

BIODISPONIBILITE COMPAREE DU SELENIUM CHEZ LA POULE PONDEUSE SELON LA SOURCE DE SELENIUM ORGANIQUE : TENEUR EN SELENIUM MUSCULAIRE ET TRANSFERT DE SELENIUM DANS L'OEUF

Barbé Florence¹, Sacy Audrey¹, Poulain Stéphane², Chevaux Eric¹, Castex Mathieu¹

¹LALLEMAND SAS - 19, rue des Briquetiers – BP59, 31702 BLAGNAC cedex

²AVEYRON LABO - 195, rue des Artisans, parc d'activités Bel Air – BP3118, 12031 RODEZ
cedex 9
fbarbe@lallemand.com

RÉSUMÉ

Le sélénium (Se) est un micronutriment essentiel dans l'alimentation des animaux d'élevage, apporté dans l'aliment sous différentes formes : minéral (sélénite de sodium) ou organique (levures enrichies en Se ou formes de synthèse). 96 poules pondeuses ISA Brown ont été réparties en 4 groupes recevant des aliments à teneur identique en sélénium, apporté par des sources de sélénium différentes: sélénite de sodium (SS), une levure enrichie en Se organique (A : 63% sélénométhionine) ou 2 formes de Se organique de synthèse (SM1, SM2 : 100% sélénométhionine). La teneur en Se a été mesurée dans les œufs (J0, J34) et dans le muscle pectoral (J55). Les sources de Se organique augmentent le transfert de Se par rapport au sélénite de sodium dans l'œuf total (+59%, +22%, +11% - A, SM1, SM2) et dans l'albumen (+133%, +79%, +61% - A, SM1, SM2) ($P < 0,001$). Dans le jaune, seule la levure sélénée augmente le transfert de sélénium (+27%), alors qu'il est réduit pour SM1 (-3%) et SM2 (-11%) par rapport au SS ($P = 0,05$). La teneur en Se musculaire est principalement augmentée par la levure sélénée et SM1 (482, 910, 964, 788 µg/kg MS - SS, A, SM1, SM2 - $P < 0,001$). Ces résultats démontrent que la levure sélénée est la source de Se la plus efficace pour augmenter le dépôt de Se dans les muscles et son transfert dans les œufs, en comparaison avec les sources synthétiques de Se organique. La combinaison de différents acides aminés sélénés (SeMet, SeCys) apportée par la levure sélénée semblerait être plus efficace qu'un apport en SeMet de synthèse pour améliorer la biodisponibilité du Se chez la poule pondeuse.

ABSTRACT

Comparison of selenium bioavailability in laying hens fed different organic selenium sources: Selenium content in muscle and selenium transfer to the egg

Selenium (Se) is an essential micronutrient in livestock feed, which can be provided by different forms: mineral (sodium selenite) or organic forms (Se-yeasts or synthetic forms). 96 ISA Brown laying hens were allotted in 4 groups receiving iso-Se diets. Se was provided by different Se sources: sodium selenite (SS), Se-yeast enriched in organic Se (A: 63% selenomethionine) or 2 forms of synthetic organic Se (SM1, SM2: 100% selenomethionine). Selenium concentration and quantity were measured in eggs (D0, D34) and in pectoralis muscle (D55). Compared to SS, the different organic Se sources increase the Se transfer in whole egg (+59%, +22%, +11% - A, SM1, SM2) and in albumen (+133%, +79%, +61% - A, SM1, SM2) ($P < 0.001$). In yolk, only the Se-yeast improves Se transfer (+27%), while it is reduced for SM1 (-3%) and SM2 (-11%), compared to SS ($P = 0.05$). Se concentration in pectoralis muscle was increased mainly with A and SM1 (482, 910, 964, 788 µg/kg DM - SS, A, SM1, SM2 - $P < 0.001$). These results demonstrate that Se-yeast is the most efficient Se source to increase Se deposition in muscle and its transfer to the eggs, when compared to synthetic sources of organic Se. The combination of different seleno-amino acids (SeMet, SeCys) provided by Se-yeast appears more favourable than a single supply of SeMet to improve Se bioavailability in laying hens.

INTRODUCTION

L'effet bénéfique du sélénium (Se) est principalement lié à son rôle de cofacteur de l'enzyme antioxydante glutathion peroxydase (GPx) (Rotruck et al., 1973). Il intervient aussi dans de nombreuses autres voies métaboliques liées au système immunitaire et aux mécanismes de l'inflammation (Huang et al., 2012), à la fonction cérébrale (Rayman, 2000) et à la fonction reproductive (Behne et al., 1996). Thompson et al. (1982) ont introduit le concept de spéciation d'un élément (i.e les différentes formes physiques et chimiques d'élément) et dès lors, les effets sur la santé de ces différentes formes d'un élément ont commencé à être considérés. Le sélénium existe ainsi sous différentes formes : inorganique (sélénite, sélénate) et organique (levures enrichies en Se et contenant notamment des acides aminés sélénés tels que la sélénométhionine (SeMet) et la sélénocystéine (SeCys) ou des formes synthétiques apportant uniquement de la SeMet). Chez la poule pondeuse, les études publiées jusqu'à présent se sont intéressées principalement aux formes inorganiques (Payne et al., 2005) ou organiques apportées sous forme de levures sélénées (Arpasova et al., 2010 ; Invernizzi et al., 2013 ; Payne et al., 2005 ; Utterback et al., 2005 ; Zdunczyk et al., 2013). Cependant, il existe peu d'études sur les nouvelles formes synthétiques de Se organique, apportant uniquement de la SeMet (Jlali et al., 2013 ; Jing et al., 2015). Les différentes formes de Se n'affectent pas un organisme de la même manière : des différences ont ainsi été reportées en termes d'absorption, de rétention, de biodisponibilité, de toxicité et de capacité à induire une activité enzymatique. Il apparaît donc qu'au-delà de la teneur en Se totale, la composition de la forme de Se apportée définira les bénéfices à attendre. Aujourd'hui, il y a encore peu d'information sur la biodisponibilité des formes de Se, autres que la SeMet et le sélénite/sélénate, et dans la plupart des études de spéciation, une fraction importante de cet élément essentiel reste non identifiée (Sun et al., 2011 ; Lipiec et al., 2010). Notre étude avait pour objectif de comparer 3 formes différentes de Se organique quant à leur efficacité à augmenter le transfert du Se dans l'œuf et le muscle pectoral chez la poule pondeuse.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux et sources de Se organique

96 poules pondeuses ISA Brown, âgées de 30 semaines, ont été réparties en 4 groupes recevant pendant 55 jours des aliments à teneur identique en sélénium (0,2 ppm Se ajouté), apporté par des sources de sélénium différentes: sélénite de sodium (SS), une levure enrichie en Se organique (Alkosel®, Lallemand, A : 63% sélénométhionine, 17% sélénocystéine) ou 2 formes de Se organique de synthèse apportant chacune 100% de

sélénométhionine : SM1 (L-sélénométhionine – Excential Selenium®, Orffa) et SM2 (séléno-hydroxyméthionine ou HMSeBA – Selisseo®, Adisseo). Les poules pondeuses étaient logées par 2 dans des cages standard (800 cm²/poule, 12 cages/groupe = 24 animaux/groupe), à 22±1°C et soumises à un cycle de 16h jour/8h nuit. Les animaux avaient un accès libre à l'aliment (Euronutrition, Saint-Symphorien, France) et à l'eau. L'aliment était distribué 2 fois par jour par bloc de 4 cages consécutives (3 blocs/groupe) et l'ingéré calculé de manière hebdomadaire comme suit : ingéré = aliment distribué – refus. Les performances zootechniques (taux de ponte, poids d'œuf, masse d'œuf exportée, indice de consommation = ingéré/masse d'œuf exportée) ont été déterminées de manière hebdomadaire sur les 8 semaines d'essai.

1.2. Analyse du Se dans l'aliment, l'œuf et le muscle pectoral

La teneur en sélénium dans les aliments expérimentaux (SS, A, SM1, SM2) a été réalisée en double sur le même échantillon, collecté en cours d'essai. La moyenne des valeurs obtenues est présentée dans le Tableau 1a. La quantité de sélénium ingérée a ensuite été calculée comme suit : concentration en Se dans l'aliment (µg/kg) × quantité d'aliment ingéré (kg). Les œufs d'un même jour ont été prélevés et « poolés » par cage à J0 et J34 pour l'analyse de sélénium sur œuf total (n = 12 échantillons/groupe) et à J1 et J35 pour l'analyse de sélénium dans l'albumen (n = 12 échantillons/groupe) et le jaune (n = 12 échantillons/groupe), séparément. A J55, l'analyse de sélénium a été réalisée dans le muscle pectoral (n = 6 animaux/groupe). La concentration en sélénium dans l'aliment, l'œuf et le muscle pectoral a été réalisée par Aveyron Labo (Rodez, France) par ICP-MS après lyophilisation et minéralisation des échantillons. La mesure du poids de l'œuf total, de l'albumen et du jaune de chaque échantillon a ensuite permis de calculer la quantité de Se dans chaque compartiment comme suit : quantité de Se (µg) = concentration en Se (µg/g) × poids du compartiment (g). Pour tenir compte du fait que l'aliment A présente une teneur en Se plus faible que les aliments SM1 et SM2 (Tableau 1a), les résultats obtenus ont été standardisés par la quantité de Se ingérée dans chaque groupe. Le taux de transfert du Se dans les différents compartiments de l'œuf sur la période de 34 jours a ainsi été calculé comme suit : (quantité de Se dans le compartiment (œuf total, albumen ou jaune) (µg) à J34 × 34 jours)/quantité cumulée de Se ingérée sur la période de 34 jours (µg).

1.3. Estimation de la consommation en sélénométhionine (SeMet)

Dans la mesure où il n'existe aucune méthode officiellement validée pour analyser la teneur en SeMet dans l'aliment, celle-ci a été estimée comme indiquée ci-dessous et reportée dans le Tableau 1b. La teneur en sélénométhionine est estimée à partir de la

teneur en sélénium apporté par les 3 sources de Se organique (A, SM1, SM2), en tenant compte du fait que le sélénium représente environ 40% du poids moléculaire de la sélénométhionine (SeMet : 196 g/mol ; Se : 79 g/mol). La teneur en Se ingéré (TS) provenant des 3 sources de Se organique est calculée comme suit : $TS = \text{consommation d'aliment à J34 ou J55 (kg)} \times 200 \mu\text{g/kg (0,2 ppm)}$. La teneur en SeMet ingérée provenant des 3 sources de Se organique est calculée ensuite comme suit : $(TS/0,4) \times \text{teneur en SeMet de chacune des sources (63\% pour A, 100\% pour SM1 et SM2)}$.

1.4. Analyses statistiques

L'ingéré et l'indice de consommation ont été analysés à chaque semaine de l'essai et en moyenne sur toute la période par une analyse de variance univariée entre les groupes avec le bloc comme unité expérimentale. Le taux de ponte, le poids d'œuf et la masse d'œuf exportée ont été analysés par un modèle mixte en mesures répétées avec le groupe, le temps et leur interaction en effets fixes, les données avant essai pendant 10 semaines en covariable et la cage comme unité expérimentale. La teneur en Se dans l'œuf et ses compartiments et la teneur en Se dans le muscle pectoral ont été analysées par une analyse de variance univariée entre les groupes avec la cage comme unité expérimentale, les comparaisons entre groupes ont ensuite réalisées par les tests post-hoc de Tukey. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel IBM SPSS Statistics 24.0 et les résultats considérés comme significatifs pour une probabilité $P < 0,05$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Un seul animal est mort au cours de cette étude (dans le groupe témoin, à la 3^{ème} semaine de l'essai). Sur toute la période de supplémentation, il n'y a aucune différence significative entre les groupes pour le taux de ponte (93,8% ; 96,0% ; 94,2% ; 95,9% - SS, A, SM1, SM2) et la masse d'œuf exportée (59,1 ; 60,8 ; 59,5 ; 60,9 g - SS, A, SM1, SM2). Cependant, les sources de Se organique améliorent significativement le poids de l'œuf (62,6 ; 63,3 ; 63,3 ; 63,6 g - SS, A, SM1, SM2 - $P = 0,01$) et l'indice de consommation (2,003 ; 1,877 ; 1,900 ; 1,859 - SS, A, SM1, SM2 - $P = 0,05$) par rapport à SS, sans différence entre les sources de Se organique. Les consommations d'aliment, de sélénium (Se) et de sélénométhionine (SeMet) pour les 4 groupes : SS, A, SM1, SM2 sont présentées Tableau 1b.

2.2. Teneur en Se dans le muscle pectoral

La mesure de la concentration en Se dans le muscle pectoral en fin d'essai, à J55, confirme que les sources de Se organique augmentent de manière significative la biodisponibilité du Se, par rapport au sélénite de sodium. De plus, la teneur en Se musculaire est principalement augmentée par la levure sélénée et SM1 (482, 910, 964, 788 $\mu\text{g/kg MS}$ - SS, A, SM1,

SM2 - $P < 0,001$) (Figure 1a). En considérant l'apport en SeMet de chacune des sources de Se (63% pour A et 100% pour SM1 et SM2), il apparaît que la levure sélénée (A) présente le dépôt de Se le plus efficace dans le muscle pectoral (Figure 1b).

2.3. Teneur en Se dans l'œuf et ses compartiments

La quantité et la concentration en Se dans les différents compartiments de l'œuf pour chacun des groupes à J34 est présenté dans le Tableau 2. Les 3 sources de Se organique induisent une augmentation significative de la concentration en Se dans l'albumen, par rapport à SS. Seule la source A permet d'augmenter significativement la concentration en Se dans l'œuf total, par rapport à SS. Aucune différence significative n'est reportée entre les groupes pour la concentration en Se dans le jaune. Parmi les sources de Se organique, A présente la quantité de Se la plus élevée (21,4 μg dans l'œuf total et 9,6 μg dans l'albumen) et SM2 la plus faible (17,6 μg dans l'œuf total et 7,8 μg dans l'albumen), SM1 ayant des valeurs intermédiaires entre A et SM2 (18,5 μg dans l'œuf total et 8,4 μg dans l'albumen). Le taux de transfert du Se dans l'œuf total, l'albumen et le jaune est présenté en Figures 2a, 2b, 2c, respectivement. La levure sélénée (A) induit le taux de transfert en Se le plus important dans ces 3 compartiments, avec une amélioration significative dans l'œuf total (Figure 2a : +59%, +22%, +11% - A, SM1, SM2 - $P < 0,001$) et dans l'albumen (Figure 2b : +133%, +79%, +61% - A, SM1, SM2 - $P < 0,001$), par rapport au sélénite de sodium et aux autres sources de Se organique (SM1, SM2). Dans le jaune (Figure 2c), seule la levure sélénée augmente le transfert de sélénium (+27%), alors qu'il est réduit pour SM1 (-3%) et SM2 (-11%) par rapport au SS ($P = 0,05$).

DISCUSSION ET CONCLUSION

La poule pondeuse a été choisie comme modèle pour évaluer la biodisponibilité comparée de différentes sources de Se organique disponibles sur le marché. Le taux de transfert du Se apparaît en accord avec la littérature : 20-40% (Delezie et al., 2014) et 50-85% (Jlali et al., 2013). Il est à noter que ces études présentent leurs résultats après 56 j de supplémentation, contre 34 j dans cette étude. Les données présentées montrent un avantage de la levure sélénée (A) pour augmenter le dépôt de Se dans les muscles et le transfert de Se dans les œufs. Les trois sources de Se testées ici apportent chacune 100% de sélénium organique. Cependant, les teneurs en SeMet de ces trois sources sont différentes (63% pour A et 100% SeMet pour SM1 et SM2). Notre étude nous conduit donc à formuler l'hypothèse que la combinaison de différents acides aminés sélénés (SeMet, SeCystéine) apportée par la levure sélénée conférerait un avantage en termes de biodisponibilité du sélénium chez la poule pondeuse. Plus précisément, la présence de SeCys dans la levure, considérée comme le 21^{ème} acide aminé et ayant un rôle majeur dans le métabolisme du sélénium et dans

la synthèse des sélénoprotéines (Thiry, 2003), pourrait être un paramètre clef expliquant les différences de biodisponibilité mesurée ici. Ces résultats apportent de nouvelles informations par rapport à une étude réalisée par Deagen et al. (1987), qui montre que de la sélénocystine administrée pure à des rats ne permet pas un dépôt de Se supérieur au sélénite au niveau du muscle. Il est à noter cependant que la sélénocystéine et la sélénocystine sont des molécules différentes et l'efficacité d'absorption et le métabolisme de ces 2 formes ne sont pas identifiés à ce jour. La sélénocystine étant l'association de 2 cystéines liées par un pont disulfure, cette forme pourrait être plus résistante que la sélénocystéine dans le tractus gastrointestinal, expliquant ainsi les différences de dépôt en Se dans le muscle entre cette étude et l'étude présentée ici. Par ailleurs, les auteurs soulignent une différence d'incorporation du sélénium dans les protéines entre ces différentes formes : davantage de sélénium issu de SeCys ou sélénite est incorporé dans la GPx, par rapport à SeMet. La concentration en Se dans les tissus n'est pas toujours corrélée à une

efficacité des enzymes antioxydantes (GPx). Une autre étude a aussi montré une réduction des biomarqueurs du stress oxydant chez l'être humain suivant une supplémentation avec une levure sélénée mais non avec SeMet (Richie et al., 2014). Il serait donc intéressant dans une prochaine étape de l'étude présentée ici d'analyser l'activité antioxydante GPx et les biomarqueurs du stress oxydant suivant la supplémentation de différentes formes de Se organique.

En conclusion, cette étude confirme et valide un meilleur transfert du Se vers l'œuf avec les sources de Se organique par rapport au sélénite de sodium. De plus, les sources de Se organique n'apparaissent pas toutes équivalentes en termes de biodisponibilité, cette différence pouvant être mise en relation avec des teneurs différentes en SeMet et la présence ou non d'autres formes organiques (SeCys). La levure sélénée apparaît ici plus efficace dans le transfert de Se vers l'œuf, qui peut être associé à la composition intrinsèquement plus diversifiée en composés de Se organique (SeMet, Secys ...).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arpasova H. et al., 2010. Journal of Central European Agriculture, (11), 99-104.
 Behne D. et al., 1996. Journal of Reproduction and Fertility, (106), 291-297.
 Deagen J.T. et al., 1987. Journal of Nutrition, (117), 91-98.
 Delezie et al., 2014. Poultry Science, (93), 3083-3090.
 Huang Z. et al., 2012. Antioxidants & Redox Signaling, (16), 705-743.
 Invernizzi G. et al., 2013. Italian Journal of Animal Science, (12), 1-8.
 Jing C.L. et al., 2015. Poultry Science, (94), 965-975.
 Jlali M. et al., 2013. Journal of Animal Science, (91), 1745-1752.
 Lipiec E., Siara G. et al., 2010. Analytical and Bioanalytical Chemistry, (397), 741-741.
 Payne R.L. et al., 2005. Poultry Science, (84), 232-237.
 Rayman M., 2000. The Lancet, (356), 233-241.
 Richie et al., 2014. Cancer Prev Res, (7), 796-804.
 Rotruck J.T. et al., 1973. Science, (179), 588-590.
 Sun H., Feng B., 2011. Food Analytical Methods, (4), 240-244.
 Surai P., 2000. British Poultry Science, (41), 235-243.
 Surai P., Fisinin V., 2012. XXIV World's Poultry Congress, 5-9 August 2012, Salvador, Brazil.
 Thiry C., 2003. Thèse de Doctorat en Science sous la direction de Schneider Y.J., Université Catholique de Louvain
 Thompson C.D. et al., 1982. The American Journal of Clinical Nutrition, (36), 24-31.
 Utterback P.L. et al., 2005. Poultry Science, (84), 1900-1901.
 Zdunczyk Z. et al., 2013. Polish Journal of Veterinary Science, (16), 333-339.

Tableau 1a. Teneur en sélénium dans les aliments expérimentaux (SS, A, SM1, SM2)

	SS	A	SM1	SM2
Sélénium (µg/kg)	303	277	309,5	322

Tableau 1b. Consommations d'aliment, de sélénium (Se) et de sélénométhionine (SeMet) à J34 et J55 pour les 4 groupes : SS, A, SM1, SM2.

	Aliment J34 (kg)	Aliment J55 (kg)	Se J34 (mg)	Se J55 (mg)	SeMet J34 (mg)	SeMet J55 (mg)
SS	28,7 (±2,5)	47,0 (±4,8)	8,7 (±0,8)	14,2 (±1,5)	-	-
A	29,7 (±0,3)	49,2 (±0,7)	8,2 (±0,1)	13,6 (±0,2)	9,4 (±0,1)	15,5 (±0,2)
SM1	30,1 (±0,9)	49,6 (±1,5)	9,3 (±0,3)	15,4 (±0,5)	15,0 (±0,4)	24,8 (±0,7)
SM2	30,3 (±0,7)	49,7 (±1,3)	9,8 (±0,2)	16,0 (±0,4)	15,1 (±0,3)	24,9 (±0,6)

Tableau 2. Quantité moyenne de Se par œuf (µg, MS) et concentration en Se (µg/kg, MS) dans les différents compartiments de l'œuf à J34 pour les 4 groupes : SS, A, SM1, SM2 (a,b,c : P < 0,05). Les valeurs indiquées entre parenthèses sont les écarts-types associés aux moyennes.

µg, MS/œuf	Œuf total	Albumen	Jaune
SS	14,5 ^a (±5,2)	4,4 ^a (±1,5)	10,1 (±4,6)
A	21,4 ^b (±2,1)	9,6 ^b (±0,5)	11,8 (±2,1)
SM1	18,5 ^{ab} (±5,3)	8,4 ^{bc} (±2,3)	10,2 (±3,6)
SM2	17,6 ^{ab} (±3,7)	7,8 ^c (±1,8)	9,8 (±2,7)
Probabilité	0,004	< 0,001	0,471

µg/kg, MS/œuf	Œuf total	Albumen	Jaune
SS	1281,3 ^a (±259,8)	1086,7 ^a (±173,2)	1387,6 (±452,3)
A	1648,9 ^b (±193,6)	1996,1 ^b (±117,8)	1442,5 (±267,8)
SM1	1517,8 ^{ab} (±228,6)	1870,0 ^{bc} (±212,7)	1308,5 (±312,9)
SM2	1462,8 ^{ab} (±175,0)	1743,6 ^c (±80,6)	1295,8 (±299,6)
Probabilité	0,002	< 0,001	0,684

Figure 1. Concentration en Se dans le muscle pectoral à J55 pour les 4 groupes : SS, A, SM1, SM2 (a) et en tenant compte de l'apport en SeMet de chacune des sources de Se organique (63% pour A et 100% SeMet pour SM1 et SM2) (b) (les barres d'erreur représentent les écarts-types ; a,b,c : P < 0,05)

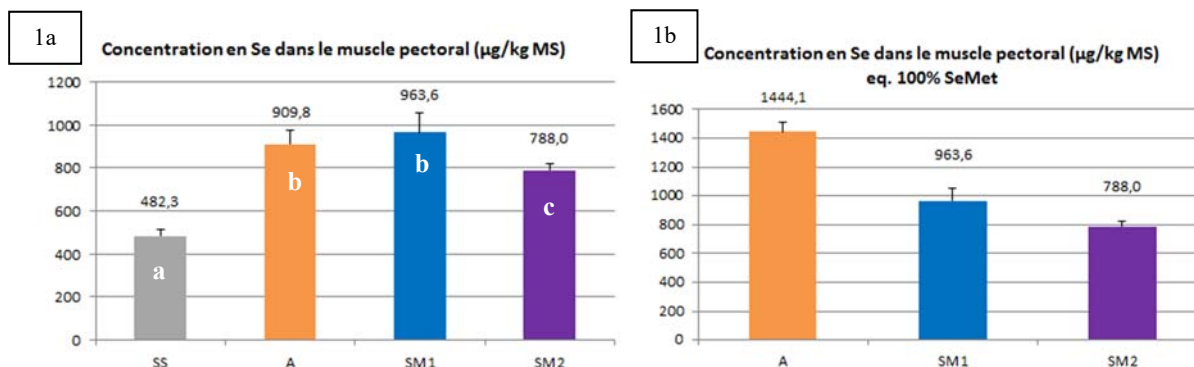


Figure 2. Taux de transfert du Se (%) à J34 pour les 4 groupes : SS, A, SM1, SM2, dans l'œuf total (2a), l'albumen (2b) et le jaune (2c) (les barres d'erreur représentent les écarts-types ; a,b,c : P < 0,05)

