

REVUE SUR LA TRANSLUCIDITE DE LA COQUILLE D'OEUF : DESCRIPTION, CAUSES ET VOIES D'AMELIORATION DE LA QUALITE DES OEUFS

Huard Mireille¹

¹NOVUS Europe- Leuvensesteenweg 643, Box 15, 1930 ZAVENTEM, Belgique
mireille.huard@novusint.com

RÉSUMÉ

La translucidité de la coquille d'œuf est un problème de qualité qui affecte principalement l'apparence de l'œuf mais peut aussi être impliqué dans sa résistance à la rupture et aux contaminations microbiennes, et concerne aussi bien les œufs de consommation que les œufs à couver. Si le problème n'est pas récent, il n'est pas encore assez étudié pour être complètement expliqué. L'objectif de cet article est de faire la synthèse bibliographique des articles disponibles sur ce sujet. La revue bibliographique réalisée s'attache à décrire d'abord le phénomène qui peut être mesuré simplement en élevage par un mirage sous une lampe, moyennant une échelle de notation de sévérité. La translucidité de la coquille est le résultat du transfert de l'humidité du contenu de l'œuf à travers la membrane de la coquille et de son accumulation dans la coquille, ce qui entraîne une transmission accrue de la lumière. Cette translucidité est due à des irrégularités structurelles de la coquille et des membranes coquillières, même si les causes ne sont pas claires : il est probable qu'elle soit due à une combinaison de facteurs, notamment la formation des pores, l'ultrastructure de la couche mamillaire et peut-être la formation de la calcite.

Les conséquences de la translucidité sont de plusieurs ordres : on fera le point sur le lien avec la résistance de la coquille à la rupture, avec les échanges gazeux et la pénétration des bactéries. Quant à l'effet de la translucidité sur les performances de reproduction, il peut être variable selon les auteurs.

Certains facteurs peuvent favoriser son apparition, comme l'âge des poules, leur origine génétique, les conditions d'élevage (humidité ambiante, densité), l'état sanitaire du troupeau et la nutrition.

Parmi les éléments nutritionnels pouvant impacter la translucidité, certains oligoéléments comme le Cuivre, Zinc et Manganèse pourraient jouer un rôle, par leur effet sur les membranes coquillières et la structure de la couche mamillaire. Des recherches complémentaires sont toutefois nécessaires pour montrer leur effet direct sur la translucidité.

ABSTRACT

Review on Eggshell translucency : description, causes and consequences for the egg production

Eggshell translucency is a quality issue that affects not only the appearance of the egg but also could be involved in its resistance to breakage and microbial contamination, and concerns both table eggs and hatching eggs. Although the problem is not recent, it is not yet studied enough to be fully explained. This article proposes to review of the literature. The review will first describe the phenomenon, which can be measured simply by candling under a lamp, using a severity scoring scale. The translucency of the shell is the result of the transfer of moisture from the egg contents through the shell membranes and its accumulation in the shell, which leads to increased light transmission. This translucency is due to structural irregularities in the egg shell and membranes, although the causes are unclear: it is likely to be due to a combination of factors, including pore formation, ultrastructure of the mamillary layer, and possibly calcite formation.

The consequences of translucency will be investigated, including its role on shell resistance to breakage, gas exchange and bacterial penetration. As for the effect of translucency on reproductive performance it may vary according to the authors.

Some factors may favor its appearance, such as the age of the hens, genetics, rearing conditions (humidity, density), sanitary state of the flock and nutrition.

Among the nutritional elements that can have an impact on translucency, certain trace elements such as Copper, Zinc and Manganese may play a role, through their effect on shell membranes and the structure of the mammillary layer. Further research is needed to show their direct effect on translucency.

INTRODUCTION

La coquille d'œuf est une partie essentielle de l'œuf, car elle permet d'assurer la protection physique de l'œuf et de l'embryon. Sa qualité contribue également à la valeur économique de l'œuf, en réduisant les pertes liées à une mauvaise apparence ou à des problèmes de casse (Ketta and Tůmová 2016). Malgré ces propriétés de résistance et de protection de l'œuf exceptionnelles, la coquille de l'œuf est sujette à des défauts, qui peuvent impacter non seulement la qualité intrinsèque de l'œuf (fraîcheur) mais aussi sa qualité microbiologique et sa valeur économique.

On s'intéresse dans cette revue à un défaut de qualité en particulier, dont les différentes dénominations dans les articles internationaux dénotent déjà d'une certaine confusion et de l'absence de définition claire : la translucidité. Selon les auteurs, on peut retrouver ce défaut sous le nom anglais de translucent eggs (œufs translucides) (Wang et al. 2017 ; Ray and Roberts 2013), mottled (mouchetés) (Aviagen, Bramwell R.K. 2002), striped marked (marqués d'une bande) ou même hairline cracks (microfissures en cheveu). Ces deux dernières dénominations désignent selon les auteurs des coquilles présentant des lignes visibles plus blanches au mirage, mais sans fissure visible de la coquille ou de la membrane (Liu et al. 2017), ou seulement de la membrane (Aviagen. ; Barnett et al., 2004), ce qui les place à part dans la définition de la translucidité.

1. CONSTITUTION ET FORMATION DE LA COQUILLE

La coquille d'œuf de poule représente environ 11% du poids de l'œuf, et est constituée principalement de carbonate de calcium (94-96%) et d'une matrice organique principalement constituée de protéoglycanes et de protéines (4%) (Figure 1) (Hincke et al. 2012).

La coquille est organisée en couches successives, avec à sa base 2 membranes : une interne, en contact avec l'albumen, l'autre, externe en contact avec la couche minérale. Les membranes forment un réseau de fibres protéiques non orientées. Ces membranes sont intimement connectées avec la partie minérale qui, elle, se compose de 3 couches. Sur la membrane externe, des petits amas amorphes calcifiés forment les noyaux mamillaires à partir desquels se développent la couche mamillaire, puis la couche palissadique, composée de grandes colonnes. Cette couche palissadique correspond aux deux tiers de l'épaisseur minérale de la coquille d'œuf ; elle se termine par une fine couche cristalline verticale perpendiculaire à la surface de la coquille et située à la surface de la coquille externe (Gautron et al., 2021, Solomon, 2010).

Enfin, la cuticule couvre la couche minérale d'un film de protéine, qui en séchant permet de boucher les pores et de limiter les échanges gazeux entre l'intérieur et l'extérieur de l'œuf (Ketta and Tůmová 2016).

Des pores qui traversent ou non toute la coquille viennent compléter cette structure. Ils se forment à partir de la couche mamillaire, lorsqu'il y a regroupement de plusieurs noyaux mamillaires (4-5) qui en poussant à la fois latéralement et verticalement, laissent en leur centre un espace qui va pouvoir servir de canal d'échange entre l'œuf et l'extérieur (Solomon, 2010).

La résistance à la rupture de la coquille est en particulier liée à sa structure cristalline, mais aussi à la constitution de ses membranes coquillières.

Les membranes de la coquille d'œuf sont synthétisées et déposées dans le segment isthmique de l'oviducte. Les membranes de la coquille d'œuf sont composées d'un réseau entrelacé de fibres protéiques riches en cystéine, en collagène, qui sont réticulées par des liaisons irréversibles avec des dérivés de la lysine (Gautron et al., 2021 ; Hincke et al., 2014).

Le mécanisme de formation de la coquille dans l'utérus est complexe et mobilise 2 mécanismes importants : la fourniture en continu par le fluide utérin des ions nécessaires à la formation de la coquille, et la sécrétion de protéines, qui assure la régulation de la biominéralisation de la coquille (Gautron et al. 2021)

2. DESCRIPTION DE LA TRANSLUCIDITE

Les œufs translucides sont identifiés grâce à un mirage à la lumière. Des taches blanches voire même des lignes se détachent par rapport au reste de la coquille, plus opaque à la lumière. Ils peuvent être notés sur une échelle de score : Wang et al. (2019) en décrit une à 4 points dans son article (Figure 2).

D'autres méthodes de mesures utilisent le traitement et la reconnaissance d'images pour quantifier la densité, la taille et le nombre de zones claires (Wang et al. 2019) ou la colorimétrie par spectrophotomètre. Même si les méthodes d'imagerie sont plus objectives que la méthode de scoring, l'étude de Wang et al. (2019) conclut que cette dernière peut être utilisée pour classer les œufs dans les élevages commerciaux.

Les zones les plus claires correspondent à des zones plus humides, alors que les autres parties de la coquille restent opaques au mirage. Solomon (2010) explique que les zones translucides correspondent au transfert de l'humidité de l'œuf à travers les membranes et son accumulation dans la coquille.

Simons (2019) indique 2 causes possibles : une cuticule plus fine par endroits ou une anomalie dans la structure de la coquille, qui favorise la pénétration de l'eau dans la coquille.

Bramwell (2002) estime que ce changement d'apparence résulte de la séparation légère de la membrane coquillière d'avec la couche calcifiée de la coquille, ce qui fait apparaître cette « fenêtre » plus claire. La migration de l'eau dans cette partie de la coquille n'entraîne pas selon lui de perte d'eau de l'œuf lui-même.

En raison de cette migration progressive de l'eau dans la coquille, ces phénomènes peuvent être détectés plutôt après quelques jours de stockage. Il peut donc arriver qu'une coquille en apparence sans trace de translucidité ou avec quelques points clairs évolue au bout de 3-4 jours et montre des lignes continues plus claires. Au contraire la progression des vraies fissures n'évolue pas au cours du temps (Liu et al. 2017).

Il est donc recommandé d'évaluer la translucidité des coquilles après quelques jours de stockage, et toujours dans les mêmes conditions d'environnement (température, humidité) afin de limiter la variabilité des réponses.

La plupart des œufs translucides ne sont pas détectés, car les systèmes automatiques de détection des défauts ne les détectent pas, mais l'incidence de ce phénomène peut atteindre 11% selon Roberts et al. (2019).

3. CARACTERISTIQUES DES COQUILLES D'ŒUFS TRANSLUCIDES

Selon les auteurs, les coquilles d'œufs translucides peuvent être plus épaisses, plus fines, ou non différentes des coquilles opaques (Gole et al., 2014 ; Wang et al., 2017), et de manière contre-intuitive, leur résistance à la rupture peut être plus importante que les œufs non translucides (Wang et al. 2017). Wang et al. (2017) ont mis en évidence que les coquilles d'œufs translucides sont plus épaisses et plus résistantes que les coquilles d'œufs opaques, mais présentent des membranes coquillières significativement plus fines. Wang et al. (2017) ont également observé des différences significatives de résistance à la rupture des membranes, montrant que les membranes de coquille translucides étaient moins résistantes à la rupture dans le sens longitudinal que celles de coquilles opaques.

Alors que les pores des coquilles pourraient être la zone d'accumulation visible de l'humidité, il n'existe pas de différences significatives du nombre de pores entre les œufs opaques et translucides (Ray and Roberts, 2013). En revanche, dans cette étude, le nombre de pores traversants semble diminuer avec le score de translucidité, quand le nombre de pores externes est augmenté.

Chousalkar et al. (2010) ont prélevé des morceaux de coquille à fort taux de translucidité et les ont examinés au microscope électronique. Ils ont observé que la couche mamillaire des coquilles

translucides présentait des alignements, au contraire des coquilles normales dont les noyaux mamillaires sont disposés aléatoirement. Il a également observé l'érosion et la dépression de la couche mamillaire sur les coquilles translucides, qui pourrait être due à l'accumulation de débris d'oviducte sur les membranes coquillières avant la formation de la couche mamillaire. Des corrélations similaires ont été observées par Roberts et al. (2013) entre la fréquence d'alignement des noyaux mamillaires et le score de translucidité, mais les travaux de ces derniers ont également démontré une corrélation négative entre la présence de membrane résiduelle après dissolution de la coquille par acidification et le score de translucidité (moins de membrane résiduelle pour les œufs les plus translucides). Ce défaut d'attachement de la membrane à la coquille a été récemment évoqué par Benavides-Reyes et al. (2021) en lien avec la diminution de la densité des noyaux mamillaires sur les poules âgées. La translucidité résulterait donc de changements dans la couche mamillaire, probablement en raison des modifications lors de la formation des noyaux mamillaires pendant les premières phases de la formation de la coquille d'œuf. (Chousalkar et al., 2010; Wang et al., 2017; Zhang et al., 2018). Les alignements des noyaux mamillaires constatés sur les coquilles translucides pourraient être également des zones de fragilité de la coquille qui auraient donc finalement pour conséquence d'augmenter l'incidence des microfissures (Bain et al., 2006 ; Roberts et al., 2013). Si des forces mécaniques (même faibles, comme celles occasionnées par les marteaux de détection acoustique) sont exercées sur ces œufs, les lignes blanches peuvent apparaître après 24 heures de stockage (Simons, 2019).

Ces alignements ainsi que les zones d'érosion ou tout du moins la présence d'espaces dans la couche mamillaire (Roberts et al., 2013) pourraient être également être à l'origine d'accumulation d'eau entraînant l'apparition de la translucidité. La taille des mailles du réseau des membranes coquillières pourrait être reliée à la translucidité (Wang et al., 2017). Une technique intéressante de mesure du maillage de la membrane coquillière externe, et utilisée par Berrang et al. (1999) dans un test de pénétration de salmonelles, pourrait permettre de mettre en relation la translucidité et la taille des mailles du réseau de fibres de cette membrane.

4. CONSÉQUENCES DE LA TRANSLUCIDITÉ DES COQUILLES

En dehors des relations précédemment observées entre la translucidité et certains paramètres liés à la coquille comme la résistance à la rupture (qui demande à être confirmée) et l'épaisseur des membranes coquillières, certains auteurs ont étudié la relation entre la translucidité des coquilles et d'autres paramètres de qualité d'œuf.

1. Fraîcheur

Dans l'expérience réalisée par Liu et al. (2017), les unités Haugh permettant de mesurer la fraîcheur de l'œuf ont diminué significativement au bout de 15 jours de stockage à 25°C et 50% d'humidité relative, et de façon plus importante pour les œufs présentant, par ordre décroissant, des microfissures, des lignes blanches marquées, des lignes blanches mineures, ou aucun défaut apparent.

Les pertes en eau ou en poids d'œuf ne diffèrent pas significativement entre les groupes, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que la migration d'eau vers la coquille n'est pas associée à une évaporation accrue de l'eau contenue dans l'œuf via les pores de la coquille.

2. Pénétration des bactéries

Les conséquences en termes de pénétration des bactéries sont importantes à prendre en considération en raison de l'impact sur la qualité sanitaire des œufs.

Il y a une tendance à l'augmentation de la pénétration des bactéries *Salmonella Agona* avec la translucidité selon Ray et Roberts (2013). Chousalkar et al. (2010) trouvent une corrélation significative entre la translucidité de la coquille d'œuf et la pénétration de la coquille d'œuf par *Salmonella Infantis* et *E. coli*. Gole et al. (2014) ont montré que sur 5 souches de *Salmonella Typhimurium*, une seule avait un taux de pénétration plus important sur les œufs translucides que les œufs opaques. Ils mettent cependant en évidence une relation entre les alignements des noyaux mamillaires, ou la taille des noyaux, et le taux de pénétration pour au moins 2 types de salmonelles sur 5.

3. Eclosabilité

Bramwell (2002) a réalisé des observations terrain dans 4 fermes de reproducteurs entre 37 et 55 semaines d'âge, dans lesquelles il a sélectionné et mis en incubation 2 groupes d'œufs par ferme identifiés selon leur niveau de translucidité. L'éclosabilité des deux groupes n'a pas été significativement différente, et les pertes en eau étaient également identiques entre les 2 groupes. A l'inverse, selon Butcher et Miles (2007), l'éclosion des œufs peut être réduite de 3 à 14 % lorsque la translucidité de la coquille est importante, en particulier dans les troupeaux de reproducteurs âgés. Hebbink (2018) a trouvé une relation, entre la perte de poids d'œuf, l'éclosabilité et le degré de translucidité de la coquille des œufs : plus le score de translucidité est important, plus la perte moyenne de poids est élevée et plus l'éclosion des œufs fertiles est faible.

Deux autres études (Barnett et al., 2004 ; Khabisi et al., 2012) montrent des effets très importants de baisse d'éclosabilité sur les œufs présentant des défauts de coquille au mirage, mais qu'ils désignent sous le nom de microfissures (hairline cracks) ; il est

donc difficile de les apparenter avec certitude à un simple défaut de translucidité.

5. FACTEURS POUVANT MODULER LA TRANSLUCIDITE

D'après la synthèse de Wang et al. (2019), la translucidité peut être variable en fonction des génétiques, de l'âge des animaux, de l'alimentation et les facteurs environnementaux comme la température et l'humidité. On sait que des facteurs tels que le stress et les maladies chez les poules pondeuses affectent non seulement la synthèse de protéines matricielles, mais ont également un effet négatif sur le positionnement de ces protéines dans la coquille (Butcher et Miles, 2007). Le stress peut être lié à des conditions environnementales (température ou humidité). La vitesse plus ou moins grande du séchage de la cuticule après la ponte, peut être impliquée (Simons, 2019). Par leurs conséquences sur la mesure même de la translucidité, ou par l'effet qu'elles peuvent avoir sur le stress des animaux ou le séchage de la coquille, les conditions de ventilation et de température des bâtiments sont donc à prendre en considération.

La fourniture des nutriments nécessaires à la formation de la coquille, et la régulation de la biominéralisation de la coquille (Gautron et al., 2021) peuvent être affectée également par l'alimentation et la prise alimentaire.

Il est bien connu que toute modification des membranes de la coquille d'œuf par l'inhibition de la formation des fibres ou de la réticulation altère la formation de la coquille et ses propriétés mécaniques (Hincke et al., 2012).

Parmi les éléments utiles à la formation de la membrane et à la calcification de la coquille, les oligoéléments Zn, Cu, et Mn sont souvent cités (Stefanello et al., 2014).

Le Zinc est un cofacteur de l'anhydrase carbonique, qui est impliquée dans la formation de la coquille. Le Manganèse agit comme cofacteur d'enzymes impliqués dans la synthèse des glycosaminoglycanes et glycoprotéines, qui contribuent à la formation de la matrice organique. Le Cuivre est une partie intégrante de la lysyl oxydase qui est importante dans la formation du collagène présent dans la membrane (Stefanello et al., 2014). La quantité d'oligoéléments Zn, Cu, Mn ainsi que la source (organique ou inorganique) affectent la taille et la densité des noyaux mamillaires (Zhang et al., 2018 ; Qiu et al., 2020). Il reste à démontrer que par le biais de leur action sur la formation de la membrane coquillière, ces oligoéléments peuvent moduler le score de translucidité.

CONCLUSION

La translucidité de la coquille d'œuf est un problème de qualité qui affecte principalement l'apparence de l'œuf mais peut aussi avoir des conséquences sur la

coquille, notamment sa solidité et ses capacités à protéger l'œuf contre les contaminations microbiennes. Elle concerne aussi bien les œufs de consommation que les œufs à couver. Son apparition pourrait être liée à des anomalies de la formation de

la membrane coquillière au stade précoce de formation de l'œuf. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour confirmer ou infirmer certaines hypothèses sur le lien entre la translucidité et la qualité de la coquille.

Figure 1 : Constitution de la coquille d'œuf (d'après Gautron et al. 2021)

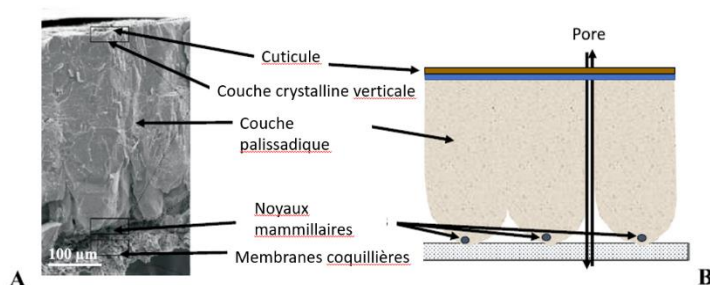
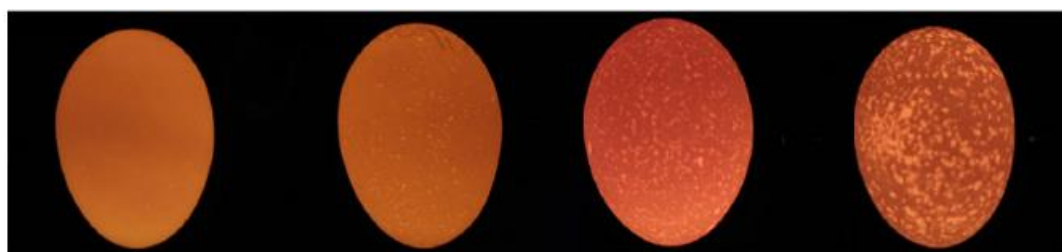


Figure 2 : Echelle de score selon Wang et al 2019 (de gauche à droite : 1 opaque à 4 très translucide)



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aviagen. n.d. "Pocket Guide Hatching Egg Shell Quality Assessing Abnormalities."
- Bain, M M, N Macleod, R Thomson, and J W Hancock. 2006. *Poultry Science* 85: 2001–8.
- Barnett, D. M., B. L. Kumpula, R. L. Petryk, N. A. Robinson, R. A. Renema, and F. E. Robinson. 2004. *Journal of Applied Poultry Research* 13 (1): 65–70..
- Benavides-Reyes, C., E. Folegatti, N. Dominguez-Gasca, G. Litta, E. Sanchez-Rodriguez, A. B. Rodriguez-Navarro, and M. Umar Faruk. 2021 *Poultry Science* 100 (101287).
- Berrang, M.E., J.F. Frank, R.J. Buhr, J S. Bailey, and N.A. Cox. 1999. *Journal of Food Protection*. Vol. 62.
- Bramwell R.K. 2002. *Poult. Sci.* 81 (Suppl 1 (69)).
- Butcher, G.D., and R.D. Miles. 2007. *Wattpoultry.Com*.
- Chousalkar, K. K., P. Flynn, M. Sutherland, J. R. Roberts, and B. F. Cheetham. 2010. *International Journal of Food Microbiology* 142 (1–2): 207–13.
- Gautron, J., L. Stapane, N. le Roy, Y. Nys, A. B. Rodriguez-Navarro, and M. T. Hincke. 2021. *BMC Molecular and Cell Biology*. BioMed Central Ltd.
- Gole, Vaibhav C., Kapil K. Chousalkar, Juliet R. Roberts, Margaret Sexton, Damian May, Jessica Tan, and Andreas Kiermeier. 2014. *PLoS ONE* 9 (3):
- Hebbink L. 2018. *Www.Passreform.Com*. 2018.
- Hincke, M.T., Y. Nys, J. Gautron, and A.B. Rodriguez-Navarro. 2012. *Frontiers in Bioscience* 17: 1266–80.
- Ketta, M., and E. Tümová. 2016. *Czech Journal of Animal Science*. Czech Academy of Agricultural Sciences.
- Khabisi, M., A. Salahi, and S. Mousavi. 2012 *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 36 (3): 289–95.
- Liu, Y.C., T.H. Chen, Y.C. Wu, and F.J. Tan. 2017. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30 (7): 1013–20.
- Qiu, J. L., Q. Zhou, J. M. Zhu, X. T. Lu, B. Liu, D. Y. Yu, G. Lin, T. Ao, and J. M. Xu. 2020. *Poultry Science* 99 (3): 1483–90.
- Ray, A, and J R Roberts. 2013. In . Aust. Poult. Sci. Symp.
- Roberts, J.R., C. Brackpool, W. Ball, M. Ball Editor, and W. Williams. 2019. Wayne Williams.
- Roberts, J. R., K. Chousalkar, and Samiullah. 2013. *Animal Production Science* 53 (12): 1291–97.
- Simons, Piet. 2019. *Egg Signals*. Roodbont Publishers.
- Solomon, S. E. 2010. *British Poultry Science* 51 (SUPPL. 1): 52–59.
- Stefanello, C., T. C. Santos, A. E. Murakami, E. N. Martins, and T. C. Carneiro. 2014. *Poultry Science* 93 (1): 104–13.
- Wang, D.H., H. Chen, R.Y. Zhou, C.X. Huang, H.X. Gao, B.L. Fan, gJ Liu, and Z.H. Ning. 2019. *Poultry Science* 98 (12): 6677–83.
- Wang, D.H., Y.J. Li, L. Liu, J.S. Liu, M. Bao, N. Yang, h. Zhuo-Cheng, and Z.H. Ning. 2017. *Poultry Science* 96 (2): 351–58.
- Zhang, Y. N., H. J. Zhang, S. G. Wu, J. Wang, and G. H. Qi. 2018. *Poultry Science* 97 (4): 1253–62.