E. T. Moran. 2010. *Poult. Sci.* 89:295-302.
- Starcher, B. C., C. H. Hill, and J. G. Madaras. 1980. *J. Nutr.* 110:2095-2102.
- Tona, K., O. Onagbesan, B. De Ketelaere, E. Decuyper, and V. Bruggeman. 2004. *J Appl Poult Res* 13:10-18.
- Wang, A., and L. A. Goonewardene. 2004. *Can. J. Anim. Sci.* 84.
- Willemssen, H., N. Everaert, A. Witters, L. De Smit, M. Debonne, F. Verschuere, P. Garain, D. Berckmans, E. Decuyper, and V. Bruggeman. 2008. *Poult. Sci.* 87:2358-2366.
- Yassin, H., Velthuis, A.G.J., Boerjan, M., van Riel, J., Huime, R.B.M. 2008. *Poult. Sci.* 87 :2408-2417.

Tableau 1. Effet de la forme de Cu, Mn et Zn alimentaires sur les caractéristiques de l'os des poussins de chair (n= 216).

Régime* âge de la poule	Tibia			Fémur			
	Masse (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Masse (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	
Contrôle ¹	33	0,49	33,52	1,92 ^b	0,33	24,62	1,89 ^{bc}
Contrôle	46	0,54	33,85	1,88 ^{bc}	0,32	25,13	1,90 ^{bc}
Contrôle	60	0,53	33,48	1,82 ^{cd}	0,29	24,85	1,77 ^{de}
OEO ²	33	0,54	33,73	2,02 ^a	0,36	24,32	1,99 ^a
OEO	46	0,51	33,99	1,87 ^{bc}	0,32	25,18	1,91 ^b
OEO	60	0,53	33,75	1,78 ^d	0,30	24,81	1,74 ^e
OEO + OEI ³	33	0,50	33,60	1,91 ^b	0,32	24,55	1,93 ^{ab}
OEO +OEI	46	0,51	33,81	1,81 ^{cd}	0,32	25,06	1,83 ^{cd}
OEO +OEI	60	0,47	33,10	1,79 ^d	0,27	24,54	1,75 ^e
Niveau élevé d'OEI ⁴	33	0,49	33,87	1,91 ^b	0,34	24,63	1,87 ^{bc}
Niveau élevé d'OEI	46	0,49	34,21	1,90 ^b	0,29	25,32	1,94 ^{ab}
Niveau élevé d'OEI	60	0,51	33,36	1,81 ^{cd}	0,30	24,75	1,75 ^e
Erreur type sur la moyenne		0,02	0,24	0,03	0,14	0,19	0,03
Valeur ANOVA, P							
Traitement		0,1219	0,3068	0,1401	0,1325	0,6232	0,2310
Âge de la poule		0,9521	0,0188	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Régime* âge de la poule		0,1327	0,7720	0,0350	0,3273	0,8391	0,0051
Masse ⁵		0,0016	<,00001	0,3526	<,0001	<,0001	0,0149

Les moyennes des moindres carrés sur une même colonne et les effets d'interaction qui n'ont aucun exposant commun différent de façon significative (P≤0,05).

¹ Contrôle : sulfates minéraux à 100 mg/kg Zn, 120 mg/kg Mn et 10 mg/kg Cu.

² OEO : Mintrex P (Zn, Mn et Cu chélatés par HMTBA) à 50 mg/kg Zn, 60 mg/kg Mn, 10 mg/kg Cu.

³ OEO + OEI : contrôle plus 40 mg/kg Zn, 40 mg/kg Mn et 20 mg/kg Cu supplémentaires sous forme d'OEO.

⁴ Niveau élevé d'OEI : contrôle plus 40 mg/kg Zn, 40 mg/kg Mn et 20 mg/kg Cu supplémentaires sous forme de sulfates.

⁵ La valeur P montre l'effet de la masse corporelle sur les caractéristiques de l'os, utilisée ensuite comme covariante pour l'analyse.

Âge des poules : 33, 46 et 60 semaines.