

Influence du complexe d'acides aminés de manganèse dans les aliments pondeuses sur l'ultrastructure et les propriétés mécaniques de la coquille

Cibele Torres¹, Leonardo Linares¹, Jing Wang²

¹*Zinpro Corporation - 10400 Viking Drive, Suite 240 - code postal 55344,*

²*Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences - Zhongguancun
nandajie 12hao - code postal 100081
ctorres@zinpro.com*

RÉSUMÉ

Le manganèse (Mn) est un oligo-élément essentiel à la qualité de la coquille. L'objectif de cette étude a été de vérifier si différentes sources de Mn pouvaient influencer la calcification et la qualité de la coquille. 324 pondeuses brunes Hy-line ont été réparties au hasard en 3 traitements alimentaires avec 6 répétitions. De 21 à 46 semaines, toutes les pondeuses ont reçu un aliment à base maïs-soja. Le groupe 1 témoin n'a pas eu de supplémentation en Mn (21,95 mg Mn/kg), le groupe 2 a été supplémenté avec 40 mg/kg de Mn sous forme de sulfate (MNSO₄) tandis que le groupe 3 recevait 40 mg/kg de Mn sous forme de complexe d'acides aminés (MnAAC). L'analyse de l'ultrastructure de la coquille d'œuf a été mesurée à 34 et 46 semaines d'âge. Les données ont été analysées en utilisant une ANOVA univariée et PPDS à P<0,05. La production d'œufs a été la plus importante avec la supplémentation en MnAAC suivie par MnSO₄ ($88,4 \leq 90,8 \leq 92,9$ %, $p=0,016$, témoin, MnSO₄, MnAAC respectivement). La teneur en acide uronique a augmenté aux deux âges. L'apport de Mn a augmenté dans les membranes coquillières, la teneur en acide uronique ($3,72 \leq 4,06 < 4,67$ mg/g, $p=0,007$) et en GAGs ($2,11 < 2,31 < 2,40$ mg/g, $p=0,06$), dans les groupes Témoin, MnSO₄ et MnAAC respectivement, pour les œufs issus des poules à 46 semaines. L'ultrastructure de la coquille a également été affectée, le groupe MnAAC présentant une largeur de cône mamillaire réduite et une épaisseur de couche mamillaire et effective accrue, ce qui a entraîné une plus grande résistance à la force appliquée avant rupture par rapport aux autres traitements ($31,2 \leq 34,3 \leq 36,94$, $p=0,005$, Témoin, MnSO₄, MnAAC, respectivement, à 46 semaines). L'apport de Mn sous forme MnAAC a amélioré la qualité de la coquille et ses propriétés mécaniques en augmentant la teneur en matrice organique dans la coquille calcifiée et la membrane, ce qui a amélioré l'ultrastructure de la coquille et sa résistance à la rupture.

ABSTRACT

Influence of manganese amino acid complex in layer diets on shell organic matrix composition, eggshell ultrastructure and mechanical property

Manganese (Mn) is a critical trace mineral for eggshell quality. This study investigated if different sources of Mn supplemented in the laying diet would influence calcification and eggshell quality. A total of 324 Hy-line Brown layers were randomly assigned into 3 dietary treatments with 6 replicates, each contained 18 birds. From 21 to 46 weeks, layers were fed a Control corn-soybean basal diet (21,95 mg Mn/kg) or the basal diet supplemented with 40 mg/kg Mn as sulfate (MNSO₄) or 40 mg/kg Mn as amino acid complexed (MnAAC). Eggshell ultrastructure analysis was measured at 34 and 46 weeks of age. Eggshell breaking strength were evaluated at the end of every 4 weeks. Data were analysed using a one-way ANOVA and LSD was employed to compare the means at P<0.05 significance. Egg production was greatest with MnAAC supplementation followed by MnSO₄ ($88.4 \leq 90.8 \leq 92.9$ %, $p=0.016$ Control, MnSO₄, MnAAC respectively). Eggshell uric acid content was increased at both ages whereas. Mn supplementation increased the content of uric acid ($3.72 \leq 4.06 < 4.67$ mg/g, $p=0.007$, Control, MnSO₄, MnAAC respectively) and GAGs ($2.11 < 2.31 < 2.40$ mg/g, $p=0.06$, Control, MnSO₄, MnAAC respectively) in the eggshell membrane of eggs at 46 weeks of age. At this time, the eggshells of MnAAC fed group had decreased mamillary cone width and improved both effective and mamillary layer thickness resulting in greatest resistance to break compared with other treatments ($31.7 \leq 34.3 \leq 36.94$, $p=0.005$, Control MnSO₄, MnAAC, respectively). Dietary MnAAC improved eggshell quality and mechanical property by increasing organic matrix content in the calcified eggshell and membrane resulting in improved eggshell ultrastructure and breaking strength.

INTRODUCTION

Le manganèse (Mn) est un nutriment essentiel qui joue un rôle déterminant dans les processus homéostatiques normaux, notamment dans la formation du tissu conjonctif des os et de la coquille des œufs. La coquille d'œuf de poule contient 1,6% d'eau, environ 3,5% de matrice organique incluant les membranes de la coquille et 95% de minéraux inorganiques (Gautron et al, 2021). Environ 98,4 % de la partie inorganique est constituée de carbonate de calcium. La matrice organique est composée de centaines de protéines de coquille d'œuf ; collagènes, protéoglycanes et glycosaminoglycanes (GAGs) qui interagissent avec la matrice inorganique de carbonate de calcium en contrôlant sa formation, son organisation structurale et sa texture. Ces interactions déterminent les propriétés mécaniques de la coquille d'œuf. Les membranes de la coquille d'œuf jouent un rôle clé dans la calcification initiale de la coquille. Ces membranes coquillières sont synthétisées et déposées lorsque l'œuf en formation atteint le segment isthmique de l'oviducte. Puis, dans l'heure qui suit, l'œuf en formation sera baigné de fluides riches en protéines, en collagène, en protéines de la matrice de la coquille d'œuf riches en cystéine et en GAGs qui sont également des composants organiques essentiels contenus dans les membranes et la coquille d'œuf calcifiée. Les GAGs sulfatés peuvent s'attacher aux protéines centrales pour former des protéoglycanes. Les GAGs dans les membranes de la coquille ont une corrélation positive élevée avec la résistance de la coquille d'œuf (Ha et al., 2007). Young et al, 2007 ont indiqué que la résistance à la rupture des coquilles d'œufs était directement liée à la teneur en sulfate de kératane des membranes de la coquille ; le sulfate de kératane est considéré comme étant un GAG majeur.

La supplémentation en manganèse dans les régimes alimentaires des pondeuses a des effets positifs sur la formation de la coquille d'œuf et son ultrastructure, ce qui entraîne une amélioration de la qualité de la coquille (Xiao et al., 2014, Zhang et al., 2017). Le manganèse est vital pour le métabolisme des GAGs et de l'acide uronique (UA), qui sont des composants clés de la matrice organique de la coquille d'œuf. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de la supplémentation et de la source de Mn sur la qualité de la coquille des œufs.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux et régimes alimentaires

Un total de 324 pondeuses brunes Hy-line ont été réparties au hasard en 3 traitements alimentaires avec 6 répétitions, chacune contenant 18 oiseaux. Ces poules ont été nourries avec un régime à base de maïs et de soja (21,95 mg Mn/kg) pendant deux semaines avant le début de l'étude. De 21 à 46 semaines, les

pondeuses ont été nourries avec le régime témoin ou le régime témoin supplémenté avec 40 mg/kg de Mn sous forme de sulfate (MnSO_4) ou 40 mg/kg de Mn sous forme de complexe d'acides aminés (MnAAC, Zinpro ProPath® Mn 15%).

1.2. Qualité et ultrastructure de la coquille d'œuf

Les œufs étaient ramassés deux fois par jour ; le nombre d'œufs et le poids total des œufs ont été regroupés (pooled) pour calculer le poids moyen des œufs chaque semaine. Les aliments restants ont été pesés toutes les 4 semaines ; la consommation d'aliments et la quantité par œuf ont été calculés. A la fin de chaque période de 4 semaines, 6 œufs par répétition ont été collectés pour mesurer la force de la coquille (résistance à la rupture). L'analyse de l'ultrastructure de la coquille d'œuf, la teneur en calcium (Ca), en Mn, en GAGs et en UA ont été mesurées à 34 et 46 semaines d'âge.

Les échantillons de coquilles calcifiées ont été examinés au microscope électronique à balayage. L'épaisseur de la couche mamillaire, la largeur des cônes mamillaires et l'épaisseur effective de la coquille ont été mesurées et calculées avec la règle du microscope électronique à balayage, épaisseur effective = épaisseur totale - épaisseur de la couche mamillaire. L'épaisseur de la couche mamillaire et la largeur des cônes mamillaires ont été calculées comme la moyenne de 5 cônes mamillaires par photographie électronique à balayage. Les données ont été analysées par analyse de variance univariée et le test de Différence Significative Minimale (LSD) a été employé pour comparer les moyennes quand les différences étaient significatives à $p < 0.05$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Cette étude a porté sur l'effet d'une supplémentation alimentaire en Mn sur la qualité et l'ultrastructure de la coquille des œufs, ainsi que sur le contenu en GAG et en acide uronique. La supplémentation en manganèse a augmenté la production d'œufs, cet effet était plus important avec 40 MnAA (Tableau 1). De même, une supplémentation de 40 ppm de Mn a amélioré la résistance à la rupture de la coquille des œufs par rapport aux œufs de poules non supplémentées ; cet effet était le plus important dans le groupe MnAAC (Figure 1).

La supplémentation en Mn n'a pas affecté la teneur en Ca de la coquille, mais a augmenté sa teneur en Mn, les valeurs les plus élevées étant celles du groupe MnSO_4 . Une supplémentation de 40 ppm de MnSO_4 ou de MnAAC n'a pas affecté la teneur en GAGs de la coquille à 34 semaines ; cependant la teneur en URA a augmenté avec la supplémentation en MnAAC à 34 et 46 semaines d'âge (Tableau 2). Le manganèse complexé à un acide aminé a eu tendance à augmenter la teneur en GAG et en URA dans les membranes des coquilles d'œufs de poules âgées de 46 semaines. Xiao et al, (2015) ont rapporté que la supplémentation en Mn augmentait le GAG et l'URA dans la membrane

de la coquille d'œuf et augmentait la résistance à la rupture et l'épaisseur des œufs de poules de 50-62 semaines nourries avec 100 ppm de $MnSO_4$ par rapport à celles nourries avec 25 ppm de $MnSO_4$ ou un régime non supplémenté en Mn.

Le manganèse joue un rôle important dans la formation de la coquille d'œuf. Xiao et al, (2014) ont rapporté que la supplémentation en Mn a entraîné une diminution de la taille des noyaux mamillaires et moins de fissures sur la surface externe, ce qui résulte de l'augmentation des contenus en GAGs et en acide uronique dans les membranes de la coquille. Young et al. (2007) ont signalé une forte corrélation entre la résistance à la rupture de la coquille d'œuf et les GAG dans les membranes coquillières. Dans l'étude actuelle, l'apport de MnACC a amélioré les propriétés mécaniques de la coquille d'œuf et ce résultat pourrait être dû à la modification du contenu de la matrice organique et de la structure de la coquille. L'ultrastructure de la coquille d'œuf est composée de deux membranes, la couche mamillaire et la couche effective (comprenant la couche palissadique, la couche de cristaux verticaux et la cuticule). Les coquilles dont l'épaisseur effective est plus grande, l'épaisseur mamillaire plus faible et la largeur du bouton mamillaire plus faible présentent une résistance accrue à la rupture (Rodriguez-Navarro et al., 2002). Les photos prises au microscope électronique à balayage ont montré que les poules non supplémentées en Mn pondaient des œufs dont la

structure de la coquille était différente de celle du groupe ayant reçu du Mn. Le groupe témoin non supplémenté avait une couche mamillaire plus grande et différemment disposée. La couche mamillaire était 10,6% plus épaisse et 11,72% plus large dans le groupe témoin par rapport au groupe 40 Mn AAC ; les poules supplémentées avec $MnSO_4$ avaient des valeurs intermédiaires et non significativement différents des autres traitements (Tableau 3). De même, dans le groupe 40 MnAAC, l'épaisseur de la couche effective a augmenté ainsi que le ratio par rapport aux autres traitements ; l'épaisseur totale n'a pas été affectée par la supplémentation en Mn. Les résultats rapportés dans cette étude sont en accord avec les études précédentes qui ont étudié l'effet de la supplémentation et de la source de Mn sur la qualité et l'ultrastructure de la coquille des œufs (Xiao et al, 2014, Xiao et al, 2015, Zang et al, 2017).

CONCLUSION

La supplémentation des aliments des pondeuses avec 40 ppm de Mn a amélioré la qualité des coquilles par rapport aux poules non supplémentées. La supplémentation des régimes avec 40 ppm de Mn provenant de MnACC a augmenté la teneur en matrice organique dans la coquille, a favorisé une ultrastructure de qualité supérieure et a augmenté la résistance à la rupture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gautron J. 2021. BMC Molec Cell Biology (22), 11
Rodriguez-Navarro. 2002. Br. Poult. Sci. (43), 395–403.
Ha, Y.W 2007. Comparative Biochemistry and Physiology (147), 1109-1115
Xiao J.F. 2015. Poult Sci (94),1871–1878
Xiao J.F.2014. Poult Sci (93), 380–388
Zhang, Y.N. 2017. Poult Sci (96), 2184-2193

Tableau 1. Effets de la supplémentation en Mn sur la production d'œufs de poules pondeuses Hyline Brown

Traitement	Age des poules pondeuses (de 23 à 46 semaines)				
	Production d'œufs (%)	Poids œuf (g)	Masse œuf (g)	Ingéré alimentaire (g/j)	I.C.
0 - Témoin	88.41 ^b	64.35	56.23	117.18	2.06 ^a
40 - MnSO ₄	90.78 ^{ab}	63.18	56.67	116.03	2.02 ^{ab}
40 - MnAAC	92.91 ^a	63.67	56.91	115.72	1.96 ^b
SEM	0.41	0.13	0.37	0.36	0.01
P value	0.016	0.056	0.058	0.071	0.037

Les moyennes dans une colonne sans exposant commun diffèrent significativement ($P < 0,05$).

Tableau 2. Effets d'une supplémentation en Mn sur la teneur en glycosaminoglycanes (GAGs) et en acide uronique (URA) dans les coquilles d'œufs de poules pondeuses Hyline Brown à 34 et 46 semaines d'âge

Traitement	Coquille d'œuf calcifiée				Membranes coquillières			
	GAGs		URA		GAGs		URA	
	34 sem	46 sem	34 sem	46 sem	34 sem	46 sem	34 sem	46 sem
0 - Témoin	0.116	0.102	0.111 ^c	0.112 ^b	2.09	2.11	3.28 ^b	3.72 ^b
40 - MnSO ₄	0.117	0.108	0.138 ^b	0.138 ^a	2.23	2.31	4.24 ^a	4.06 ^b
40 - MnAAC	0.120	0.107	0.161 ^a	0.151 ^a	2.30	2.40	4.43 ^a	4.67 ^a
SEM	0.003	0.002	0.006	0.005	0.05	0.05	0.16	0.14
P value	0.890	0.435	0.001	0.002	0.188	0.067	0.002	0.007

Les moyennes dans une colonne sans exposant commun diffèrent significativement ($P < 0,05$).

Tableau 3. Effets d'une supplémentation en Mn sur l'ultrastructure de la coquille des œufs de poules pondeuses Hyline Brown à 46 semaines d'âge

Traitement	Largeur du cône mamillaire (µm)	Épaisseur effective de la couche (µm)	Épaisseur de la couche mamillaire (µm)	Épaisseur totale (µm)	Rapport d'épaisseur de la couche effective : couche mamillaire
0 - Témoin	88.42 ^a	265.73 ^b	70.52 ^a	336.25	3.80 ^b
40 - MnSO ₄	82.17 ^{ab}	266.65 ^b	64.54 ^{ab}	331.19	4.14 ^b
40 - MnAAC	79.04 ^b	288.64 ^a	62.25 ^b	350.89	4.66 ^a
SEM	1.48	3.93	1.43	30.98	0.12
P value	0.020	0.015	0.040	0.724	0.003

Les moyennes dans une colonne sans exposant commun diffèrent significativement ($P < 0,05$).

Figure 1. Effets d'une supplémentation en Mn sur la résistance à la rupture de la coquille d'œuf (N) de poules pondeuses Hyline Brown

