

# DES ŒUFS COQUILLES AUX OVOPRODUITS : QUEL IMPACT DU SYSTEME D'ELEVAGE SUR LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE ET TECHNO-FONCTIONNELLE ?

Séverine Chevalier<sup>1</sup>, Tino Jamme<sup>1</sup>, Sophie Jan<sup>1</sup>, Maylis Dop<sup>2</sup>, Eve-Anne Norwood<sup>2</sup>, Guillaume Gillot<sup>3</sup>, Julie Evrard<sup>3</sup>, Véronique Huchet<sup>3</sup>, Amélie Chastagner<sup>4</sup>, Angélique Travel<sup>4</sup>, Carole Debregeas<sup>5</sup>, Valérie Lechevalier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> STLO, L'INSTITUT AGRO RENNES-ANGERS-INRAE, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup> ONIRIS-GEPEA, 44000 Nantes, France

<sup>3</sup> ADRIA Food Technical Institute, 29000 Quimper, France

<sup>4</sup> ITAVI, centre INRAE de Tours, 37380 Nouzilly, France

<sup>5</sup> ADRO Ouest, 35000 Rennes, France

[valerie.lechevalier@institut-agro.fr](mailto:valerie.lechevalier@institut-agro.fr)

## RÉSUMÉ

La prise en compte du bien-être animal et l'évolution de la législation européenne a conduit à une diminution progressive des élevages de poules pondeuses en cage au profit d'élevages au sol et plein air. L'originalité de cette étude menée dans le cadre du projet ELEV'OP a été de suivre l'effet du système d'élevage sur la qualité à la fois microbiologique et techno fonctionnelle, depuis les œufs coquilles jusqu'aux ovoproduits pasteurisés correspondants.

Les œufs ont été collectés selon un plan d'expériences équilibré dans des élevages cage, sol ou plein air, en saison froide ou chaude, provenant de poules Lohmann White ou Lohmann Brown âgées de 57 à 71 semaines. Les ovoproduits obtenus à partir de ces œufs ont également été collectés dans les casseries. La qualité microbiologique de la coquille et des ovoproduits était suivie par dénombrements de flore totale aérobie mésophile, psychrotrophe et sporulée psychrotrophe, des entérocoques et des entérobactéries. Les propriétés fonctionnelles mesurées étaient les propriétés moussantes du blanc et émulsifiantes de l'entier. Des angel cake fabriqués à partir du blanc et des génoises à partir de l'entier ont également été caractérisés en termes de couleur et de texture. L'ensemble de ces données a été analysé par des analyses statistiques multifactorielles.

La première source de variabilité de la qualité microbiologique et techno-fonctionnelle des œufs coquilles est la saison, suivie par la souche des poules et seulement dans un troisième temps le système d'élevage. En revanche, pour les ovoproduits pasteurisés, le premier facteur de variabilité est le système d'élevage, suivi de la saison, la souche de poule n'ayant pas d'effet significatif sur la qualité microbiologique et techno-fonctionnelle des ovoproduits.

## ABSTRACT

**From shell eggs to pasteurized egg products: importance of the rearing system on microbiological and technological properties of egg and egg products**

Hen egg production methods have changed considerably over the last 15 years with the consideration of animal welfare and changes in European regulations. This study (ELEV'OP project) aimed at determining the impact of the rearing system of laying hens on microbiological and technological properties of shell eggs and egg products. Eggs were collected following an equilibrated experimental design from cage, barn or free-range rearing systems during a "cold" and a "warm" season, from Lohmann White and Lohmann Brown hens aged from 57 to 71 weeks old. The corresponding industrial egg products were also collected in French egg product companies. The microbial quality of eggshells and egg products was assayed by total aerobic mesophilic, psychrotrophic, sporulated psychrotrophic and fecal bacterial counts. Technological properties were evaluated by measuring egg white foaming properties and whole egg emulsifying properties as well as cooked angel food cake (for egg white) and sponge cake (for whole egg) color, specific volume and texture. All these data were then analyzed by statistical multifactorial analyses.

The first source of variability of microbiological count and technological properties of shell eggs was the season, followed by the hen breed and thirdly the rearing system. Considering industrial egg products, the rearing system and then the season were the two main sources of variability of microbiological and technological properties of pasteurized egg products, whereas the hen breed had no significant effect.

## INTRODUCTION

La prise en compte du bien-être animal et l'évolution de la législation européenne depuis 2012 a conduit au triplement de la part de poules pondeuses en élevages alternatifs en 10 ans, pour atteindre 20,6% des poules élevées au sol (Sol), 24,4% en plein air (Plein Air) et 15,7% en agriculture biologique (AB) en 2021 (CNPO 2021 – chiffres hors Label Rouge (LR)). À la suite des Etats généraux de l'alimentation, la filière s'est engagée à réduire de 77% à 50% sa production d'ovoproduits issus de poules élevées en cages, vers des élevages en volières, Plein Air, de l'AB et LR, répondant ainsi aux attentes des consommateurs en termes de bien-être animal et de qualité des aliments.

Selon les modes d'élevage, les poules ont accès à des environnements diversifiés (alimentation, enrichissements...) et parfois moins maîtrisés d'un point de vue microbiologique (parcours, poussières). Ainsi, pour le Plein Air, l'ingestion d'une flore tellurique par les poules peut impacter l'équilibre microbiologique des ovoproduits. Singh *et al.* (2009) ont ainsi montré que les œufs Cages étaient significativement moins contaminés en *Escherichia coli* et coliformes que les œufs au Sol (1,9 log vs 5 pour *E. coli* et 1,7 vs 4,34 log pour les coliformes). Ils observaient aussi un effet souche et âge des pondeuses, la contamination par *E. coli* étant plus élevée pour les Lohmann Brown (LB) vs les Lohmann white (LW) (4,4 log vs 3,4) et pour les poules de 42 semaines vs 38 semaines (4,5 vs 3,4 log pour *E. coli* et 4,1 vs 3 pour les coliformes). Des résultats comparables ont été obtenus par Vlčková *et al.* (2018).

L'impact de ces nouvelles pratiques d'élevage est aussi à étudier sur la qualité fonctionnelle des œufs et ovoproduits. Selon les études, les résultats peuvent diverger notamment en fonction de la prise en compte ou non d'autres facteurs de variation (souche des poules, âge des poules, (Hammershoj & Steinfeld, 2015)). Ainsi, Dong *et al.* (2017), Lordelo *et al.* (2017) et Vlčková *et al.* (2019) ont montré que le poids des œufs Cages et leur teneur en protéines étaient supérieurs à ceux d'œufs Plein Air. En revanche, l'extrait sec des œufs Plein Air était supérieur à celui des œufs Cages dans l'étude de Vlčková *et al.* (2019) et les unités Haugh des œufs AB étaient supérieures à celle des œufs Cages dans l'étude de Lordelo *et al.* (2017). Alemprese *et al.* (2012) décrivent une meilleure aptitude au foisonnement des blancs d'œufs Plein Air et Cages, tandis que Vlčková *et al.* (2019) décrivent une absence d'effet significatif du mode d'élevage sur leur pouvoir moussant.

L'objectif de cette étude est de déterminer si les modes d'élevage des pondeuses (Sol et Plein Air vs Cages) ont un impact sur les flores d'altération et les propriétés technologiques des œufs coquilles, des ovoproduits liquides pasteurisés et des produits finis qui en sont issus. L'entier et le blanc d'œuf sont utilisés comme modèles car ce sont les ovoproduits les plus commercialisés et les plus utilisés, pour des usages bien distincts. L'entier est largement utilisé en industrie agroalimentaire pour ses propriétés liantes et émulsifiantes. Sa nature biochimique apporte les nutriments nécessaires à la croissance de tout type de microorganismes, alors que le blanc d'œuf est connu pour ses activités antimicrobiennes et est utilisé pour des propriétés spécifiques, notamment son pouvoir foisonnant. L'originalité du projet ELEV'OP a été de suivre l'effet du système d'élevage sur la qualité microbiologique et techno-fonctionnelle des œufs coquilles et d'ovoproduits pasteurisés utilisés en application dans des produits finis.

## 1. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Systèmes d'élevage, souches et âge des poules

Vingt-six élevages représentant trois systèmes d'élevage ont été comparés : Cages (9 élevages), Sol (5 élevages) et Plein Air (11 élevages). Deux souches de poules issues de ces élevages, la souche LB Classic (LB) génétiquement sélectionnée pour produire des œufs bruns à destination de la vente en coquilles et la LW LSL Classic (LW) sélectionnée pour sa productivité d'œufs blancs pour la transformation en ovoproduits, ont été étudiées à un âge moyen de 58 semaines.

### 1.2. Production d'ovoproduits

Les lots d'œufs prélevés en élevage ont été envoyés dans les 4 casseries partenaires du projet pour transformation en ovoproduits selon les procédés des différentes entreprises partenaires. Les casseries retenues sont celles transformant les œufs Cage, Sol et Plein Air afin de ne pas induire de confusion entre les effets systèmes d'élevage et casseries. Les œufs ont été cassés et le blanc séparé du jaune pour une partie d'entre eux pour récupérer les échantillons de blanc, le reste permettant de collecter l'entier. Le blanc et l'entier ont ensuite été pasteurisés selon les barèmes en vigueur dans les entreprises.

### 1.3. Analyses microbiologiques

#### 1.3.1 Prélèvements effectués sur les œufs coquilles

Les prélèvements ont été réalisés pendant la 1<sup>ère</sup> collecte des œufs du matin. Les œufs ont été pris aléatoirement en début, milieu et fin de collecte pour représenter l'ensemble du bâtiment. Les œufs collectés d'octobre à avril ont été considérés comme étant de « saison froide » et ceux de juin à septembre, de « saison chaude ». Cinq sacs stériles contenant

chacun 3 œufs ont été préparés pour l'analyse microbiologique. En parallèle, 4 groupes de 10 œufs ont chacun été essuyés avec une chiffonnette stérile imbibée d'eau peptonée tamponnée (EPT) sans neutralisant. Les chiffonnettes ont été conservées à 4°C durant leur transport et jusqu'à réalisation de l'analyse microbiologique. Les chiffonnettes ayant essuyé les 4 groupes de 10 œufs ont été transférées en conditions stériles dans un sac à filtre (30 µm) au moment de l'analyse et 225 mL d'EPT ont été ajoutés par sac. Une homogénéisation a été réalisée à l'aide d'un broyeur type Stomacher. Les dilutions successives ont été réalisées dans du tryptone sel (TS). Pour chaque dénombrement, le milieu non sélectif PCA a été utilisé. Trois conditions d'incubation différentes ont été testées, toutes en aérobiose : 72h à 30°C pour la flore totale (FT), 5 à 7 jours à 15°C pour la flore psychrotrophe (FP) et l'application d'un traitement thermique de 10 min à 80°C puis une incubation de 5 à 7 j à 15°C pour la flore sporulée psychrotrophe (FSP). Les lots de 3 œufs ont été lavés dans 50 mL d'EPT pour mettre en suspension la flore de la coquille. Pour ces échantillons, la flore mésophile totale a été dénombrée par la méthode Spiral à 30°C selon la norme XP V08-034. La quantité d'entérobactéries présumées a été mesurée par inclusion à 30°C selon la norme NF V08-054. Le dénombrement des entérocoques a été réalisé sur milieu Slanetz. Les dénombrements ont été convertis en UFC/cm<sup>2</sup> de coquille en se basant sur la surface moyenne de coquille estimée sur 40 œufs du même élevage par l'équation 1

$$\text{Dénombrement} = 4.69 \times (\text{poids de l'œuf})^{2/3} \text{ [eq. 1].}$$

### 1.3.2. Entiers liquides pasteurisés

A réception, les échantillons d'entiers pasteurisés ont été aliquotés dans des flacons stériles et congelés à -20°C. La veille du test d'altération, les échantillons ont été mis à décongeler une nuit à 4°C et homogénéisés par retournement. Les échantillons ont ensuite été répartis à raison de 1,8 mL dans des tubes Eppendorf de 2 mL, en triplicat. Les tubes ont ensuite été incubés à 10°C sans agitation et des mesures de pH et de colorimétrie ont été réalisées au début de l'incubation et après 7, 11 et 14 j (t<sub>0</sub>, t<sub>7</sub>, t<sub>11</sub> et t<sub>14</sub>, respectivement). Des dénombrements de la FT aérobie ont été réalisés à t<sub>0</sub> et t<sub>14</sub>, en suivant le protocole miniaturisé de Baron *et al.* (2007) : une gamme de dilutions a été réalisée en TS et les dilutions ensemencées dans la masse de géloses Brain Heart Infusion (BHI) additionnées d'extrait de levure (Yeast extract) (BHI-YE agar). Les plaques ont été incubées en aérobiose à 30°C pendant 24 à 48 h.

### 1.4. Qualité des œufs coquilles

Pour chaque lot, 40 œufs ont été prélevés pour mesurer, à l'aide du testeur numérique d'œufs DET6500 (Nabel Co, Japon), le poids des œufs, le poids du jaune et du blanc, l'indice de jaune, sa

couleur, le poids, l'épaisseur et la résistance à la pression de la coquille et les unités Haugh. La longueur et la largeur des œufs ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse et la surface des œufs a été calculée.

### 1.5. Propriétés physicochimiques

Le pH, l'extrait sec (ES) par pesée différentielle avant/après une nuit de dessiccation à 106°C et la teneur en protéines par une analyse par la méthode de Kjeldhal ont été mesurés en triplicat sur les blancs et entiers provenant des œufs coquilles et des ovoproduits pasteurisés.

### 1.6. Propriétés fonctionnelles

Les mesures ont été réalisées sur les blancs et entiers d'œufs coquilles cassés à la main et sur les ovoproduits pasteurisés correspondants.

#### 1.6.1 Propriétés moussantes et texture des mousses de blanc

Cent-cinquante millilitres des blancs d'œufs coquilles et pasteurisés ont été battus 3 min à vitesse 3 avec un batteur Hobart N-50. Immédiatement après l'arrêt du battage, un cylindre en verre de 75 cm<sup>3</sup> a été rempli de mousse et pesé pour obtenir la densité de la mousse selon l'équation 2 :

Densité = poids mousse / volume cylindre [eq. 2]

Le taux de foisonnement (TF) (%) était obtenu selon l'équation 3 :

TF = 100 x (densité du blanc d'œuf - densité mousse) / densité mousse [eq. 3]

avec la densité du blanc d'œuf = 1035 g.L<sup>-1</sup> (Bergquist, 1995).

La stabilité des mousses a été estimée par la mesure de la quantité de liquide drainé après 1 h selon l'équation 4 :

Stabilité = 100 - 100 x (poids de liquide drainé/poids de la mousse) [eq. 4]

La texture des mousses de blanc a été évaluée par un test Texture Profile Analysis (TPA, texturomètre TA, Lloyd Instruments, France). Exactement 2 min après la fin du battage, une sonde cylindrique de 1 cm de diamètre a été enfoncée à 1 mm.s<sup>-1</sup> dans la mousse afin d'appliquer une déformation de 30%. La fermeté de la mousse, sa cohésion et son adhésivité ont calculées selon Bourne (1978).

#### 1.6.2 Propriétés émulsifiantes des entiers

L'émulsion de 15 mL d'œufs entier additionné de 5 mL d'huile de tournesol a été réalisée à l'Ultra-Turrax (T25D, IKA, Allemagne) (1 min à 13000 rpm). Dix-huit millilitres de cette émulsion ont été transférés dans le flacon de mesure du Turbiscan (Turbiscan LAB, Microtrac Formulation, France). Deux min après la fin de l'émulsion, un scan a été réalisé pendant 45 min. Les valeurs de l'indice d'instabilité de l'émulsion (TSI) à 15 et 45 min ont été utilisées dans l'analyse.

### 1.7. Qualité des produits finis

Des angel cakes et des gâteaux ont été réalisés à partir des échantillons de blancs d'œufs et d'entiers pasteurisés, respectivement. L' $a_w$ , la teneur en eau et le volume spécifique des gâteaux ont été mesurés. La couleur de la mie des gâteaux et des angel cakes et de la croûte des gâteaux a été mesurée à l'aide d'un colorimètre Minolta (système Lab). La différence de couleur a été exprimée par rapport aux gâteaux issus d'œufs Cages selon l'équation 5 :

$$\Delta E = \sqrt{(L_{\text{Cages}} - L_{\text{ech}})^2 + (a_{\text{Cages}} - a_{\text{ech}})^2 + (b_{\text{Cages}} - b_{\text{ech}})^2}$$

avec ech correspondant à la modalité Sol ou Plein Air. La texture des angel cakes et des gâteaux a été analysée par un TPA à l'aide d'un texturomètre TAXT+ (Stable Micro Systems, Grande Bretagne). La fermeté, l'élasticité et la cohésion ont été déterminées selon Bourne (1978).

### 1.8. Analyses statistiques

Des analyses factorielles multiples (AFM) ont été réalisées à l'aide du package FactoMineR (R Development Core Team, 2007; Husson *et al.*, 2008). Cinq groupes de variables actives ont été constitués : les mesures de qualité des œufs coquille, de microbiologie, de physico-chimie, de propriétés fonctionnelles et de qualité des produits finis. Un groupe de variables illustratives contenant l'âge des poules et la température a été constitué. Une AFM a été réalisée sur chaque jeu de données (œufs coquilles et ovoproduits pasteurisés).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Le mode d'élevage n'est que la 3<sup>ème</sup> source de variabilité de la qualité des œufs coquilles après la saison et la souche des poules

La Figure 1 présente les résultats de l'AFM appliquée au jeu de données des œufs coquilles. Les 3 premières composantes principales (PC) expliquent 45,3% de la variabilité du jeu de données. La 1<sup>ère</sup> PC (Figure 1A) est positivement corrélée aux mesures de microbiologie et négativement corrélée aux mesures de qualité. Cette première dimension oppose les œufs collectés en saison chaude (de juin à septembre) à ceux collectés en saison froide (d'octobre à avril) (Figure 1C), avec une contamination significativement plus élevée pour les œufs de saison chaude. A l'inverse, les œufs de saison froide sont plus gros, plus lourds et présentent une coquille plus épaisse et plus résistante. Ces dernières observations pourraient être à corrélées avec une consommation d'aliment souvent plus importante en hiver qu'en l'été.

La 2<sup>ème</sup> PC est significativement positivement corrélée aux caractéristiques de la coquille, à la teneur en ES et protéines du blanc et de l'entier ainsi qu'à la stabilité et à la fermeté des mousses, et négativement corrélée au poids du jaune et à la longueur de l'œuf, aux unités Haugh, au taux de foisonnement et à l'instabilité de l'émulsion ainsi qu'à la contamination en

entérocoques (Figure 1A). Cette dimension oppose les œufs des LB à ceux des LW (Figure 1D). Ainsi, les coquilles des œufs LB sont plus lourdes, épaisses et résistantes que celles des LW. Les œufs de LB sont plus riches en matière sèche et notamment en protéines et forment donc des mousses plus stables et plus faibles mais moins foisonnées que les œufs de LW. Les émulsions sont également plus stables avec des œufs de LB.

La 3<sup>ème</sup> PC est significativement positivement corrélée à la FT des œufs et de l'entier, à la FP de l'entier, à l'indice de jaune et aux unités Haugh ainsi qu'à la cohésion et à la fermeté des mousses et à l'instabilité des émulsions à 45 min (Figure 1B). Elle est significativement négativement corrélée au poids et à l'indice de la coquille, au pH du blanc et de l'entier, au taux de foisonnement et à l'instabilité de l'émulsion à 15 min. Cette 3<sup>ème</sup> PC oppose les œufs alternatifs (Sol et Plein Air) aux œufs Cages (Figure 1E). Ainsi, les œufs alternatifs sont plus contaminés que les œufs Cages, en accord avec Singh *et al.* (2009). Ils présentent une coquille plus légère avec un indice plus faible et le pH du blanc et de l'entier sont plus faibles. Contrairement aux résultats d'Alemprese *et al.* (2012), les œufs alternatifs forment des mousses moins foisonnées, plus cohésives et plus fermes et des émulsions plus stables à 15 min mais moins stables à 45 min que les œufs Cages.

### 2.2. Le mode d'élevage est la première source de variabilité de la qualité des ovoproduits

La figure 2 présente les résultats de l'AFM appliquée au jeu de données des ovoproduits pasteurisés. Les 2 premières PC expliquent 30% de la variabilité du jeu de données. La 1<sup>ère</sup> PC (Figure 2A) corrèle significativement positivement avec la microbiologie, la couleur de la croûte et de la mie de la génoise et négativement avec la teneur en ES et en protéines de l'entier et l'ES de la génoise. Cette 1<sup>ère</sup> PC oppose les œufs Cages aux œuf Plein Air (Figure 2 B). Ainsi, on note une moindre contamination microbiologique des ovoproduits à base d'œufs Cages par rapport à ceux issus d'œufs Plein Air. En revanche, la teneur en ES et en protéines des entiers Cages est plus élevée que celle des entiers Plein Air, ce que l'on retrouve dans la génoise également. Les génoises obtenues à base d'entier pasteurisé Plein Air présentent une croûte et une mie plus colorées.

La 2<sup>ème</sup> PC (Figure 2A) est significativement positivement corrélée à l'évolution de la luminosité des entiers, au pH du blanc et de l'entier et à la dureté de la génoise et négativement corrélée au taux de foisonnement et à l'ES de la génoise ainsi qu'à l'âge des poules. Cette 2<sup>ème</sup> dimension oppose les ovoproduits de saison chaude à ceux de saison froide (Figure 2C). En saison chaude, on note en effet un pH et un ES plus élevés pour les ovoproduits et une dureté supérieure pour les génoises. Les ovoproduits présentent aussi un blanchiment plus important en

saison chaude, qui pourrait être en lien avec une plus forte contamination des œufs (Fig 1).

Aucune des PC ne permet de discriminer les échantillons selon la souche des poules. Ainsi, l'effet observé sur les œufs coquilles ne se retrouve pas sur les ovoproduits pasteurisés.

## CONCLUSION

Cette étude est la première à avoir suivi les lots d'œufs de l'élevage à la fabrication de gâteaux en

passant par la transformation en ovoproduits pasteurisés. Le changement des modes d'élevage des cages vers des systèmes alternatifs au sol ou en plein air n'est pas sans conséquences sur la qualité des produits de la filière. Si le mode d'élevage a moins d'impact sur les œufs coquilles que n'en a la saison ou la souche des poules, il représente la première source de variabilité des ovoproduits et des produits finis, qu'il s'agisse d'aspects microbiologiques, physico-chimiques, techno-fonctionnels ou de qualité.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alemprese C, Casirahi E, Rossi M (2012) Int. J. Food Sci. Technol., 47 (7): 1411-1420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02988.x>
- Baron F, Cochet MF, Grosset N, Madec MN, Briandet R, Dessaigne S; Chevalier S, Gautier, M, Jan S (2007) J. Food Protect., 70 (12): 2782-2791. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.12.2782>;
- Bergquist D.H. (1995). In W.J. Stadelman & O.J. Cotterill (Eds), Egg science and technology (4th 459 ed.) (pp 335-376). The Haworth Press Inc, Binghamton, USA.
- Bourne, M.C. (1978). Food Technol., 32, 62-66.
- CNPO (2021) Infos filières, les chiffres clés consulté le 06/12/2023 <https://oeuf-info.fr/infos-filiere/les-chiffres-cles/>
- Dong XY, Yin ZZ, Ma YZ, Cao HY, Dong DJ (2017) Poult. Sci., 96 (11): 3896-3900. <https://doi.org/10.3382/ps/pex155>
- Hammershøj M, Steenfeldt (2015) Animal Feed Science and technology, 208: 182-197. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.012>
- Husson, F., Josse, J., Lê, S., 2008. J. Stat. Softw. 25, 1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lordelo M, Fernandes E, Bessa RJB, Alves Sp (2017) Poult. Sci., 96 (5): 1485-1491. <https://doi.org/10.3382/ps/pew409>
- R Development Core Team, 2007. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- Singh R, Cheng KM, Silversides FG. (2009). Poult. Sci. 88(2):256-64. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00237>.
- Vlčková J, Tůmová E, Ketta M, Englmaierová M, Chodová D (2018). Czech J. Anim. Sci. 63(2):51-60. <https://doi.org/10.17221/77/2017-CJAS>
- Vlčková, J., Tůmová, E., Míková, K., Englmaierová, M., Okrouhlá, M., Chodová, D., (2019). Poult. Sci., 98: 6187–6193. <https://doi.org/10.3382/ps/pez401>

