

J.-M. Lecerf^{1,2}¹ Service de nutrition, Institut Pasteur de Lille.² Service de médecine interne, CHRU de Lille.

L'enrichissement alimentaire : l'exemple de l'œuf

Résumé

La composition de l'œuf est, pour une part, modulable selon l'alimentation animale. Après avoir rappelé les qualités nutritionnelles des œufs et les modifications observées sur les œufs modernes, les améliorations nutritionnelles des œufs sont passées en revue. Il est notamment possible d'augmenter l'incorporation des acides gras oméga 3 (notamment en DHA) des œufs à partir de diverses sources alimentaires animales ou végétales. La teneur en caroténoïdes (en lutéine particulièrement), en vitamine E et en sélénium a également pu être très fortement accrue avec plusieurs modèles. Des études en nutrition humaine ont montré que l'on pouvait améliorer le statut nutritionnel mais aussi certains paramètres biologiques, tels que les triglycérides plasmatiques de sujets ingérant des œufs enrichis : il s'agit donc bien d'œufs fonctionnels. Des applications pour la prévention de diverses pathologies sont possibles.

Mots-clés

- Œufs
- Aliments enrichis
- Aliments fonctionnels
- Acides gras oméga 3
- Caroténoïdes
- Triglycérides

Correspondance :

Jean-Michel Lecerf

Service de nutrition

Institut Pasteur de Lille

B.P. 245

59019 Lille cedex

jean-michel.lecerf@pasteur-lille.fr

© 2008 - Elsevier Masson SAS - Tous droits réservés.

est hypersynthétiseur ou hyperabsorbeur, les deux étant inversement corrélés. La relation entre consommation d'œuf et cholestérol plasmatique est inconstante ou nulle. Il n'y a pas de corrélation entre cholestérol alimentaire et risque cardiovasculaire, ou entre consommation d'œuf et risque cardiovasculaire [1].

En réalité, l'œuf est un candidat puissant dans la cour des aliments fonctionnels. Spontanément, l'œuf a une composition nutritionnelle qui en fait un aliment non pas complet et équilibré, mais intéressant et riche. La biodisponibilité de certains de ses constituants (lipides, caroténoïdes,...) est particulièrement élevée. Surtout, la poule étant un biotransformateur efficace (« biomagnificateur » selon Jean-Marie Bourre [2]), c'est un aliment dont la composition peut être aisément modifiée et enrichie.

De l'œuf standard à l'œuf originel (figure 1)

L'œuf fait référence en terme de profil en acides aminés. Il a un index chimique et une valeur biologique, critère direct de l'utilisation des protéines qui est de 100 % et une digestibilité réelle de 98 % ; l'utilisation protidique nette est donc de 98 % et le score DIS-CO de 1,18, comparable à celui du lait (1,21), meilleur que celui du bœuf (0,92), du soja (0,91), ou du blé (0,42). Ceci est lié à la présence de tous les acides aminés en quantité identique à celle des besoins et à une digestibilité optimale lorsqu'il est cuit.

Longtemps, il a été considéré que la composition de l'œuf était unique et constante. Ceci est faux, sur le plan de sa composition lipidique et/ou en

L'œuf est un aliment nutritionnellement complexe. C'est aussi un aliment dont la symbolique est complexe. Son origine et son devenir, futur embryon, en font un aliment doté d'une image positive puisqu'il est potentiellement porteur de vie.

Dans nos cultures occidentales, son discrédit vient de sa teneur élevée en cholestérol et de la responsabilité qu'on lui attribue dans l'élévation du cholestérol plasmatique et du risque cardiovasculaire. Pourtant, de nombreuses études montrent que le lien entre cholestérol alimentaire et cholestérol plasmatique est soit nul, soit faible. Il dépend de facteurs génétiques, mais surtout de facteurs physiologiques. Parmi les facteurs physiologiques, le pourcentage d'absorption du cholestérol est, d'une part, inversement proportionnel au cholestérol alimentaire ingéré, et d'autre part, au fait que le sujet

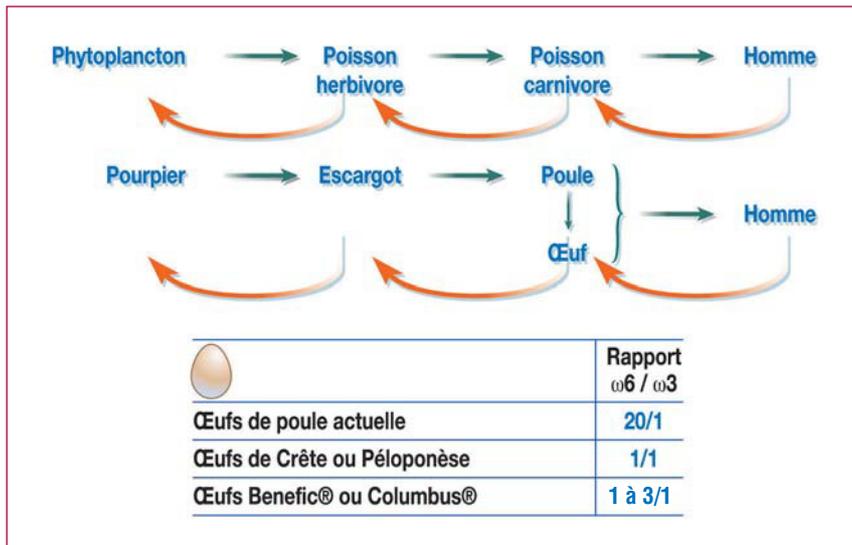


Figure 1 : De la chaîne alimentaire à la filière.

micronutriments. La modulation des lipides de l'œuf - contenu exclusivement dans le jaune - par l'alimentation animale a été rapportée dès 1934 [3] ; en effet celle-ci est modulable et est fonction de l'alimentation animale avec une interaction alimentation/phylogenèse (espèce) [4]. Ainsi, l'œuf standard moderne américain ou européen issu de poules nourries aux graines contient 10 à 20 fois moins d'acides gras oméga 3 et un à 1,5 fois plus d'acides gras oméga 6 que l'œuf originel grec ou sauvage issu de poules nourries à l'herbe. Le rapport oméga 6/oméga 3 peut ainsi passer de 19,5 pour l'œuf moderne américain à 1,03 pour l'œuf originel [5].

L'œuf est aussi une source de nombreux micronutriments : iode, sélénium, acide folique, vitamine D, vitamine E, caroténoïdes ; cette teneur est également largement sous l'influence de facteurs alimentaires. Le concept d'œuf multi-enrichi ou de « *super egg* » ou encore de « *designer egg* », a donc été développé [2, 6].

Les œufs enrichis

La quasi-totalité des nutriments du jaune de l'œuf peut être modifiée par l'alimentation de l'animal (acides gras, caroténoïdes, vitamine E, D, B9, sélénium), alors

que les vitamines hydrosolubles telles que le thiamine (vitamine B1), la riboflavine (vitamine B2), la biotine (vitamine B8) transportées dans le plasma de la poule avec une protéine de transport spécifique sont captées dans la phase aqueuse du jaune et n'augmentent pas linéairement avec la supplémentation [7].

Les moyens mis en œuvre pour réaliser cette modification peuvent être divers : incorporation d'huile de poisson, de farine de poisson, de graines de lin, de soja, de colza, de carthame, mais aussi de chia, une céréale amérindienne peu connue [8], ou de micro-algues [3, 8-10].

Modification des acides gras

La poule est un monogastrique capable d'incorporer tels quels dans ses tissus les acides gras ingérés, sans hydrogénation. La teneur en acides gras saturés est relativement résistante aux manipulations alimentaires avec une place préférentielle en position 1 sur le glycérol des triglycérides et sur les phospholipides ; et les changements de teneur en acide oléique monoinsaturé sont modestes pour l'œuf, - car l'oiseau les maintient dans des fourchettes étroites y compris à partir d'une synthèse *de novo* à partir des hydrates de carbone [3, 4, 7].

De nombreuses études visant à modifier les acides gras de l'œuf de poule ont été réalisées [11-13].

La teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI), et singulièrement en acides gras hautement polyinsaturés (AGHPI) (22 : 6n - 3 acide docosahexaénoïque (DHA)) et (20 : 4n - 6 acide arachidonique (AA)) est maintenue à un niveau élevé car il est vital pour le développement embryonnaire de tissus tels que le cerveau, le cœur, le muscle, le foie, avec une haute incorporation sous forme de phospholipides. La teneur en AGPI peut être modulée par l'alimentation, mais il y a une adaptation liée à la génétique et donc à l'espèce, modulant les voies métaboliques en fonction des apports alimentaires de l'animal, selon qu'il est herbivore, insectivore, carnivore, « piscivore », etc. [4].

Une autre caractéristique des lipides de l'œuf est la forme de stockage. La teneur en acides gras exprimée en pourcentage du poids total des acides gras ne reflète pas la répartition entre triglycérides et phospholipides. Ainsi, les AGHPI sont essentiellement présents dans la fraction phospholipidique, tandis que les AGPI essentiels (acide linoléique (LA), acide α linoléique (ALA)) sont présents à la fois sous forme de triglycérides et de phospholipides. La fraction phospholipidique représente un quart des lipides du jaune d'œuf.

D'autre part, un enrichissement de l'alimentation animale en AGPI essentiels accroît la teneur en LA et ALA et modestement en AGHPI. Accroître la teneur en AA et en EPA nécessite un apport de poisson, d'huile de poisson ou d'algues.

Enfin, la place des acides gras sur le glycérol et les phospholipides est aussi à prendre en considération, car la biodisponibilité de l'acide gras en position 2 sur le glycérol et en position 1 sur le phospholipide est supérieure [5]. L'incorporation de DHA dans le jaune d'œuf lors de la supplémentation en DHA induit initialement une augmentation linéaire, puis un plateau. La teneur en DHA ne peut dépasser 4 % de l'ensemble des acides gras de l'œuf, soit une multiplication par 4 ou 5, à peine plus basse que la teneur en DHA d'œufs d'oiseaux piscivores tels que les pingouins [4, 7].

Plusieurs études ont confirmé ces données.

Les aliments fonctionnels

Le rapport $\omega 6/\omega 3$ des œufs grecs ou crétois, particulièrement bas, est lié à la consommation par les poules de pourpier, d'escargots et de limaces. Les œufs Columbus[®] sont obtenus par une alimentation riche en graines de chia, une graine d'Amérique Centrale contenant 20 % d'acide α linoléique [8]. La teneur en C18 : 3 – n-3 (ALA) de l'œuf est multipliée par 10 à 50 et celle de DHA est multipliée par 2 à 4 selon le pourcentage de chia incorporé, la teneur en DHA étant décroissante si l'incorporation dépasse 7 %. Le rapport $\omega 6/\omega 3$ est de 1,3 pour une incorporation de 14 %. Parallèlement, le pourcentage d'acides gras saturés diminue un peu, surtout au dépend de l'acide palmitique.

Les œufs Bénéfic[®] sont issus de poules nourries avec des graines de lin et permettent de multiplier par 6 la teneur en ALA par rapport à l'œuf standard français et par 20 par rapport à l'œuf standard américain. La teneur en DHA est multipliée par 3 à 4. Il n'y a pas de modification de la teneur en acides gras oméga 6 de sorte que le rapport oméga 6/oméga 3 passe de 15 à 3,5 [2, 6].

L'enrichissement en poisson ou en huile de poisson accroît plus la teneur en DHA et moins celle en ALA, mais les teneurs en oméga 3 total peuvent être plus faibles et le rapport $\omega 6/\omega 3$ plus élevé qu'avec les graines (colza, lin, chia). Les algues sont aussi une alternative envisagée [3, 8], ou encore les crabes rouges. Enfin, il est possible d'enrichir les œufs en d'autres acides gras tels que les acides linoléiques conjugués (CLA) [14].

Modification des autres nutriments

L'augmentation de la teneur en antioxydants peut être un objectif important dans la mesure où l'accroissement du degré d'insaturation des œufs riches en AGPI peut augmenter leur susceptibilité à l'oxydation.

Un « *super egg* » obtenu en manipulant l'alimentation animale peut multiplier sa teneur en sélénium par 7,7, en vitamine E par 26,8 et en lutéine par 15,9, un seul « *designer-egg* » pouvant fournir 50 % des apports conseillés en sélénium et 150 % des apports conseillés en vitamine E [7, 15]. Vitamine E, sélénium et lutéine restent stables lors de la cuisson

de l'œuf (bouillis ou frits). La quantité de malondialdéhyde (MDA), un marqueur de l'oxydation des acides gras, est de 0,6 $\mu\text{g/g}$ de jaune dans l'œuf « *designer* » au lieu de 2,2 dans le jaune de l'œuf standard. L'enrichissement en vitamine E protège de l'oxydation les acides gras oméga 3 [16].

L'œuf Bénéfic[®] obtenu à partir de poules nourries avec des graines de lin et un complément alimentaire entraîne une augmentation de la teneur en iode (x 2,5), en sélénium (x 4), en acide folique (x 4), en vitamine E (x 6), en vitamine D (x 3), en lutéine et zéaxanthine (x 6), permettant d'atteindre respectivement pour un œuf 100 % des ANC en iode, 47 % de ceux en sélénium, 70 % de ceux en acide folique, 66 % de ceux en vitamine E, et 30 % de ceux en vitamine D [2, 6] (il n'y a pas d'ANC en lutéine et zéaxanthine).

Pour atteindre 30 μg de sélénium dans un œuf, il suffit d'incorporer 0,4 mg de sélénium par kg de nourriture sous forme d'un blé enrichi en sélénium. Une supplémentation en sélénium de source organique entraîne une incorporation importante du sélénium dans l'œuf sous forme d'acides aminés séléniés, ce qui correspond aux mécanismes de captation durant la vitellogénèse. Par contre, il ne semble pas possible d'enrichir l'œuf en vitamine B1, B2 et B8. Le bêta-carotène est faiblement incorporé dans l'œuf de poule, probablement du fait de sa conversion en vitamine A dans les tissus de l'animal [7].

En ce qui concerne les caroténoïdes xanthophylles que sont la lutéine et la zéaxanthine, leur teneur naturelle dans les œufs standards est relativement élevée, mais cette teneur est variable selon l'alimentation : le transfert des xanthophylles du maïs dans l'œuf est très efficace et homogène [17]. La cuisson ne modifie pas la teneur en lutéine des œufs.

Intérêt pour la nutrition et la santé humaines

L'intérêt des œufs enrichis peut être double, d'une part pour la nutrition humaine, capable d'améliorer le statut nutritionnel, d'autre part pour la santé humaine en exerçant des effets physiologiques justifiant le qualificatif d'œuf fonctionnel.

Intérêt pour la nutrition humaine

Modification de la teneur en acides gras

La consommation humaine d'un « *designer egg* » enrichi en DHA (209 mg/œuf) accroît, au bout de huit semaines, la teneur en DHA de toutes les fractions des lipides plasmatiques (x 1,3 dans les phospholipides, x 1,4 dans les esters de cholestérol, x 2,3 dans les triglycérides, x 1,6 dans les acides gras libres), chez tous les sujets excepté chez un sujet (sur 44), celui ayant les plus fortes teneurs en base [7, 15].

La teneur en DHA augmente dans les hématies de sujets ayant consommé des œufs enrichis en DHA. La consommation d'œufs enrichis en ALA (graines de lin) entraîne une augmentation de 60 % du DHA dans les phospholipides des plaquettes [18].

À 16 et 22 semaines la teneur en EPA, DHA et acides gras oméga 3 totaux est plus élevée dans le plasma de sujets ayant consommé des œufs de poules nourries avec de l'huile de poisson seule ou associée à des huiles végétales [19, 20].

La consommation d'œufs de poules nourries avec de l'huile de lin, contenant 690 mg d'acides gras oméga 3, dont 165 mg à très longue chaîne (EPA, DPA, DHA) entraîne au bout de six semaines chez des femmes allaitantes un accroissement des acides gras oméga 6 et oméga 3 des phospholipides du lait maternel, plus que des triglycérides, avec une présence de l'AA et de l'EPA en position 2 sur les phospholipides [21]. Chez des enfants de six à 12 mois allaités ou nourris au lait artificiel et recevant quatre œufs enrichis par semaine, un accroissement de 30 à 40 % du DHA érythrocytaire est observé [22].

Cette augmentation des apports en acides gras oméga 3, non seulement est capable de contribuer au rééquilibrage des apports nutritionnels en acides gras, mais aussi de modifier le contenu tissulaire en acides gras, élément déterminant pour la fluidité membranaire, mais aussi essentiel pour leur rôle fonctionnel via la production des médiateurs chimiques eicosanoïdes (prostaglandines et leucotriènes) qui en sont issus [23]. L'alimentation actuelle des Français est en moyenne déficitaire en acide ALA, et pour une part de la population, elle est

insuffisante en acides gras oméga 3 à longue chaîne même si l'apport moyen est convenable par rapport aux apports conseillés. Le rapport oméga 6/oméga 3 conseillé est (pour l'instant) de 5/1, alors que le rapport observé est, en moyenne, en France de 10/1 à 15/1. La consommation d'œufs « enrichis » est susceptible de contribuer à une amélioration de l'équilibre (rapport oméga 6/oméga 3) de l'apport en acides gras polyinsaturés de la population, ce qui est sans doute bénéfique sur le plan du risque cardiovasculaire [24].

Enrichissement en micronutriments

- **Minéraux.** L'ingestion d'œufs enrichis en sélénium n'augmente que modérément la concentration plasmatique de sélénium, peut-être du fait d'une biodisponibilité insuffisante sous cette forme ou d'apports initialement adéquats [15]. Chez des sujets ayant un statut déficitaire en sélénium, la consommation d'œufs enrichis en sélénium pendant trois mois entraîne une augmentation significative de la teneur en sélénium du plasma et des cheveux [25].

- **Vitamines.** La consommation d'œufs enrichis en vitamine E apportant 20 mg de vitamine E par œuf et fournissant 150 % des apports conseillés en vitamine E, entraîne une augmentation significative de la concentration plasmatique en alpha-tocophérol par rapport au groupe contrôle, avec un accroissement chez tous les sujets [7, 15], mais pas en gamma-tocophérol.

- **Caroténoïdes.** La plupart des études [15, 26, 27] ont montré que la consommation d'environ un œuf par jour accroît la concentration plasmatique de lutéine de 20 à 30 %. Des œufs enrichis en lutéine (1,91 mg/œuf) (x 16) doublent la concentration plasmatique de lutéine [7, 15] au bout de huit semaines. La lutéine de l'œuf a une meilleure disponibilité que celle des épinards ou d'une capsule, chez des volontaires suivis 10 jours [26].

Intérêt pour la santé humaine

Effets sur les triglycérides

La consommation de quatre œufs enrichis en ALA par jour entraîne une diminution rapide des triglycérides plasma-

tiques, d'environ 35 % chez des sujets sains, sans modification du cholestérol total et du HDL-cholestérol [18]. Toujours chez des volontaires sains, la consommation de quatre œufs enrichis à partir d'huile de poisson diminue les triglycérides, alors que la consommation des œufs témoins entraîne une augmentation du cholestérol et des triglycérides, dans un essai en traitement croisé, de quatre semaines par période [28]. Une autre étude chez des volontaires sains a montré que la consommation de deux œufs enrichis en oméga entraînait, au bout de 18 jours, une diminution de 40 % des triglycérides plasmatiques et une augmentation du cholestérol total et du LDL-cholestérol [20]. La consommation d'un œuf enrichi en oméga 3 par jour n'entraîne pas de modification des lipides plasmatiques [19].

Une étude plus récente en traitement croisé, avec analyse entre les deux groupes en fin d'étude, montre une diminution significative des triglycérides de 18,3 % dans le groupe œufs enrichis en acides gras oméga 3 (huile de poisson), sans différence pour le cholestérol total et le HDL-cholestérol [29].

Il n'y a pas d'étude chez le sujet dyslipidémique.

Conclusion

Les œufs sont naturellement des aliments de qualité nutritionnelle intéressante. Leur composition en acides gras et en certains micronutriments (vitamine E, sélénium, caroténoïdes) est variable selon l'espèce animale et son mode alimentaire. Depuis quelques années, la composition en acides gras polyinsaturés des œufs « modernes » s'est modifiée avec une élévation du rapport oméga 6/oméga 3 (de même que l'alimentation globale des populations occidentales).

Il est possible d'enrichir la teneur en vitamine E, sélénium, caroténoïdes et acides gras oméga 3 des œufs de poule en modifiant l'alimentation animale avec diverses sources alimentaires. Plusieurs études ont montré que l'on pouvait améliorer le statut nutritionnel de sujets ingérant ce type d'œufs. Des effets fonctionnels, notamment sur les lipides plasmatiques, ont été observés chez les volontaires sains, notamment un effet hypotriglycéridémiant. D'autres effets pourraient être attendus, tels que l'accroissement du pigment maculaire ou un effet anti-inflammatoire, pouvant être utile pour la prévention ou le traitement d'affections telles que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) ou l'athérosclérose.

Le goût est un élément primordial pour qu'un aliment fonctionnel, tel que l'œuf, soit accepté. Il est souvent rejeté pour les œufs issus de poules nourries avec du poisson (plus de 1,5 %), il est plus apprécié pour ceux issus de poules nourries avec du chia ou du lin ; en ce qui concerne les micro-algues, l'acceptabilité semble bonne pour un apport de moins de 1 % dans la nourriture animale [8].

Effet sur la pression artérielle

Dans l'étude de Oh *et al.* [28], une diminution significative de la pression artérielle systolique a été retrouvée dans le groupe « œufs enrichis en oméga 3 ». Ceci n'a pas été retrouvé dans l'étude de Farell [19].

Effet potentiel sur l'athérosclérose

Chez des souris double KO pour l'apo E et le récepteur aux LDL, l'administration d'œufs enrichis en CLA a diminué la taille des plaques d'athérome aortique des souris, le nombre des macrophages et la surface occupée par les cellules musculaires lisses dans les lésions d'athérosclérose, témoignant sans doute d'un effet anti-inflammatoire pouvant favoriser la stabilisation de plaque [14].

Références

- [1] Lecercf JM, De Lorgeril M. Le cholestérol alimentaire. *Science des aliments* 2008;28:68-76.
- [2] Bourre JM. L'œuf naturel multi-enrichi : des apports élevés en nutriments, notamment acides gras oméga-3, en vitamines, minéraux et caroténoïdes. *Méd Nut* 2005;41:116-34.
- [3] Cherian G. Omega 3 fatty acids. *Studies in avians*. In: De Meester F, Watson RR, editors. *Wild-type food in health promotion and disease*

Les aliments fonctionnels

prevention. Totowa, NJ:Human Press, 2008. pp.169-77.

[4] Surai PF, Papazyan TT, Sparks NHC, Speake BK. The natural fatty acid compositions of eggs of wild birds and the consequences of domestication. In: De Meester F, Watson RR, editors. Wild-type food in health promotion and disease prevention. Totowa, NJ:Human Press, 2008. pp.121-37.

[5] De Meester F. The wild-type egg. An empirical approach to a reference pattern for dietary fatty acids in human condition. In: De Meester F, Watson RR, editors. Wild-type food in health promotion and disease prevention. Totowa, NJ: Human Press, 2008. pp.91-113.

[6] Bourre JM, Galea F. An important source of omega-3 fatty acids, vitamins D and E, carotenoids, iodine and selenium: a new natural multi-enriched egg. *J Nutr Health Aging* 2006;10:371-6.

[7] Surai PF, Papazyan TT, Sparks NHC, Speake BK. Simultaneous enrichment of eggs with PUFA's and antioxidants. Prospects and limitations. In: De Meester F, Watson RR, editors. Wild-type food in health promotion and disease prevention. Totowa, NJ:Human Press, 2008. pp.139-53.

[8] Ayerza R. Chia as a new source of ω 3 fatty acids nutritional comparison with other raw materials and its advantages when producing ω 3 enriched eggs. In: De Meester F, Watson RR, editors. Wild-type food in health promotion and disease prevention. Totowa, NJ:Human Press, 2008. pp.179-94.

[9] Fredriksson S, Elwinger K, Pickova J. Fatty acid and carotenoid composition of egg yolk as an effect of microalgae addition to feed formula for laying hens. *Food Chemistry* 2006;99:530-7.

[10] Nitsan Z, Mokady S, Sukenik A. Enrichment of poultry products with omega 3 fatty acids by dietary supplementation with the alga *Nannochloropsis* and mantur oil. *J Agric Food Chem* 1999;47:5127-32.

[11] Cachaldora P, García-Rebollar P, Alvarez C, et al. Effect of type and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids retention efficiency in laying hens. *Br Poult Sci* 2006;47:43-9.

[12] Grobas S, Méndez J, Lázaro R, et al. Influence of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acid composition of egg yolks of two strains of laying hens. *Poult Sci* 2001;80:1171-9.

[13] Trebnovná A, Vasko L, Svedová M, et al. The influence of omega-3 polyunsaturated fatty acids feeding on composition of fatty acids in fatty tissues and eggs of laying hens. *Dtsch Tierarztl Wochenschr* 2007;114:275-9.

[14] Franczyk-Zarów M, Kostogryś RB, Szymczyk B, et al. Functional effects of eggs, naturally enriched with conjugated linoleic acid, on the blood lipid profile, development of atherosclerosis and composition of atherosclerotic plaque in apolipoprotein E and low-density lipoprotein receptor double-knockout mice (apoE/LDLR^{-/-}). *Br J Nutr* 2008;99:49-58.

[15] Surai PF, MacPherson A, Speake BK, et al. Designer egg evaluation in a controlled trial. *Eur J Clin Nutr* 2000;54:298-305.

[16] Qi GH, Sim JS. Natural tocopherol enrichment and its effect in n-3 fatty acid modified chicken eggs. *J Agric Food Chem* 1998;46:1920-6.

[17] Looten P, Wils D, Saniez MH, Nys Y. Xanthophyll profile of corn gluten meal throughout the year and transfer yield into egg yolk. In: Proceeding 10th symposium of the quality of egg products, 2003;3:186-91.

[18] Ferrier LK, Caston L, Leeson S, et al. Changes in serum lipids and platelet fatty acid composition following consumption of eggs enriched in alpha-linolenic acid (LnA). *Food Res Intern* 1992;25:236-68.

[19] Farrell DJ. Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am J Clin Nutr* 1998;68:538-44.

[20] Jiang Z, Sim JS. Consumption of n-3 polyunsaturated fatty acid-enriched eggs and changes in plasma lipids of human subjects. *Nutrition* 1993;9:513-8.

[21] Cherian G, Sim JS. Changes in the breast milk fatty acids and plasma lipids of nursing mothers following consumption of n-3 polyunsaturated fatty acid enriched eggs. *Nutrition* 1996;12:8-12.

[22] Makrides M, Hawkes JS, Neumann MA, Gibson RA. Nutritional effect of including egg yolk in the weaning diet of breast-fed and formula-fed infants: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2002;75:1084-92.

[23] Lecerf JM. Acides gras essentiels. Paris: Encycl. Méd-Chir, Endocrinologie Nutrition, 2000, 10542, F-10.

[24] Lecerf JM. Rapport oméga 6 / oméga 3. Quel rôle dans les pathologies cardiovasculaires. *Nutrition et facteurs de risques* 2004;7:43-8.

[25] Yu G, Li JQ, Chen ZS et al. Studies on raising the nutritive value of eggs by adding medical herbs and trace elements in the feeds for laying hens. *J Shanghai Agric Coll* 1996;14:267-72.

[26] Chung HY, Rasmussen HM, Johnson EJ. Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men. *J Nutr* 2004;134:1887-93.

[27] Muller H, Bub A, Watzl B, Reckemmer G. Plasma concentrations of carotenoids in healthy volunteers after intervention with carotenoid-rich foods. *Eur J Nutr* 1999;38:35-44.

[28] Oh SY, Ryue J, Hsieh CH, Bell DE. Eggs enriched in omega-3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *Am J Clin Nutr* 1991;54:689-95.

[29] Bovet P, Faeh D, Madeleine G, et al. Decrease in blood triglycerides associated with the consumption of eggs of hens fed with food supplemented with fish oil. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2007;17:280-7.