

# Chia comme source d'acides gras omega 3 pour consommation animale et humaine

<sup>1</sup> Traduit de l'original en anglais par Dr. M. Paul Neutelings, Saint Ghislain, Belgique.

*Ing. Ricardo Ayerza (h)*  
*Southwest Center for Natural Products*  
*Research & Commercialization*  
*The University of Arizona*  
<rayerza@ag.arizona.edu>

## Introduction

De nos jours, il existe sur le marché des produits oméga-3 obtenus à partir de graines de lin, graines de chia, farines ou huiles de poissons, ou d'algues marines. Ils sont, soit directement inclus dans l'alimentation humaine, soit inclus en tant que compléments en alimentation animale en vue d'enrichir le produit final.

Bien que tous ces produits aient une haute teneur en acides gras oméga-3, il existe des différences importantes en termes de disponibilité, fiabilité d'approvisionnement, stabilité de qualité et de prix entre ces différentes sources. Un autre facteur important est la composition chimique avec ses répercussions physiologiques et nutritionnelles sur la santé humaine et animale.

Les hypothèses et diverses interprétations des effets sur les métabolismes humains, bovins et aviaires des différentes sources oméga-3 ont récemment été développées par Ayerza et Coates (2002,2001,20000 & 1999) et Ayerza & (2002).

Une première approche en la matière, intitulée « chia, nouvelle source d'acides gras oméga-3 : avantages par rapport à autres matières premières pour produire des œufs enrichis en oméga-3 » a fait l'objet d'une présentation au « symposium des acides gras oméga-3, évolution et santé humaine (Washington, DC, Septembre 23-24, 2002), organisé par SA Belovo. Le but de cette publication est de comparer les effets du chia par rapport aux autres sources oméga-3 disponibles, non seulement sur la production d'œufs enrichis mais également sur le métabolisme d'autres espèces animales et chez l'homme.

## Origine

De toutes les sources naturelles brutes, seuls le lin (*Linum usitatissimum L.*) et le chia (*Salvia hispanica L*) sont des productions agricoles. Ce sont les deux espèces végétales avec les plus hautes teneurs en acide linoléique oméga-3 ([tableau 1](#)) connues de nos jours (Ayerza, 1996, 1995; Coates and Ayerza, 1998,1996; Oomah and Kenasehuk, 1995). Ces graines sources d'oméga-3 sont souvent utilisées en tant qu'ingrédients complémentaires en alimentation humaine ou animale ou en tant que supplément naturel; dont une approche nutritionnelle comparative figure au [tableau 2](#).

Les autres sources disponibles d'origine marine, à savoir les algues et l'huile ou farine de poisson, contiennent toutes deux des longues chaînes d'acides gras oméga-3, respectivement DHA et EPA ([tableau 3](#)). Si l'on compare la composition des huiles respectives, il semble que les sources telluriques contiennent d'avantage d'oméga-3 ([tableau 4](#)).

Le chia et le lin sont cultivées en zones agricoles et toute la récolte est mécanisée. Le lin pousse en zone tempérée à tempéré-froide tandis que le chia nécessite un climat subtropical à tropical. Bien que toutes deux ont une longue histoire d'exploitation, celle du chia fut interrompue au XVI<sup>e</sup> siècle lorsque les conquérants envahirent l'Amérique après sa découverte par Christophe Colomb. Le chia était condamné à disparaître parce qu'il s'agissait d'une des offrandes offertes aux dieux aztèques tel un sacrilège. (*Sahagun, 1575*). Par contre, le lin d'abord cultivé en Asie et en Europe et seulement plus tard en Amérique, suivit son évolution agricole sans discontinuer avec l'existence actuelle de variétés riches en acides gras oméga-6, autres variétés génétiquement modifiées approuvées pour la production et commercialisation aux USA, Canada et autres pays ; en plus des variétés traditionnelles riches en oméga-3 (*Health Canada, 1999; United States Department of Agriculture, 1999a; Canadian Food Inspection Agency, 1998*).

L'huile de poisson est essentiellement issue des pêches océaniques tandis que les algues marines initialement sauvages sont actuellement cultivées en marais artificiels.

## **Nutrition**

Le poisson et le chia ont une longue histoire en matière d'alimentation humaine. Le poisson constitue l'aliment de base pour les populations en bordure de mer ou de rivière. Malgré le déclin de ces ressources, (*Organization for Economic Cooperation and Development, 1998; Chipello, 1998*), elle reste l'aliment de base de certaines régions. Ces constats ne peuvent cependant s'appliquer à toutes les huiles de poissons sauf pour celles qualifiées de salutaires (*GRAS-Generally Recognized as safe*) pour l'homme par la FDA (*Food and Drug Administration, 1999; Becker and Kyle, 1998*).

Pour beaucoup de personnes, un facteur de limitation important dans la consommation de poisson est sa potentialité allergisante aussi bien dans les allergies alimentaires que de contact. Les réactions allergiques au poisson sont des plus courantes rencontrées en allergologie infantile et adulte (*Hebling et al., 1996; James et al., 1997; Hansen et al., 1997; Madsen, 1997*). Les maladies allergiques sont actuellement une des causes principales de maladies voire décès particulièrement chez les jeunes enfants. Une augmentation des affections allergiques a été étudiée en différents pays (*Chandra, 2002*). La fréquence des allergies au poisson varie en fonction des localisations géographiques. En Suède, 39% des allergies alimentaires pédiatriques sont liées au poisson, en Espagne ce taux est de 18 à 30 %. En moyenne, on peut dire qu'en Europe, le taux d'allergie au poisson serait de l'ordre de 22% (*Pascual et al., 1992*). En France, le taux d'allergies alimentaires est de 15.4% dont 12.7% sont à imputer au poisson ou crustacés (*Moneret-Vautrin, 2001*).

D'autre part, les ressources et stocks de poisson déclinent suite à la sur-pêche et à la pollution des voies maritimes. De nos jours, la haute concentration de substances toxiques au sein du poisson de mer est une réelle source d'inquiétude. Une étude récente dosant les polluants organiques ( $\Sigma 14$  PCB, DDT, oxychlordane, et autres) sanguins des femmes issues de six pays péripolaires (Groenland, Canada, Islande, Norvège, Suède, et Russie) montre la présence de polluants à un taux élevé proche de celui des esquimaux Inuit dont le poisson est la principale source nutritive. La concentration de PCB dans le sang de femme du Groenland est 3.7 fois supérieur que le taux constaté chez les femmes Canadiennes en âge de reproduction. La population Inuit du Groenland se nourrit traditionnellement de poisson ou produits de la mer et de petits cétacés (*Helm et al., 2001; Hansen, 2000*). Ces constatations rejoignent celles d'une étude suédoise lorsque la population consommait de grandes quantités de poissons (dont le saumon et hareng) et montrait une augmentation significativement élevée du taux de dioxine dans les graisses par rapport aux non consommateurs de poissons (*Svensson et al., 1991*).

Les autorités sanitaires Irlandaises (IFSA) ont mené une étude concernant la contamination par la dioxine et le PCB des huiles de poissons et des huiles de foie de poissons destinées à la consommation humaine dans leur pays. L'IFSA affirme que les gélules d'huile de poisson vendues en tant que complément alimentaire contiennent dix à quinze fois la teneur en Dioxine et PCB tolérée selon les normes fixées en Union Européenne (*Food Safety Authority of Ireland, 2002*).

De plus, une étude menée chez la population Inuit adulte de Nunavik, Québec Artique au Canada, montre qu'une proportion significative de femmes en âge de procréation, présente un taux de mercure supérieur au seuil pathologique et qui induirait des troubles neurologiques pour d'autres populations (*Dewailly et al., 2001*).

Récemment, la Food and Drug Administration, FDA, a fait part de son avis aux femmes en âge de procréation ou ayant le désir d'être enceinte, en exprimant les risques de consommer certains poissons contenant de hautes teneurs de méthyl mercure. La FDA conseille de ne pas consommer du requin, du maquereau royal et du tilefish. Par mesure de prudence, la FDA conseille aux mères allaitantes ainsi qu'aux jeunes enfants de ne pas consommer ces poissons (*Food and Drug Administration, 2001*). De plus, le panel des quinze aviseurs en matière alimentaire de la FDA conclut dans leurs recommandations du 25 juillet 2002 d'éviter le thon pour les femmes enceintes vu les risques néfastes des taux élevés de mercure sur le développement cérébral du fœtus (*Neergaard, 2002*).

Une solution partielle pourrait être trouvée en aquaculture. Cependant l'aquaculture peut, elle-même, en fonction des méthodes de nutrition porter atteinte à l'écosystème par rapport aux diminutions des stocks de poissons. De nouveau, la qualité et la valeur nutritionnelle des poissons d'aquaculture dépendront de la qualité de leur alimentation ; et le niveau des acides gras  $\omega$ -3 peut s'avérer très bas comme nous le verrons plus loin dans cette étude (*Alasalvar et al., 2002; Hunter and Roberts, 2000; Wahlqvist, 1999*).

Ni le lin, ni les algues marines n'ont été considérées comme source nutritionnelle importante dans l'histoire de l'humanité. Au contraire, le lin a fait l'objet de nombreuses questions sur le plan de certains facteurs capables d'interférer sur la croissance normale

des humains et animaux. Le lin est utilisé dans la fabrication de produits industriels tels les enduits, couvertures de sols, peintures et vernis.

La restriction des graines de lin dans l'alimentation humaine est essentiellement due à la présence d'un cyanoglucoside toxique (la linamarine) et d'un facteur antagoniste des vitamines B6 (*Vetter, 2000; Center for Alternative Plant and Animal Products, 1995; Stitt, 1989; Butler et al., 1965*). Des découvertes récentes révèlent un lien entre un taux réduit en vitamines B6 et l'augmentation des risques d'accidents coronariens et attaques cardiaques (*American Heart Association, 1999*). L'homocystéine, un acide aminé soufré non protéique, présente un taux sanguin élevé lorsque les taux d'acide folique et de vitamines B6 sont inadéquats (*Herzlich et al., 1996; Selhub et al., 1996*), les chercheurs pensent que quand les cellules excrètent trop d'homocystéine dans le sang, l'irritation de l'endothélium artériel qui en résulte prédisposerait à la formation de plaques athéromateuses sur l'endothélium vasculaire (*McBride, 1999*). Un taux sanguin élevé d'homocystéine est actuellement considéré comme un facteur à risque à part entière prédisposant aux maladies cardio-vasculaires et attaques cardiaques (*Malinow, 1996; Boushey et al., 1995*).

Toutes les variétés de lin contiennent des facteurs antinutritionnels y compris les variétés génétiquement modifiées (OGM) dont la récente FP967 qui contient une teneur totale de composés cyanogéniques (linamarine, linustatine et néolinustatine) égale à la variété traditionnelle (*Canadian Food Inspection Agency, 1998*).

La consommation humaine de graines de lin est bannie en France et se pratique avec modération en Allemagne, Suisse et Belgique (*Le Conseil d'Etat, 1973*). Aux USA, bien que la consommation ne soit pas interdite, elle n'a pas l'approbation de la FDA. Ceci signifie qu'en de telles circonstances, lorsqu'une firme décide d'inclure le lin dans un produit ou sous-produit alimentaire, ces recommandations de sécurité alimentaire s'appliquent à tous les produits inclus dans leurs formulations (*Vanderveen, 1986*).

Des recherches récentes sur animaux ont démontré les effets néfastes de la consommation de graines de lin sur la gestation et la fécondité. Ces effets ont été attribués à l'action d'un composé dénommé diglycoside écoïolaricirésinol (SDG) qui, par action microbiale, agit en tant que dépresseur ou potentialisateur oestrogénique chez les mammifères. Le lin est reconnu comme la plus riche source de SDG, c'est pourquoi on recommande la plus grande prudence pour sa consommation pendant la gestation ou la lactation (*Toug et al., 1998; Rickard and Thompson, 1998*).

Les sources telluriques d'oméga 3 présentent un grand avantage du point de vue des maladies cardiovasculaires (MCV) puisqu'elles contiennent nettement moins d'acides gras saturés (myristique, palmitique et stéarique). L'huile de chia contient 2.8 à 5.1 moins d'acide gras saturé que, respectivement l'huile de poisson et l'huile d'algues ([Tableau 4](#)). Les acides gras saturés sont des facteurs de risques indépendants associés aux MCV, leurs effets négatifs sur les lipoprotéines cholestérol de basse densité sont plus forts que les effets du cholestérol d'origine alimentaire (*American Heart Association, 1988*). De plus, l'acide stéarique est considéré comme nettement moins hypercholestérolémiant que l'acide myristique et palmitique (*Katan et al., 1995; Nelson, 1992*), ou pas hypercholestérolémiant du tout (*Grundy, 1997; Bonanome and Grundy, 1988*) ; en regard

de ces deux derniers acides gras, le CHIA contient respectivement 3.3 et 7.1 fois moins d'acides gras palmitique et myristique que l'huile de poisson et d'algue ([tableau 3](#)).

Une autre considération importante est que les huiles de poisson contiennent du cholestérol étant d'origine animale. Les teneurs varient suivant les espèces. A titre d'exemple, la teneur en cholestérol par 100 grammes d'huile de sardine est 710 mg ; le saumon : 485 mg, le hareng 766 mg, menhaden oil : 521 mg et l'huile de foie de morue 570 mg. (*Unites States Department of Agriculture, 1999*). Cette considération est importante vu que le chia, le lin et les algues sont d'origine végétale.

L'utilisation d'huiles de poisson comme source d'oméga-3 à différentes concentration dans le régime des volailles a fait l'objet de récentes publications (*Scheideler et.al, 1997; Nash et al., 1996; Nash et al., 1995; Van Elswyk et al., 1995; Marshall et.al, 1994; Van Elswyk et al., 1992*). Il convient cependant de considérer les huiles de poissons comme sous-produits issus de préparations à base de poisson et, dès lors, la composition inconstante, peut dépendre de l'origine de l'huile ainsi que de son degré d'hydrogénation. La variation des acides gras dans les huiles de poisson commerciales est aussi fonction de la saison, de l'endroit, de l'espèce etc... et ont été étudiées (*Valenzuela and Uauy, 1999; Sebedio, 1995; Ackman, 1992*). Par exemple, l'huile de poisson menhaden et l'huile de foie de morue ont une teneur quasi équivalente d'EPA (10%) alors que l'huile de sardine contient 20% de ses acides gras sous forme d'EPA (*Alexander et al., 1995*).

De plus, l'huile de foie de poisson telle que l'huile de foie de morue a une plus haute teneur en vitamines A que l'huile extraite du poisson entier. L'augmentation de la teneur en vitamines A du régime peut avoir un effet antagoniste anti vitamine E dans les régimes pour poulets ou autres animaux (*MacGuire et al., 1997; Abawi and Sullivan, 1989; Tengerdy and Brown, 1977*). Les poules pondeuses montrent de la stéatose hépatique après six mois d'alimentation à base d'huile de poisson menhaden. Van Elswyk et al. (*1994*) supposent que la diète à base d'huile de poisson menhaden stimule l'activité lipidogène hépatique chez les poules pondeuses.

Les effets bénéfiques du poisson ont fait l'objet de beaucoup d'attention, cependant, les acides gras à longue chaîne EPA et DHA sont facilement peroxydés pour former des hydroxyperoxydes et les produits secondaires de dégradation que l'on pense être toxiques pour les cellules. Il est évident que les aldéhydes dérivés des lipides sont cytotoxiques et ceci est d'autant plus critique si l'agent cellulaire GSH de détoxification des aldéhydes est réduit (*Sugihara et al., 1994*). EPA et DHA sont plus facilement oxydés en dérivés plus toxiques que les acides linoléiques,  $\alpha$ -linoléique, en outre, EPA et DHA sont des facteurs de protection des maladies cardiovasculaires pour autant que l'activité antioxydative de protection contre le stress oxydatif soit suffisant pour minimiser les dégâts des peroxydases sur les tissus adipeux (*Song et al., 2000*).

L'oxydation des lipides alimentaires est de première importance aussi bien pour les consommateurs que les fabricants d'aliments. Si elle n'est pas contrôlée, l'oxydation peut produire, non seulement un rancissement à odeur spécifique (odeur typique de poisson), mais également produire des agents de vieillissement cellulaire et de maladies dégénératives tels cancers, maladies cardiovasculaires, cataractes, dépressions

immunitaires et dysfonctionnements cérébraux desquels on se protège par l'assimilation d'acides gras oméga-3 (*Okuyama et al., 1997*).

Le chia contient un certain nombre d'éléments antioxydants tels la myristine, la quercétine, le kaemperol et l'acide cafféique. Ces composants sont à la fois des antioxydants primaires et synergiques et contribuent en majeure partie à la puissante activité antioxydante du chia (*Castro-Martinez et al., 1986; Taga et al., 1984*). Le chia, source d'oméga-3 rend l'utilisation d'antioxydants artificiels telles les vitamines, superflue.

Les antioxydants vitaminiques semblent inhiber les effets protecteurs de certains éléments cardiovasculaires. Une recherche récente montre que la combinaison d'antioxydants vitaminiques tels les vitamines E et C et les  $\beta$ -carotènes inhibent la production de la lipoprotéine : le cholestérol de haute densité (HDL) tel qu'on l'observe avec la simvastatine (une molécule de protection cardiovasculaire) (*Brown et al., 2001*). De plus, la vitamine E stimule les processus oxydatifs lorsqu'elle est surdosée. Les doses minimales et maximales sont proches, rendant le dosage correct délicat lors de l'intégration aux aliments pour animaux (*Leeson et al., 1998*).

Un des avantages de la consommation d'acide alpha-linolénique d'origine végétale par rapport aux acides oméga-3 issus d'algues ou de poissons est l'absorption concomitante d'antioxydants absents dans le second cas (*Simopoulos, 1999*).

Une autre recommandation liée une augmentation de prise d'EPA comme source d'acides oméga3, sont les effets immunologiques néfastes potentiels liés à de hautes teneurs en EPA. Des teneurs élevées en EPA, et non en acides alpha-linoléniques, peut diminuer les effets des cellules dites « natural killers » (NK) du système lymphatique chez des sujets sains (*Thies et al., 2001*). Les cellules NK jouent un rôle défensif d'immuno-surveillance important dans les maladies virales et à l'encontre des cellules tumorales (*Lewis et al., 1992*).

Traditionnellement, les algues ne font pas partie des aliments habituels de l'homme ni des animaux (à l'exception des poissons). La nécessité d'utiliser le chlorure de sodium (NaCl) pour le développement artificiel et en tant que solvant pour l'extraction de l'huile (*Nitsan et al., 1999; Becker and Kyle, 1998*), sont des facteurs qui feront sans aucun doute l'objet de critiques du point de vue de l'environnement.

Vu la disponibilité du lin (en tant qu'huile industrielle) et son coût réduit, il y a eu différentes tentatives de l'utiliser comme source d'oméga3 dans l'alimentation animale; de nombreuses publications scientifiques ont démontré les effets négatifs des facteurs antinutritionnels sur les poules pondeuses, poulets de chair, animaux de laboratoires etc. (*Treviño et al., 2000; Toug et al., 1999; Novak and Scheideler, 1998; Bond et al., 1997; Ajuyah et al., 1993; Bell and Keith, 1993; Bhatti, 1993; Batterham et al., 1991; Lee et al., 1991; Bell, 1989; Homer and Schaible, 1980; Kung and Kummerow, 1950*). Donc, pour utiliser le lin dans les régimes pour volailles, les graines de lin doivent préalablement être détoxiquées. La méthode la plus efficace nécessitant l'utilisation de solvants et, dans tous les cas, la détoxification reste incomplète (*Mazza and Oomah, 1995; Madhusudhan et al., 1986*).

Une étude récente comparant le chia aux autres sources d'acides gras oméga-3 dans la même expérience, révèle l'intérêt d'utiliser le chia par rapport aux autres rations à base de lin ou d'huile de poissons dans la production d'œufs enrichis en oméga-3. De plus, une publication scientifique comparant les effets du lin et du chia comme source d'oméga-3 révèle les effets négatifs du lin sur la production d'œufs quand il est inclus dans un régime enrichi en chia pour poules pondeuses (*Ayerza and Coates, 2001*)

En regard de la teneur en acide alpha linoléique du chia par rapport au lin ([tableau 1](#)) et le degré d'incorporation d'acides oméga3 dans les œufs, le chia montre une efficacité de 230 % supérieure au lin (*Ayerza, 2002a*). Cette nette différence serait imputable aux différents composants antioxydants du lin et du chia et leur influence sur l'incorporation des acides gras. *Ajuyah et al. (1993)* ont observé que l'incorporation d'antioxydants dans la diète des poulets de chair donne une nette augmentation des acides gras oméga-3 dans le blanc de poulets, de plus, ils observent que l'apport d'antioxydants externes n'atténue pas la perte pondérale induite par les graines de lin.

L'efficacité meilleure du chia quant à la transformation des acides gras par rapport au lin peut être liée au processus de digestion des lipides. De nombreux facteurs peuvent influencer l'absorption intestinale et le dépôt cellulaire de la graisse ou des acides gras chez les non-ruminants. Ces facteurs incluent le rapport acides gras saturés/insaturés (*Chang and Huang, 1998*); ainsi que le rapport des oméga-6 : oméga-3 dans la ration (*Wander et al., 1997*). L'utilisation digestive des acides gras dépend de leur position sur la molécule glycérolique. La différence entre les positions de l'acide alpha-linolénique du chia et du lin peut expliquer la meilleure incorporation des acides oméga-3 du chia par rapport au lin (*Porsgaard, and Høy, 2000; Straarup and Høy, 2000; Innis and Dyer, 1997; Lessire et al., 1996*).

Aucun des facteurs toxiques du lin ni quelques autres n'ont été trouvés ni dans la graine de chia ni dans l'huile extraite (*Ayerza and Coates, 2002, 2001, 2000, 1999 and 1997; Lin et al., 1994; Weber et al., 1991; Ting et al., 1990, Bushway et al., 1984*). Le chia, avec les haricots et le maïs partageait l'essentiel de l'alimentation des civilisations précolombiennes en Amérique, incluant en cela les populations aztèques et mayas (*Sahagun, 1579*).

## **Le métabolisme des acides gras oméga-3 chez l'homme et les animaux**

Le mécanisme par lequel les acides gras oméga3 réduisent la mortalité dans le cas des maladies cardiovasculaires coronariennes (CHD) reste controversé. Des publications récentes révèlent des controverses quant au rôle des différents acides oméga-3 dans les organismes humains et animaux, ainsi que les taux optimaux pour un développement et une croissance normale et une réelle prévention des maladies CHD ou autres. L'acide alpha-linolénique ne peut être synthétisé « de novo » par l'organisme et c'est pourquoi on le qualifie « d'acide gras essentiel », alors que l'EPA et le DHA peuvent être formés par élongation à partir de l'acide alpha-linolénique.

Les humains, tout âge confondu incluant les prématurés et fœtus, transforment l'acide alpha-linolénique en DHA (*Brenna, 2002; Billeaud et al., 1997*). Ce processus a été décrit également dans d'autres espèces (*Ayerza and Coates, 2000*). L'efficacité de



cette conversion au sein d'une même espèce (en fonction de l'âge, nourriture etc.) et entre espèces est actuellement controversée (*Simopoulos, 2002*). L'essentiel des discussions a porté sur le peu de connaissances scientifiques disponibles sur la biochimie et les fonctions physiologiques des acides gras oméga-3 en général et de l'acide alpha-linolénique en particulier. Le fait de considérer l'acide alpha-linolénique comme simple précurseur des acides gras polyinsaturés à longue chaîne et le fait que les premières études épidémiologiques étaient menées dans les groupes gros consommateurs de poisson, ont conduit à sous-estimer l'acide alpha-linolénique (*Lauritzen et al., 2001*).

Des résultats récents d'études et de contrôles épidémiologiques sur l'acide gras alpha linoléique changent la conception quant aux sources d'oméga-3. L'observation selon laquelle les végétariens ne souffrent pas de régimes ne contenant aucun DHA, confirme ces hypothèses (*Kwok et al., 2000; Li et al., 1999*). Au même temps, Williard et al. (2001) observent que quand on administre du DHA présynthétisé, la synthèse de DHA dans les astrocytes est diminuée mais non supprimée même lors d'administration de DHA à très hautes doses. Ce résultat rejoint celui de Ezaki et al. (1999) (Japon) qui constate une augmentation du DHA sérique chez des volontaires âgés (67>91) après dix mois d'alimentation à haute concentration en acides alpha linoléique. Les auteurs furent surpris de l'incorporation importante d'oméga-3 à longue chaîne, issue du poisson, chez ces volontaires. Williard et al. (2001) concluent qu'une synthèse minimale de DHA persiste dans les astrocytes même en présence d'un excès de DHA; ce qui suppose que la synthèse de DHA à partir de l'acide alpha-linolénique est un processus essentiel de la fonction cérébrale.

Récemment, Fu et Sinclair (2000), suggèrent, suite à des expériences sur cobayes, que l'acide alpha-linolénique peut avoir une relation avec la fourrure sans doute par la sécrétion glandulaire sébacée qui joue un rôle de protection de la fourrure contre les agressions de l'eau, la lumière et autres agents. Les auteurs concluent que s'il existe une excrétion de cet acide gras via les sécrétions sébacées chez l'homme, cela peut expliquer pourquoi il y a peu d'accumulation de l'acide alpha-linolénique dans les tissus. De substantielles quantités d'acide alpha-linolénique dans la peau pourraient être une réserve potentielle importante d'oméga-3 pour l'organisme. Yli-Jama et al. (2001) ont déterminé une haute corrélation significative entre le pourcentage d'acide alpha-linolénique dans les tissus adipeux et le taux d'acides gras circulant, et aussi, entre la consommation et l'adipose tissulaire chez l'homme.

Tout comme les mammifères et l'espèce aviaire, le poisson ne forme pas des acides oméga-3 « de novo », ils nécessitent un apport nutritionnel externe. De plus, chaque espèce de poisson a des exigences spécifiques en matière d'acides gras. En général, et contrairement aux mammifères et oiseaux, la plupart des poissons marins nécessitent des acides gras hautement insaturés (EPA et/ou DHA), tandis que les poissons d'eau douce nécessitent des acides oméga-3 issus soit de l'acide alpha-linolénique ou du EPA/DHA ou une mixture des deux types (*Webster and Lim, 2002; Sargent et al., 1999*). Certaines espèces tels la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus sp.*), milkfish (*Chanos chanos*) le poisson chat (*Ictalurus punctatus*) et la carpe indienne (*Catla catla*, *Labeo rohita*, and *Cirrhinus mrigala*) peuvent élonguer et désaturer les acides gras oméga-3 issus de sous-produits alimentaires (*Hardy, 2002; Lim et al., 2002; Murthy, 2002; Robinson and Li, 2002*); Par contre d'autres poissons tel le yellow tail (*Seriola quinqueradiata*) ne peut utiliser l'acide alpha-linolénique en tant qu'acide gras essentiel et nécessite donc l'apport de DHA et EPA (*Masumoto, 2002*), ou parfois ils peuvent désaturer et élonguer de très



courtes chaînes comme pour le Red Drum (*Sciaenops ocellatus*) and Coregonids (*Coregonus* sp.) (*Gatlin, 2002; Dabrowski et al., 2002*).

Donc pour produire une teneur typiquement élevée en DHA et EPA des poissons marins en tant que source diététique d'acides gras oméga-3, une complémentation alimentaire en huile ou farine de poisson est nécessaire. Dans ces conditions, pour produire 2 kg de poisson vif, il faut 3 kg de poisson ou d'entrailles de poisson. Ceci pose donc une question de choix quant à la finalité de l'aquaculture comme source d'acides oméga-3 pour l'homme et les animaux (*Leaf, 2002*).

La commission Européenne a une législation interdisant le recyclage dans la chaîne alimentaire des sous-produits animaux incluant en cela les farines de poisson pour les ruminants en prévention des encéphalopathies bovines (BSE) (*Commission of the European Communities, 2000a*), et un amendement interdisant l'administration de tout dérivé de poissons aux animaux domestiques tenus, engraisés ou élevés en vue de la production d'aliments sauf les produits d'aquaculture (*Commission of the European Communities, 2000b*). De plus, depuis janvier 2002, l'UE interdit l'importation de farine de poisson du Chili et du Pérou, deux des plus gros producteurs de farines de poisson du monde dans le cadre des contrôles BSE (*Agroenlinea, 2002*).

Le but principal de la commercialisation des aliments enrichis en oméga3 n'est pas leur teneur élevée en oméga3, EPA ou DHA ou acide alpha linoléinique, mais ils sont de réelles sources d'acides gras pour la consommation humaine et animale. Dans le cas du chia et du lin, l'acide alpha-linoléinique de la graine est transmis à l'œuf de poule, la chair de poulet, le lait de la vache ou la viande de porc... et agit alors comme substrat pour la transformation enzymatique par les enzymes désaturase et élongase en EPA et DHA. Même si l'on connaît déjà d'avant le processus d'élongation de l'acide alpha-linoléinique en EPA et DHA, la relation mathématique entre les oméga-6 et oméga-3 (acides gras à 18-carbonnes), et la concentration respective en leurs métabolites à 20 carbonnes, n'a été que récemment étudiée (*Muggli and Clough, 1994*).

En 1995, un projet de recherche soutenu par le Australian National Health and Medical Research Council et publié aux USA, montre qu'une teneur accrue d'acide alpha linoléinique dans le régime augmente la teneur des tissus en EPA de manière appréciable. Une relation linéaire était établie entre l'incorporation d'acide alpha-linoléinique végétal et l'EPA plasmatique et dans les phospholipides cellulaires (*Mantzioris et al., 1995*). Une autre publication de recherche menée en 1997 par l'American Society for Clinical Nutrition (USA) compare les effets de la complémentation en acide alpha-linoléinique d'origine végétale et les acides EPA et DHA d'origine marine sur les facteurs hémostatiques humains ; sans y observer de différences significatives quant aux effets (*Freese and Mutanen, 1997*).

Une étude pilote conduite par Beltsville Human Nutrition Research Center, Maryland, USA, démontre que l'acide alpha-linoléinique est un modulateur effectif de la biosynthèse du thomboxane et de la prostacycline. C'est pourquoi on peut supposer que les effets médiateurs écosanoïdes de l'acide alpha-linoléinique sont similaires à ceux obtenus par les lipides marins (*Ferreti and Flanagan, 1996*).

Un nombre important d'études épidémiologiques soutiennent que la consommation d'acide alpha-linolénique comme source d'oméga-3 est un facteur de protection des maladies cardiovasculaires et coronariennes (*Bemelmans et al., 2002; Hiroyasu et al., 2001; Mantzioris et al., 2000; Li et al., 1999; Hu et al., 1999; Loria and Padgett, 1997; Sing et al., 1997; Lorgeril et al., 1994; Indu and Ghafoorunissa, 1992; Renaud et al., 1986a, 1986b*). Dans le même ordre d'idée, une étude comparative entre un échantillon de volontaires recevant l'acide alpha-linolénique à partir du chia et un groupe placebo, a démontré une différence des taux sérologiques du HDL et des triglycérides en faveur du groupe « chia » (*Coates and Ayerza, 2002*). La formule du supplément chia administré dans cette étude figure en annexe 1.

D'autre part, de hautes teneurs en DHA inhibent l'action enzymatique  $\Delta_5$  et  $\Delta_6$  au niveau des acides gras essentiels linoléique (oméga-6) et alpha-linolénique (oméga-3). Bien que cette action n'affecte pas le nombre total des acides gras oméga-3 à longue chaîne, cela peut être source d'un déséquilibre de la balance oméga-6 : oméga-3 considéré comme vital au bon fonctionnement de l'organisme humain (*Simopoulos and Robinson, 1998; British Nutrition Foundation, 1992; Simopoulos, 1989*).

Les œufs de poules nourries au moyen d'une diète enrichie par le chia montre une nette augmentation de teneur, non seulement en acide alpha-linolénique mais également en DHA. Comme chez l'homme, la poule peut désaturer et élonguer l'acide alpha-linolénique dans le foie et donc produire du DHA dans les œufs alors que le chia n'en contient pas. ([tableau 1](#)). Les œufs de poules nourries avec un régime à base de 7 et 14 % de chia ont un rapport alfa-linolenic:DHA respectif de 1.8 et 3.1 (*Ayerza and Coates, 2000*). Les poules nourries au chia produisent des œufs enrichis en oméga-3 avec un rapport, acide alpha-linolénique / et son métabolite DHA, égal à celui trouvé dans le lait maternel (de la femme).

Les différentes organisations impliquées dans la prévention et la santé humaine font des recommandations quant au taux d'acide alpha-linolénique et de EPA et DHA nécessaire à la consommation tout en précisant un minimum pour le premier, précurseur des deux autres formes (*Food and Agricultural Organization, 1994; British Nutrition Foundation, 1992; Canada [dept of] Health and Welfare, 1990*).

Il y a aussi des différences entre les recommandations des nutritionnistes en ce qui concerne les différents oméga-3, particulièrement entre l'acide alpha-linolénique et le DHA ; ils sont généralement d'accord que le taux d'alpha-linolénique doit être significativement plus élevé que le DHA, mais dans les limites des concentrations que ces deux acides gras ont dans le lait maternel humain. Le lait maternel a une ration DHA/acide alpha-linolénique de 1 :2.2 ; 1 :2.2 ; 1 :2.7 ; 1 :3.3 ; 1 :4 ; et 1 :8 chez la femme d'Allemagne, France, Cuba, Nigeria, Japon, Chine et Népal respectivement (*Jensen and Lammi-Keefe, 1998; Yonekubo et al., 1998; Vander Jagt et al., 2000; Glew et al., 2001; Krasevec et al., 2002*). Aux USA, le ratio DHA/ac.alpha-linolénique chez les femmes du Maryland, Connecticut, Oklahoma est de 1 :4 ; 1 :2.1 ; et 1/5 (*Bitman et al., 1981 and Henderson et al., 1992, cited by Nettleton, 1995; Jensen et al., 2000*). Dans le lait humain, on a observé des différences individuelles de la teneur en acides gras, DHA par exemple variait de 0.04 à 0.25% de la teneur totale en acides gras du lait (*Nettleton, 1994*). Néanmoins, les taux d'acides alpha-linoléniques était toujours plus élevé que le DHA parlant en termes d'oméga-3.

Les œufs de poules nourries au chia ont la même relation quantitative : acide alpha linoléique/DHA, que les taux du lait de femme d'Allemagne, France, Cuba, Nigéria, Japon et Chine. De même le ratio DHA : acide alpha-linolénique des œufs de poules nourries avec un régime à 7% de chia est identique à celui des poules en libre parcours consommant de la verdure vivace, des fruits secs ou frais, des insectes et parfois des vers (*Simopoulos and Salem, 1992*).

Finalement le but d'éviter l'augmentation des risques de maladies cardiovasculaires en évitant d'incorporer les œufs dans le régime est contourné par l'administration d'acide alpha-linolénique aux poules avec la production d'œufs enrichis à action préventive sur les MCV. Des études comparatives entre la consommation d'œufs ordinaires et d'œufs oméga-3 enrichis par l'incorporation d'acide alpha-linolénique au régime des poules, ont prouvé la capacité de ces derniers de diminuer les risques de MCV par la réduction des taux sériques de cholestérol et des triglycérides; les œufs ordinaires augmentent ces paramètres sanguins et donc les risques de MCV (*Ferrier et al., 1995; Sim and Jiang, 1994; Ferrier et al., 1992; Oh et al., 1991*). Une étude récente révèle que l'acide alpha-linolénique d'œufs enrichis, diminue davantage et de manière significative l'agrégation plaquettaire que les œufs DHA enrichis et suggère donc un mécanisme diététique « alpha-linoléniquement induit » de réduction d'agrégation plaquettaire indépendant (*Van Elswyk et al., 2000*).

La forte réduction de teneur en acides gras saturés en général, et plus spécialement l'acide palmitique (>30.6%) observée dans les œufs et la chair de poulets nourris avec un régime « chia – enrichi », indique un avantage supplémentaire sur la santé pour ces produits oméga-3. Des recherches récentes suggèrent que la teneur réduite en acides gras saturés des produits dérivés de poulets « enrichis » est dépendante de leur alimentation et donne au chia un net avantage en comparaison du lin, des algues et des farines de poisson (*Ayerza et al., 2002; Ayerza and Coates, 2001 and 2000*).

## **Les caractéristiques organoleptiques**

Le Health Focus Survey est un service d'enquête nationale d'expertise des consommateurs américains qui se tient une fois tous les deux ans depuis 1990. Le sondage de 2000 révèle que la plupart des consommateurs pensent, qu'au-delà de l'alimentation classique, l'on peut tirer bénéfice d'une nutrition fonctionnelle valorisante pour la santé. Cependant le premier obstacle dans le choix de produits sains est le goût. Les consommateurs actuels veulent plus que jamais, un bon compromis entre le goût et les effets bénéfiques sur la santé (*Gilbert, 2000*).

Les aliments à base de lin et de lipides marins, ou les produits issus d'animaux nourris avec l'une ou plusieurs de ces matières premières sources d'oméga-3, dégagent une odeur typique généralement qualifiée de poissonneuse. Un certain nombre d'études scientifiques de produits issus de poulets, poules, porcs, ruminants etc. nourris à base de graines ou huile de lin, ou d'extraits algues marines sentent et goûtent le « poisson » (*Ayerza, 2002; Ayerza and Coates, 2001; Wood et al., 1999; Warnants et al., 1998; Romans et al., 1995*).

Les œufs pondus par des poules nourries aux graines de lin ont une odeur déplaisante caractéristique similaire aux poules nourries à l'huile de poisson (*Van Elswyk et al., 1995; Caston et al., 1994; Jiang et al., 1994; Van Elswyk et al., 1992; Adam et al., 1989*). Différents essais ont montré une relation directe entre cette odeur émise et le taux de graines de lin ou de sous-produits de poissons dans le régime. L'altération de goût et d'odeur sont perceptibles à partir de taux respectifs de 5% pour la graine de lin et 1.5% pour les sous-produits de poisson (*Gonzalez-Esquerra and Leeson, 2000; Lopez-Ferrer et al., 1999; Hargis and Van Elswyk, 1993; Ratanayake et al., 1989; Miller and Robisch, 1969; Holdas and May, 1966; Fry et al., 1965; Hardin et al., 1964*). Aucune altération significative ( $P>0.05$ ) de saveur n'a été observée dans la viande (blanc et cuisse) des poulets avec du chia à haute concentration par rapport au groupe contrôle (*Ayerza et al., 2002*).

La différence dans les caractéristiques organoleptiques des œufs produits avec des régimes à base de lin et de chia, peut être attribué à l'action antioxydante puissante du chia et inexistante pour le lin (*Shukla et al., 1996; International FloraTechnologies, 1990; Castro-Martinez et al., 1986; Taga et al., 1984*) et / ou l'interaction d'autres composants du lin sur la physiologie des volailles (*Marshall et al., 1994b*). Dans le cas des farines de poisson, l'odeur caractéristique est liée à l'instabilité des DHA et EPA et l'absence d'antioxydants capables d'empêcher ce processus de dégradation (*Shukla and Perkins, 1993*).

Une publication aux USA révèle la réticence des consommateurs à consommer des produits à base de poulet goûtant ou dégageant une odeur de poisson (*Marshall et al., 1993a*). L'absence de caractéristiques organoleptiques typiques des œufs de poules nourries à base de chia, et de viande (blanc et cuisse) de poulets nourris avec du chia, représente un avantage considérable pour cette graine par rapport au lin et farines de poissons (*Ayerza et al., 2002; Ayerza and Coates, 2002, 2001, and 1998*).

Dans le cas des algues marines, les informations commerciales disponibles affirment l'absence d'odeurs et de goût des aliments ainsi produits. Cependant, il n'est actuellement pas possible de trouver une publication scientifique confirmant ces affirmations. Une référence indirecte à propos de ces altérations d'odeurs peut se trouver dans une publication non scientifique de Abril et al. (2000); il y affirme qu'une concentration d'algues jusqu'à 1% du régime n'altère pas, de manière significative, l'acceptabilité des œufs quant à l'arôme et au goût. Bien qu'il n'y ait pas d'informations scientifiques pour ou contre, la haute teneur en DHA et son instabilité oxydative, doivent nécessairement créer des conditions d'instabilité organoleptique avec des effets indésirables sur les œufs ou aliments produits à base de haute concentration d'algues.

Certaines algues révèlent une activité antioxydative liée à la teneur en polyphénols. C'est pourquoi on a suggéré que les polyphénols pourraient prévenir les dégâts oxydatifs de certaines membranes biologiques. En général, les algues commerciales montrent très peu de capacité antioxydative. L'explication pourrait en être la dessiccation (50<sup>o</sup> et 48 h) pour la commercialisation. Jimenez-Escrig et al. (2001) ont rapporté récemment que le séchage et stockage des algues en appauvrissent l'activité antioxydante. La grande différence entre les algues et le chia stockés peut être associé à la qualité et quantité d'antioxydants des produits bruts.

En résumé, différentes études prouvent à l'évidence qu'inclure plus de 5% de graines de lin, 1.5% d'extrait ou huile de poisson, ou 1% d'algue dans les régimes pour poules altère de manière négative le produit final en termes d'arôme et de goût. Par contre, il est possible d'incorporer plus de 30% de chia dans le régime aviaire sans rencontrer de préférence négative des consommateurs en comparaison des produits communs. Cela signifie un enrichissement potentiel maximum d'acides gras oméga-3 de 175mg/œuf pour les algues, 207 mg/œuf pour l'huile de poisson, 214 mg/œuf pour le lin, et 986 mg/œuf pour le chia sans altération organoleptique caractéristique (*Ayamond and Van Elswyk, 1995; Van Elswyk et al., 1995; Abril et al., 2000; Ayerza and Coates, 2002, and 2000*).

## Conclusions

Au stade des connaissances actuelles, aucun des taux d'oméga-3 obtenus dans des produits à base de chia ne peut être atteint par des régimes à base de lin, d'algues ou d'huile de poisson sans altérer sérieusement les performances productives des animaux ni altérer les caractéristiques intrinsèques du produit final. Dans tous les cas, un facteur limitatif aux hautes concentrations des sources d'oméga-3, à l'exception du chia, est imposé : soit par l'arôme, soit par le goût transmis au produit final, ou, comme dans le cas du lin, l'altération de la productivité avec une diminution des paramètres de productivité ou encore par ses effets néfastes sur la santé humaine.

Le [tableau 5](#) compare de manière synoptique les caractéristiques de la graine de chia présentée dans cette publication, avec les graines de lin, les algues et l'huile de poisson en tant qu'aliments pour animaux ou humains.

De nombreuses publications scientifiques décrivent les avantages nutritionnels du chia par rapport aux autres sources d'oméga-3, et le nombre de produits incluant le chia va rapidement croissant de par le monde, pour ne citer que le pain, le barres de céréales, les aliments pour chevaux, chiens, chats, porcs, les aliments pour volailles pour la production d'œufs et de poulets de chair, les aliments pour bovins et la production de lait enrichi, ainsi que les compléments alimentaires diététiques pour humains (exemples cités dans le [tableau 6](#)). Les sciences modernes expliquent pourquoi les anciennes civilisations méso-américaines considéraient le chia comme un aliment de base, et, après 500 ans de « mise à l'ombre » forcée par l'histoire, la principale culture produite par les aztèques offre au monde l'occasion de retourner aux sources et d'améliorer la nutrition de l'homme en offrant cette source naturelle d'acides gras oméga-3 et d'antioxydants.

## Références

- Abawi, F.G., and W. Sullivan. 1989.* Interactions of vitamins A, D<sub>3</sub>, E, and K in the diet of broiler chicks. *Poultry Science*, 68:1490-1498.
- Abril, J.R., W.R. Barclay, and P.G. Abril. 2000.* Safe use of microalgae (DHA GOLD) in laying hen feed for the production of DHA-enriched eggs. Pages 197-202 in *Egg Nutrition and Technology* edited by J.S. Sim, S. Nakai, and W. Guenter. CAB International 2000, Wallingford, Oxon, U.K.
- Abril, R. and W. Barclay, 1998.* Production of docosahexaenoic acid-enriched poultry eggs and meat using an algae-based feed ingredient. Pages 77-88 in A.P. Simopoulos ed. *The return of ω3 fatty acids into the food supply*. Karger AG., Basel, Switzerland.

- Ackman, R.G.* 1992. Fatty acids in fish and shellfish. Pages 169-184 in *Fatty acids in food and their health implications*, edited by C.K. Chow. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- Agroenlinea.* 2002. Mercado mundial de harina de pescado. Retrieved February 17, 2002 from the World Wide Web, <http://www.agroenlinea.com/agro/newsletter/150102.htm>
- Ajuyah, A.O., R.T. Hardin, and J.S. Sim.* 1993. Effect of dietary full fat flax seed and without antioxidant on the fatty acid composition of major lipid classes of chicken meats. *Poultry Science*, 72:125-136.
- Alasalvar, C., K.D.A. Taylor, E. Zubcov, F. Shahidi, and M.Alexis.* 2002. Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): total lipid content, fatty acids and trace mineral composition. *Food Chemistry* (In Press).
- Alexander, D.W., S.O. McGuire, N.A. Cassity, and K.L. Fritsche.* 1995. Fish oils lower rat plasma and hepatic, but not immune cell  $\alpha$ -tocopherol concentration. *Journal of Nutrition*, 125:2640-2649.
- American Heart Association.* 1999. Homocysteine, folic acid and cardiovascular disease. Retrieved November 11, 1999 from the World Wide Web, [http://www.americanheart.org/Heart\\_and\\_Stroke\\_A\\_Z\\_Guide/homocys.html](http://www.americanheart.org/Heart_and_Stroke_A_Z_Guide/homocys.html)
- American Hearth Association.* 1988. Dietary guidelines for healthy American Adults: A statement for physicians and health professionals. *Arteriosclerosis*, 8:221A.
- Ayamond, W.M. and M.E. Van Elswyk.* 1995. Yolk thiobarbituric acid reactive substances and n-3 fatty acids in response to whole and ground flaxseed. *Poultry Science*, 74:1388-1394.
- Ayerza, R. (h).* 2002a. Chia as a New Source of Omega-3 Fatty Acids: Advantage Over Other Raw Materials to Produce Omega-3 Enriched Eggs. Proceedings of the Symposium on Omega-3 Fatty Acids, Evolution and Human Health, Washington D.C., USA, September 23-24, 2002, (In press), Belovo S.A., Bastogne, Belgium.
- Ayerza, R. (h).* 2002b. Milk enriched in omega-3 fatty acids comercialized in Ar5gentina and Brazil. Southwest Center for Natural Products Research and Commercialization, Office of Arid Lands Studies, The University of Arizona, USA (Unpublished), 6p.
- Ayerza, R. (h).* 1996. Fatty acid composition, protein and oil content of chia (*Salvia hispanica L.*) grown in Columbia and Argentina. Third European Symposium on Industrial Crops and Products, Reims, France.
- Ayerza, R. (h).* 1995. Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica L.*) from Five Northwestern Locations in Argentina. *Journal of The American Oil Chemists' Society*, 72:1079-1081.
- Ayerza, R. (h) and W. Coates.* 2002. Dietary levels of chia: influence on hen weight, egg production, and egg sensory quality. *British Poultry Science*, Basingstoke, Hants, U.K. (In Press).
- Ayerza, R. (h).and W. Coates.* 2001. The omega-3 enriched eggs: the influence of dietary linolenic fatty acid source combination on egg production and composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 81:355-362.
- Ayerza, R. (h) and W. Coates.* 2000. Dietary levels of chia:influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition, for two strains of hens. *Poultry Science*, 78:724-739.
- Ayerza, R. (h), and W. Coates.* 1999. An omega-3 fatty acid enriched chia diet: its influence on egg fatty acid composition, cholesterol and oil content. *Canadian Journal of Animal Science*,79:53-58..
- Ayerza, R. (h), and W. Coates.* 1997. An omega-3 fatty acid enriched chia diet: its influence on egg fatty acid composition, cholesterol and oil content. Page 51 in *Abstracts of An International Conference of the Association for the Advancement of Industrial Crops*, Saltillo, Mexico, September 14-18, 1997.
- Batterham, E.S., L.M. Andersen, D.R. Baigent, and A.G. Green.* 1991. Evaluation of meals from linola low-linolenic acid linseed and conventional linseed as protein sources for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 35.(3-4):181-190.
- Becker, C.C. and D.J. Kyle.* 1998. Developing functional foods containing algal docosaehaenoic acid. *Food Technology*, 52(7):68-71.
- Bemelmans, W.J.E., J. Broer, E.J.M. Feskens, A.J. Smit, F.A.J. Muskiet, J.D. Lefrandt, V.J.J. Bom, J.F. May, and B. Meyboom-de Jong.* 2002. Efgfect of an increased intake of  $\alpha$ -linolenic acid and group nutritional education on cardiovascular risk factors: the Mediterranean alpha-linolenic enriched Groningen dietary intervention (MARGARIN) study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75:221-227.
- Bell, J.M.* 1989. Nutritional characteristics and protein uses of oilseed meals. Pages 192-207 in *Oil crops of the world*, edited by G. Robbelen, R.K. Downey, and A. Ashri. McGraw-Hill Publishing Co., New York, New York, USA .
- Bell, J.M. and M.O. Keith.* 1993. Nutritional evaluation of linseed meals from flax with yellow or brown hulls, using mice and pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 43(1-2):1-18.
- Bhatty, R.S.* 1993. Further compositional analyses of flax: mucilage, trypsin inhibitors and hydrocyanic acid. *Journal of American Oil Chemists Society*, 70(9):899-904.

- Billeaud, C., D. Bouglé, P. Sarda, N. Combe, S. Mazette, F. Babin, B. Entressangles, B. Descomps, A. Nouvelot, and F. Mendy. 1997. Effects of preterm infant formula supplementation with alpha-linolenic acid with a linoleate/alpha-linolenate ratio of 6:1: a multicentric study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51:520-526.
- Bond, J.M., R.J. Julian, and E.J. Squires. 1997. Effect of dietary flaxseed on broiler growth, erythrocyte deformability and fatty acid composition of erythrocyte membranes. *Canadian Journal of Animal Science*, 77:279-286.
- Brenna, J.T. 2002. Efficiency of conversion of  $\alpha$ -linolenic acid to long chain n-3 fatty acids in man. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 5:127-132.
- British Nutrition Foundation. 1992. Unsaturated fatty acids: nutritional and physiological significance. British Nutrition Foundation's Task Force, London, England.
- Brown, B.G., X.Q. Zhao, A. Chait, L.D. Fisher, M.C. Cheung, J.S. Morse, A.A. Dowdy, E.K. Marino, E.L. Bolson, P. Alaupovic, J. Frohlich, and J.J. Albers. 2001. Simvastatin and niacin, antioxidant vitamins, or the combination for the prevention of coronary disease. *The New England Journal of Medicine*, 345(22):1583-1592.
- Bonanome, A. and S.M. Grundy. 1988. Effect of dietary stearic acid on plasma cholesterol and lipoprotein levels. *New England Journal of Medicine*, 318:1244-1248.
- Boushey, C.J., S. Beresford, G. Omenn, and A. Motulsky. 1995. A quantitative assessment of plasma homocysteine as a risk factor for vascular disease. Probable benefits of increasing folate intakes. *Journal of American Medical Association*, 274:1049-1057.
- Butler, G.W., R.W. Bailey, and L.D. Kennedy. 1965. Studies on the glucosidase linamarase. *Phytochemistry*, 4(3):369-381.
- Canada [dept of] Health and Welfare. 1990. Nutrition recommendation. Canadian Government Publishing Center, Ottawa, Canada.
- Canadian Food Inspection Agency. 1998. Decision document 98-24: determination of the safety of the Crop Development Centres "CDC Triffid", a flax (*Linum usitatissimum* L.) variety tolerant to soil residues of triasulfuron and metsulfuron-methyl. Plant Health and Production Division, Plant Biosafety Office. Download October 23, 2001 from <http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/pbo/dd9824c.shtml>
- Castro-Martinez, R., D.E. Pratt, and E.E. Miller. 1986. Natural antioxidants of chia seeds. Pages 392-396 in *Proceedings of The World Conference on Emerging Technologies in the Fats and Oils Industry*, edited and published by American Oil Chemists Society, Champaign, Illinois, USA.
- Chang, N.W. and P.C. Huang. 1998. Effects of the ratio of polyunsaturated and monounsaturated fatty acid to saturated fatty acid on rat plasma and liver lipid concentrations. *Lipids*, 33(5):481-487.
- Chipello, C.J. 1998. Fishing industry fades as does a way of life in Newfoundland ports. *The Wall Street Journal*, 131(97):1.
- Cho, S.Y., K. Mayashita, T. Miyazawa, K. Fujimoto, T. Kaneda. 1987. Autoxidation of ethyl eicosapentaenoate and docosahexaenoate. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 64:876-879.
- Coates, W. and R. Ayerza (h). 1998. Commercial production of chia in Northwestern Argentina. *Journal of American Chemists' Society*, 75(10):1417-1420.
- Coates, W. and R. Ayerza (h). 1996. Production potential of chia in Northwestern Argentina. *Industrial Crops and Products*, 5:229-233.
- Commission of the European Communities. 2000a. Council decision of 4 December concerning certain protection measures with regard to transmissible spongiform encephalopathies and the feeding of animal protein. *Official Journal of the European Communities*, L 306, 07/12/2000, p.0032.
- Commission of the European Communities. 2000b. Proposal for a Council Decision concerning certain protection measures with regard to transmissible spongiform encephalopathies and the feeding of animal protein. Document 500PC0820, Brussels, Belgium.
- Dabrowski, K., S. Czesny, and M. Matusiewicz. 2002. Coregonids. Pages 230-244 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Dewailly, E., S. Bruneau, G. Lebel, P. Levallois, and J.P. Weber. 2001. Exposure of the Inuits population of Nunavik (Arctic, Québec) to lead and mercury. *Archives of Environmental Health*, 56(4):350-357.
- Ezaki, O., M. Takahashi, and T. Shigematsu. 1999. Long-term effects of dietary alpha-linolenic acid from perilla oil on serum fatty acids composition and on the risk factors of coronary heart disease in Japanese elderly subjects.. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 45(6):759-772.
- Ferretti, A., and V.P. Flanagan. 1996. Anthitromboxane activity of dietary alpha-linolenic acid: a pilot study. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 54(6), 451-455.
- Ferrier, L.K., L. Caston, S. Leeson, J. Squires, B.J. Weaver, and B.J. Holub. 1995.  $\alpha$ -linolenic acid and



docosahexaenoic acid-enriched eggs from hens fed flaxseed: influence on blood lipids and platelet phospholipid fatty acids in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62:81-86.

*Ferrier, L.K., L. Caston, S. Leeson, E.J. Squires, B. Celi, L. Thomas, and B.J. Holub. 1992.* Changes in serum lipids and platelet fatty acid composition following consumption of eggs enriched in alpha-linolenic acid (LnA). *Food Research International*, 25:263-268.

*Food and Agricultural Organization. 1994.* Fats and oils in human nutrition: report of a joint expert consultation. Food and Nutrition Paper N:57. FAO, Rome, Italy.

*Food and Drug Administration. 2001.* FDA announces advisory on methyl mercury in fish. Food and Drug Administration Talk Paper TO1-04.

*Food and Drug Administration. 1999.* Fish-derived oils proposed as margarine ingredients. Electronic page ([www.fda.gov](http://www.fda.gov)), Washington, D.C., USA..

*Food Safety Authority of Ireland. 2002.* Summary of investigation of dioxins, furans and PCBs in farmed salmon, wild salmon, farmed trout and fish oil capsules. Retrieved March 21, 2002 from the World Wide Web, [http://www.fsai.ie/pressreleases\\_index.htm](http://www.fsai.ie/pressreleases_index.htm)

*Fry, J.L., P. Van Wallegghem, P.W. Waldroup, and R.H. Harms. 1965.* Fish meal studies: effects of levels and sources of fishy flavor in broiler meat. *Poultry Science*, 44:1016-1019.

*Freese, R., and M. Mutanen. 1997.*  $\alpha$ -Linolenic acid and marine long-chain n-3 fatty acids differ only slightly in their effects on hemostatic factors in healthy subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66:591-598.

*Fu, Z. and A.J. Sinclair. 2000.* Novel pathway of metabolism of  $\alpha$ -linolenic acid in the guinea pig. *Pediatric Research*, 47(3): 414-417.

*Gatlin, D.M. 2002.* Red drum, *Sciaenops ocellatus*. Pages 147-158 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.

*Gilbert, L.C. 2000.* The functional food trend: What's next and what Americans think about eggs. *Journal of the American College of Nutrition*, (19)5: 507S-512S.

*Glew, R.H., Y.S. Huang, T.A. Vander Jagt, L.T. Chuang, S.K. Bhatti, M.A. Magnussen, and D.J. Vander Jagt. 2001.* Fatty acid composition of the milk lipids of Nepalese women: correlation between fatty acid composition of serum phospholipids and melting point. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 65(3):147-156.

*Gonzalez-Esquerra, R. and S. Leeson. 2000.* Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *British Poultry Science*, 41(4):481-488.

*Groundy, S.M. 1997.* What is the desirable ratio of saturated, polyunsaturated, and monounsaturated fatty acids in the diet?. Pages 988-990 in R.S. Rivlin ed. *Fats and oil consumption in health and disease. Proceedings of a Symposium held at The Rockefeller University, New York, April 24-25, 1995.* The *American Journal of Clinical Nutrition*, 66(4s).

*Hansen, J.C. 2000.* Environmental contaminants and human health in the Arctic. *Toxicology Letters*, 112/113:119-125.

*Hansen, T.K., C. Bindsley-Jensen, P.S. Skov, and L.K. Poulsen. 1997.* Codfish allergy in adults: IgE cross-reactivity among fish species. *Annals of Allergy, Ashma and Immunology*, 78:187-194.

*Hardin, J.O., J.L. Milligan, and V.D. Sidwell. 1964.* The influence of solvent extracted fish meal and stabilized fish oil in broiler rations on performance and on the flavor of broiler meat. *Poultry Science*, 43:858:860.

*Hardy, R.W. 2002.* Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Pages 184-202 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.

*Hargis, P.S., and M.E. Van Elswyk. 1993.* Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the health conscious consumer. *Worlds Poultry Science Journal*, 70:874- 883.

*Hebling A., M.L. McCants, J.J. Musmand, H.J. Schwartz, and S.B. Lehrer. 1996.* Immunopathogenesis of fish allergy: identification of fish-allergic adults by skin test and radioallergosorbent test. *Annals of Allergy, Ashma and Immunology*, 77:48-54.

*Helm, P.A., T.F. Bidleman, G.A. Stern, and K. Koczanski. 2002.* Polychlorinated naphthalenes and coplanar polychlorinated biphenyls in beluga whale (*Delphinapterus leucas*) and ringed seal (*Phoca hispida*) from the eastern Canadian Arctic. *Environmental Pollution*, 119:60-78.

*Health Canada. 1999.* Novel food information - Food biotechnology: sulfonylurea tolerant flax, CDC Triffied - Health Protection Branch, FP 967. FD/OFB-098-047-A, Ottawa, Canada, 7p.

- Hernandez Gomez, J.A. 1994. Chia (Salvia hispanica): antecedentes y perspectivas en Mexico. Pages 173-180 in J.A. Cuevas Sanchez, E. Estrada Lugo, and E. Cedillo Portugal eds. I Simposio Internacional sobre Etnobotanica en Mesoamerica, Chapingo, Mexico.*
- Herzlich, B.C., E. Lichstein, N. Schulhoff, M. Weinstock, M. Pagala, K. Ravindran, T. Namba, F. Nieto, S. Stabler, R. Allen, and M. Malinow. 1996. Relationship among homocyst(e)ine, vitamin B-12 and cardiac disease in the elderly: association between vitamin B-12 deficiency and decreased left ventricular ejection fraction. Journal of Nutrition, 126:1249S-1253S.*
- Holdas, A. and K.N. May, 1966. Fish oil and fishy flavor of eggs and carcasses of hens. Poultry Science, 45:1405-1407.*
- Homer, P. and P.J. Schaible. 1980. Poultry: feeds and nutrition. AVI Publishing Co., Inc., Westport, USA.*
- Hu, F.B., M.J. Stampfer, J.E. Manson, E.B. Rimm, A. Wolk, G.A. Colditz, C.H. Hennekens, and W.C. Willet. 1999. Dietary intake of alpha-linolenic acid and risk of fatal ischemic heart disease among women. American Journal of Clinical Nutrition, 69:890-897.*
- Hunter, B.J. and D.C.K. Roberts. 2000. Potential impact of the fat composition of farmed fish on human health. Nutrition Research, 20():1047-1058.*
- Indu, M. and M. Ghafourunissa, 1992. N-3 fatty acids in Indian diets - comparison of the effects of precursor (Alpha-linolenic acid) vs. long chain n-3 polyunsaturated fatty acids. Nutrition Research, 12:569-582.*
- Innis, S.M., and R. Dyer. 1997. Dietary triacylglycerols with palmitic acid (16:0) in the 2-position increase 16:0 in the 2-position of plasma and chylomicron triacylglycerols, but reduce phospholipid arachidonic and docosahexaenoic acids, and alter cholesteryl ester metabolism in formula-fed piglets. Journal of Nutrition, 127:1311-1319.*
- International Flora Technologies, Inc. 1990. Oil of Chia. Apache Junction, USA.*
- James, J.M., R.M. Helm, A.W. Burks, and S.B. Leherer. 1997. Comparison of pediatric and adult IgE antibody binding to fish proteins. Annals of Allergy, Asthma and Immunology, 79:131-137.*
- Jensen, R.G. and C.L. Lammi-Keefe. 1998. Current status of research on the composition of bovine and human milk lipids. Pages 168-191 in Lipids in Infant Nutrition. edited by Y.S. Huang and A.J. Sinclair. American Oil Chemists Society Press, Champaign, Illinois, USA..*
- Jimenez-Escrig, A., I. Jimenez-Jimenez, R. Pulido, and F. Saura-Calixto. 2001. Antioxidant activity of fresh and processed edible seaweeds. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81:530-534.*
- Katan, M., P. Zock and R. Mensink, 1995. Dietary oils, serum lipoproteins, and coronary heart disease. American Journal of Clinical Nutrition, 61 (suppl):1368-1373.*
- Koehler, H.H., and G.E. Barse. 1975. Egg flavor quality as affected by fish meals or fish oils in laying rations. Poultry Science, 54:881-889.*
- Krasevec, J.M., P.J. Jones, A. Cabrera-Hernandez, D.L. Mayer, and W.E. Connor. 2002. Maternal and infant essential fatty acids status in Havana, Cuba. American Journal Of Clinical Nutrition, 76:834-844.*
- Kung, T.K. and F.A. Kummerow. 1950. The deposition of linolenic acid in chickens fed linseed oil. Poultry Science, 29:846-851.*
- Kwok, T., J. Woo, S. Ho, and A. Sham. 2000. Vegetarianism and ischemic heart disease in older Chinese women. Journal of the American College of Nutrition, 19(5):622-627.*
- Leaf, A. 2002. On the reanalysis of the GISS-prevenzione. Circulation, 105(16):1874-1875.*
- Lauritzen, L., H.S. Hansen, M.H. Jorgensen, and K.F. Michaelson. 2001. The essentiality of long chain n-3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. Progress in Lipid Research, 40:1-94.*
- Le Conseil d'Etat. 1973. Interdiction de l'huile de lin. Journal Officiel, 1523-1526.*
- Lee, K.H., J.M. Olomu, and J.S. Sim. 1991. Live performance, carcass yield, protein, and energy retention of broiler chickens fed canola and flax full-fat seeds and the restored mixtures of meal and oil. Canadian Journal of Animal Science, 71:897-903.*
- Lewis, C.E. and J.O. McGee. 1992. Natural killer cells in tumor biology. Pages 175-203, in The natural killer cells edited by Lewis, C.E. and J.O. McGee. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.*
- Lessire, M., Doreau, M., and Aumaitre, A. 1996. Digestive and metabolic utilization of fats in domestic animals. Pages 703-713 in Oils and fats manual, edited by A. Karleskind. Lavoisier Publishing, Paris, France.*
- Leeson, S., L. Caston and T. MacLaurin. 1998. Organoleptic evaluation of eggs produced by laying hens fed diets containing graded levels of flaxseed and vitamin E. Poultry Science, 77:1436-1440.*
- Li, D., A. Sinclair, A. Wilson, S. Nakkote, F. Kelly, L. Abedin, N. Mann, and A. Turner. 1999. Effect of dietary alpha-linolenic acid on thrombotic risk factors in vegetarian men. American Journal of Clinical Nutrition, 69:872-882.*

- Lim, Ch., I.G. Borlongan, and F.P. Pascual. 2002.* Pages 172-183 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Lopez-Ferrer, M.D. Baucells, A.C. Barroeta, and M.A. Grashorn. 1999.* N-3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science*.,78:356-365.
- Lorgeril, M. de, S. Renaud, N. Mamelle, P. Salen, J.L. Martin, I., Monjaud, J. Guidollet, P. Touboul, and J. Delaye. 1994.* Mediterranean alpha-linolenic acid-rich diet in secondary prevention of coronary heart disease. *The Lancet*, 343:1454-1459.
- Loria, R.M., and D.A. Padgett.1997.* Alpha-linolenic acid prevents the hypercholesteremic effects of cholesterol addition to a corn oil diet. *Nutritional Biochemistry*, 8:140-146.
- McBride, J. 1999.* A snapshot of blood homocysteine levels. Retrieved October 6, 1999 from the World Wide Web, <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/mar99/snap0399.htm>.
- Madhusudhan, K.T., H.P. Ramesh, T. Ogawa, K.Sasaoka, and N. Singh. 1986.* Detoxification of commercial linseed meal for use in broiler rations. *Poultry Science*, 65:164:171.
- Madsen, C. 1997.* Prevalence of food allergy/intolerance in Europe. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 4:163-167.
- Malinow, M.R. 1996.* Plasma homocyst(e)ine: a risk factor for arterial occlusive diseases. *Journal of Nutrition*, 126:1238S-1243S.
- Marshall, A.C., A.R. Sams, and M.E. Van Elswyk. 1994b.* Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5% menhaden oil. *Journal of Food Science*, 59(3):561-563.
- Mantzioris, E., M.J. James, R.A. Gibson, y L.G. Cleland. 1995.* Differences exist in the relationships between dietary linoleic and  $\alpha$ -linolenic acids and their respective long-chain metabolites. *American Journal of Clinical Nutrition*, (61):320-324.
- Masumoto; T. 200 . Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*.2002.* Pages 131-146 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Mazza, G. and B.D. Oomah. 1995.* Flaxseed, dietary fiber, and cyanogens. Pages 56-81 in *Flaxseed in Human Nutrition*, edited by S.C. Cunnane and L.U. Thompson. American Oil Chemists' Society Press, Champaign, USA.
- McGuire, S.O., D.W. Alexander, and K.L. Fritsche. 1997.* Fish oil source differentially affects rat immune cell  $\alpha$ -tocopherol concentration. *Journal of Nutrition*, 127:1388-1394.
- Miller, D. and P. Robisch. 1969.* Comparative effect of herring, menhaden, and safflower oils on broiler tissues fatty acid composition and flavor. *Poultry Science*, 48:2146-2157.
- Moneret-Vautrin D.A., G. Kanny, and L. Parisot. 2001.* Accidents graves par allergie alimentaire en France: fréquence, caractéristiques cliniques, et idéologiques. Première enquête du Réseau d'allergovigilance, avril-mai 2001. *Revis Française de Allergologie et Immunologie Clinique*, 451:696-700.
- Muggli, R. y P. Clough. 1994.* The Fats of Life. *Roche Magazine*, 49:11.
- Murthy, H.S. 2002.* Indian major carps. Pages 262-272 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Nash, D.M., R.M.G. Hamilton, K.A. Sanford, and H.W. Hulan. 1996.* The effect of dietary menhaden meal and storage on the omega-3 fatty acids and sensory attributes of egg yolk in laying hens. *Canadian Journal of Animal Sciences*, 76:377-383.
- Nash, D.M., R.M.G. Hamilton, and H.W. Hulan. 1995.* The effect of dietary herring meal on the omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens. *Canadian Journal of Animal Science*, 75:247-253.
- Neely, E. 1999.* Dietary modification of egg yolk lipids. Thesis. School of Agriculture and Food Science, The Queen's University of Belfast, Northern Ireland, UK.
- Neergaard, L. 2002.* Scientific advisers urged government to tell pregnant women to limit how much tuna they eat. Associated Press. Retrieved July 27, 2002 from the World Wide Web, <http://sfgate.com>.
- Nelson, G.J. 1992.* Dietary Fatty Acids and Lipid Metabolism. Pages 437-471 *In: Fatty acids in foods and their health implications*, edited by C.K. Chow. Marcel Dekker, Inc.
- Nettleton, J.A. 1995.*  $\omega$ -3 fatty acids and helth. Chapman & Hall, New York, New York, USA.
- Nettleton, J.A. 1994.* Fats and oils in human nutrition: report of a joint expert consultation. Food and Agricultural Organization, Food and Nutrition Paper, Rome, Italy, (57):2-6.

- Nitsan, Z, S. Mokady, and A. Sukenik. 1999.* Enrichment of poultry products with  $\omega$ -3 fatty acids by dietary supplementation with the alga *Nannochloropsis* and Matur oil. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 47:5127-5132.
- Novak, C. and S. Scheideler. 1998.* The effect of calcium and/or vitamin D, supplementation of flax based diets on production parameters and egg composition. University of Nebraska Cooperative Extension MP 70, Lincoln, USA..
- Oh, S.Y., J. Ryue, C.H. Hsieh, and D.E. Bell.* Eggs enriched in  $\omega$ -3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *American Journal of Clinical Nutrition*, 54:689-695.
- Okuyama, H., T. Kobayashi, and S. Watanabe. 1997.* Dietary fatty acids - the n-6/n-3 balance and chronic elderly diseases excess linoleic acid and relative n-3 deficiency syndrome seen in Japan. *Progress in Lipid Research*, 35(4):409-457.
- Oomah, B.D. and E.O. Kenaschuk. 1995.* Cultivars and agronomic aspects. Pages 43-45 in *Flaxseed in Human Nutrition*, edited by S.C. Cunnane and L.U. Thompson. American Oil Chemists' Society Press, Champaign, USA.
- Organisation for Economic Co-Operation and Development. 1998.* Towards sustainable development, Environmental Indicators: Fish Resources. OECD, Paris, France.
- Pascual, C., M.M. Esteban, and J.F. Crespo. 1992.* Fish allergy: evaluation of the importance of crossreactivity. *Journal of Pediatrics*, 121:S29-34.
- Porsgaard, T., and C.E. Høy. 2000.* Lymphatic transport in rats of several dietary fats differing in fatty acid profile and triacylglycerol structure. *Journal of Nutrition*, 130:1619-1624.
- Ratanayake, W.M.N., R.G. Ackman, and H.W. Hulan. 1989.* Effect of redfish meal enriched diets on the taste and n-3 PUFA of 42-day-old broiler chickens. *Journal of Science and Food Agricultural*, 49:59-74.
- Renaud, S., R. Morazain, F. Godsey, E. Dumont, C. Thevenson, J.L. Martin, and F. Mendy. 1986a.* Nutrients, platelet function and composition in nine groups of French and British farmers. *Atherosclerosis*, 60:37-48.
- .Renaud, S., F. Godsey, E. Dumont, C. Thevenson, E. Ortchanian, and J.L. Martin. 1986b* Influence of long-term diet modification on platelet function and composition in Moselle farmers. *American Journal of Clinical Nutrition*, 43:136-150.
- Rickard, S.E. and L.U. Thompson. 1988.* Chronic exposure to secoisolariciresinol diglycoside alters lignan disposition in rats. *The Journal of Nutrition*, 128(3):615-623.
- Robinson, E.H. and M.H. Li. 2002.* Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. Pages 293-318 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Romans, J.R., D.M. Wulf, R.C. Johsdon, G.W. Libal, and W.J. Costello. 1995.* Effect of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: II. Duration of 15% dietary flaxseed. *Journal of Animal Science*, 73(7):1987-1999.
- Sahagun, B. de. 1579.* *Historia general de las cosas de Nueva España*. 1982. Reprinted by School of American Research, Santa Fe, USA.
- Sargent, J. G. Bell, L. McEvoy, D. Tocher, and A. Estevez. 1999.* Recent developments in the essential fatty acids nutrition of fish. *Aquaculture*, 77:191-199.
- Sebedio, J.L. 1995.* Marine oils. Pages 266-299 in *Oils & Fats Manual*, edited by A. Karleskind Lavoisier Publishing, Paris, France.
- Selhub, J., P. Jaques, A. Bostom, R. D'Agostino, P. Wilson, A. Belanger, D. O'Leary, P. Wolf, D. Rush, E. Schefer, and I. Rosenberg. 1996.* Relationship between plasma homocysteine, vitamin status and extracranial carotid-artery stenosis in the Framingham Study Population. *Journal of Nutrition*, 126:1258S-1265S.
- Scheideler, S.E., G. Froning, and S. Cuppett. 1997.* Studies of consumer acceptance of high omega-3 fatty acid-enriched eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 6:137-146.
- Shukla, V.K.S. and E.G. Perkins. 1998.* Rancidity in encapsulated health-food oils. *INFORM*, 9(10):955-961.
- Shukla, V.K.S., P.K.J.P.D. Wanasundra, and F. Shahidi. 1996.* Natural antioxidants from oilseeds. Pages 97-132 in *Natural Antioxidants*, edited by F. Shahidi. American Oil Chemists' Press, Champaign, USA.
- Sim, J.S. and Z. Jiang. 1994.* Consumption of  $\omega$ -3 PUFA enriched eggs and changes of plasma lipids in human subjects. Pages 414-420 in *Egg uses and Processing technologies* edited by J.S. Sim and S. Nakai eds. CAB International, Wallingford, England.

- Simopoulos, A.P. 2002.* Omega-3 fatty acids in wild plants, nuts and seeds. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(56):S163-S173.
- Simopoulos, A.P. 1999.* Essential fatty acids in health and chronic disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3):560S-569S.
- Simopoulos, A.P. 1989.* General recommendations on dietary fats for human consumption. Pages 403-404 in *Dietary  $\omega$ 3 and  $\omega$ 6 fatty acids: biological effects and nutritional essentiality*, edited by C. Galli and A.P. Simopoulos. NATO Scientific Affairs Division and Plenum Press, New York, USA.
- Simopoulos, A.P. and Robinson, J. 1998.* The omega plan. Harper Collins Publishers, New York, USA.
- Simopoulos, A.P. and N. Salem Jr. 1992.* Egg yolk as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant feeding. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55:411-414.
- Singh M.A., R.B. Niaz, J.P. Sharma, R. Kumar, V. Rastogi, and M. Moshiri. 1997.* Randomized, double-blind, placebo-controlled trial of fish oil and mustard oil in patients with suspected acute myocardial infarction: the Indian experiment of infarct survival - 4. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 11:485-491
- Stitt, P.A. 1989.* Flax as a source of alpha-linolenic acid. Pages 389-390 in *Dietary  $\omega$ 3 and  $\omega$ 6 fatty acids: biological effects and nutritional essentiality*, edited by C. Galli and A.P. Simopoulos. NATO Scientific Affairs Division and Plenum Press, New York, USA.
- Song, J.H., K. Fujimoto, and T. Miyazawa. 2000.* Polyunsaturated (n-3) fatty acids susceptible to peroxidation are increased in plasma and tissue lipids of rats fed docosahexaenoic acid-containing oils. *Journal of Nutrition*, 130:3028-3033.
- Straarup, E.M., and C.E. Høy. 2000.* Structured lipids improve fat absorption in normal and malabsorbing rats. *Journal of Nutrition*, 130:2802-2808.
- Sugihara, N., Y. Tsuruta, Y. Date, K. Furuno, and K. Kohashi. 1994.* High peroxidative susceptibility of fish oil polyunsaturated fatty acid in cultured rat hepatocytes. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 126:124-128.
- Svensson, B.G., A. Nilsson, M. Hansson, C. Rappe, B. Akesson, and S. Skerfving. 1991.* Exposure to dioxins and dibenzofurans through the consumption of fish. *The New England Journal of Medicine*, 32(1):8-12.
- Taga, M.S., E.E. Miller, and D.E. Pratt, 1984.* Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 61:928-931.
- Tengerdy, R.P., and J.C. Brown. 1977.* Effect of vitamin E and A on humoral immunity and phagocytosis in *E. coli* infected chicken. *Poultry Science*, 56:957-963.
- Ting, I.P., J.H. Brown, H.H. Naqvi, J. Kumamoto, and M. Matsumura. 1990.* Chia: a potential oil crop for arid zones. Pages 197-202 in H.H. Naqvi, A. Estilai, and I.P. Ting eds. *New Industrial Crops and Products. Proceedings of The First International Conference on New Industrial Crops and Products*, Riverside, California, USA, October 8-12, 1990.
- Toug, J.C., J. Chen, and L.U. Thompson. 1999.* Dose, timing, and duration of flaxseed exposure affect reproductive indices and sex hormone levels in rats. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 56(8):555-570.
- Toug, J.C., J. Chen, and L.U. Thompson. 1998.* Flaxseed and its lignan precursor secoisolariciresinol diglycoside, affect pregnancy outcome and reproductive development in rats. *The Journal of Nutrition*, 128(11):1861-1868.
- Treviño, J., M.L. Rodriguez, L.T. Ortiz, A. Rebole, and C. Alzueta. 2000.* Protein quality of linseed for growing broiler chicks. *Animal Food Science and Technology*, 84:155-166.
- United States Department of Agriculture. 1999a.* University of Saskatchewan; availability of determination of non regulated status for flax genetically engineered for tolerance to soil residues of sulfonylurea herbicides. Animal and Plant Health Inspection, Washington D.C., Docket No. 99-002-2, Federal Register 64(102):28794-28795.
- United States Department of Agriculture. 1999b.* USDA Nutrient database for standard reference, release 13. Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory Home Page, Download 26/3/01, <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>
- Valenzuela, A. and R. Uauy. 1999.* Consumption pattern of dietary fats in Chile: n-6 and n-3 fatty acids. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50:127-133.
- Vander Jag D.J., C.D. Arndt, S. N. Okolo, Y.S. Huang, L.T. Chuang, and R.H. Glew. 2000.* Fatty acid composition of the milk lipid of Fulani women and the serum phospholipids of their exclusivity breast-fed infants. *Early Human Development*, 60:73-87.
- Van Elswyk, M.E., P.L. Dawson, and A.R. Sams. 1995.* Dietary menhaden oil influences sensory characteristics and headspace volatiles of shell eggs. *Journal of Food Science*, 60:85-89.
- Van Elswyk, M.E., B.M. Hargis, J.D. Williams, and P.S. Hargis. 1994.* Dietary menhaden oil contributes to hepatic lipidosis in laying hens. *Poultry Science*, 73:653-662.

- Van Elswyk, M.E., A.R. Sams, and P.S. Hargis. 1992. Composition, functionality, and sensory evaluation of eggs from hens fed dietary menhaden oil. *Journal of Food Science*, 57:342-349.
- Vetter, J. 2000. Plant cyanogenetic glycosides. *Toxicon*, 38:11-36.
- Wahlqvist, M. 1999. Prospects for the future: nutrition, environment and sustainable food and recognition, Melbourne, Australia, 11-15 October 1999.
- Wander, R.C., J.A. Hall, J.L. Gradin, S.H. Du, and D.E. Jewell. 1997. The ratio of dietary (n-6) to (n-3) fatty acids influences immune system function, eicosanoid metabolism, lipid peroxidation and vitamin E status in aged dogs. *Journal of Nutrition*, 127:1198--1205.
- Warnants, N., M.J. Van Oeckel, and Ch.V. Boucqué. 1998. Effect of incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork backfat on the quality of salami. *Meat Science*, 49(4):435-445.
- Weber, C.D. and Ch. Lim. 2002. Introduction to fish nutrition. Pages 1-27 in *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, edited by C.D. Webster and C. Lim.. CAB International Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Weber, C.W., H.S. Gentry, E.A. Kohlhepp, and P.R. McCrohan. 1991. The nutritional and chemical evaluation of chia seeds. *Ecology of Food and Nutrition*, 26:119-125.
- Williard, D.E., S.D. Harmon, T.I. Kaduce, M. Preuss, S.A. Moore, M.E.C. Robbins, and A.A. Spector. 2001. DHA synthesis from n-3 polyunsaturated fatty acids in differentiated rat brain astrocytes. *Journal of Lipid Research*, 42:1368-1376.
- Wood, J.D., M. Enser, A.V. Fisher, G.R. Nute, R.I. Richardson, and P.R. Sheard. 1999. Manipulating meat quality and composition. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 58(2):363-370.
- Yli-Jama, P., T.S. Haugen, H.M. Rebnord, J. Ringstad, and J.I. Pedersen. 2001. Selective mobilisation of fatty acids from human adipose tissue. *European Journal of Internal Medicine*, 12:107-115.
- Yonekubo, A., Y. Katoku, T. Kanno, M. Yamada, T. Kuwata, A. Sawa, and A. Kobayashi. 1998. Effects of cholesterol and nucleotides in infant formula on lipid composition of plasma and red blood cell membrane in early infancy. Pages 156-167 in *Lipids in Infant Nutrition* edited by Y.S. Huang and A.J. Sinclair. American Oil Chemists Society Press, Champaign, Illinois, USA.

## Tables

<b>Table 1. Teneur en huile et composition des acides gras des graines de chia et de lin</b>						
<b>Graines</b>	<b>Oil</b>	<b><math>\alpha</math>- Linoléinique</b>	<b>Linoléique</b>	<b>Oléique</b>	<b>Stearique</b>	<b>Palmitique</b>
	<b>(%)</b>		<b>(g/100 g)*</b>			
Chía**	32.8	20.34	6.66	2.36	0.95	2.13
Lin***	43.3	25.46	6.32	7.32	1.3	2.25

\* Pour 100 g de graines. Source: \*\*Ayerza and Coates (1999); \*\*\*Bhatty (1995)

**Table 2. Composition de graines de lin et de chia  
(par 100 gr de portion digestible)**

<b>Nutrient</b>	<b>Unités</b>	<b>Lin</b>	<b>Chia</b>
<b>Proximates</b>			
Eau	g	8.75	4.0
Energie	kcal	492	330
Energie	kJ	2059	1381
Proteines	g	19.50	17.1
Lipides totaux	g	34.00	32.8
Hydrates de carbone, par difference	g	34.25	41.8
Fibre dietétiques total	g	27.90	22.1
Cendres	g	3.50	5.2
<b>Minereaux</b>			
Calcium, Ca	mg	199	870
Fer, Fe	mg	622	
Magnesium, Mg	mg	362	466
Phosphore, P	mg	498	922
Potassium, K	mg	681	890
Sodium, Na	mg	34	2.0
Zinc, Zn	mg	4.17	7.4
Cuivre, Cu	mg	1.04	2.45
Manganese, Mn	mg	3.28	5.85
Selenium, Se	mcg	5.5	
<b>Vitamines</b>			
Vitamine C, acide ascorbique total	mg	1.300	
Thiamin	mg	0.170	0.144
Riboflavin	mg	0.160	0.213
Niacin	mg	1.400	8.250
Acide Pantothenique	mg	1.530	



Vitamine B-6	mg	0.927	
Folate, total	mcg	278	
Folate, aliment	mcg	278	
Folate, DFE	mcg_DFE	278	
Vitamine A, IU	IU	0	4300
Vitamine E	mg_ATE	5000	
<b>Antioxydants</b>			
Nonhydrolyzed			
Acide caffeique	mol		$0.66 \times 10^{-3}$
Acide chlorogénique	mol		$0.71 \times 10^{-3}$
Hydrolyzed			
Myricétine	mol		$0.31 \times 10^{-3}$
Quercétine	mol		$0.02 \times 10^{-3}$
Kaempférol	mol		$0.11 \times 10^{-3}$
Acide caffeique	mol		$1.35 \times 10^{-3}$
Note: Pour USDA Nutrient Database, jusqu'à 12 % de graines de lin peuvent être incorporées comme ingrédient alimentaire.			

**Table 3. Composition des acides gras de l'huile de chia, huile de lin, huile de poisson menhaden et huile extraite d'algues.**

Acides gras	14:0	16:0	16:1 <sup>5</sup>	18:0	18:1 <sup>6</sup>	18:2 <sup>7</sup>	18:3 <sup>8</sup>	20:3 <sup>8</sup>	20:4 <sup>8</sup>	20:5 <sup>8</sup>	22:5 <sup>8</sup>	22:6 <sup>8</sup>
% acides gras totaux												
Menhaden <sup>1</sup>	7.9	15	10.5	3.8	14.5	2.2	1.5	0.4	1.2	13.2	5	8.6
Algue <sup>2*</sup>	17	32	7.8	1.1	4.8	----	----	----	----	0.7	8	27.6
Chia <sup>3</sup>	----	6.9	----	2.8	6.7	19	63.8	----	----	----	---	----
Lin <sup>4</sup>	----	5.5	----	1.4	19.5	15	57.5	----	----	----	---	----

<sup>1</sup>:USDA, 1999b; <sup>2</sup>:Abril and Barclay., 1998; <sup>3</sup>: Coates and Ayerza, 1998; <sup>4</sup>: Sultana (1996); <sup>5</sup>: ω-7; <sup>6</sup>:ω-9; <sup>7</sup>:ω-6; <sup>8</sup>:ω-3; \*: DHA Gold™ (*Schizochytrium sp.*).

**Table 4. Composition des acides gras du chia, lin, menhaden poisson et algues, calculés à partir des valeurs de la table 2**

Acides gras	Σ SFA	Σ MUFA	Σ ω-6	Σω-3
% Acides gras totaux				
Menhaden	26.9	25.0	2.2	29.8
Algue	50.3	12.6	----	36.7
Chía	9.7	6.5	19	63.8
Lin	6.9	19.5	15	57.5

**Table 5. Comparaison des sources essentielles d'acide gras oméga-3 utilisées en tant qu'aliments animaux et humains.**

Oméga-3 source	Huile de poisson 1*	Algue 2**	Lin 3	Chia 4
Origine	animal	végétal	végétal	végétal
Antécédents en tant qu'aliments humains	no	no	no	oui
Destination primaires	Aliment animal	Aliment animal	Industriel	Aliment humain
Acides gras oméga-3	EPA & DHA	DHA	ALA	ALA
Concentration des acides gras oméga-3 (% de l'huile)	30	37	58	64
Contenue total des acides gras oméga-3 (%)	30	19	25	20
Concentration des acides gras saturés (% de l'huile)	27	50	7	9
Cholestérol	oui	non	non	non
Facteurs anti-nutritionaux/toxiques	oui	non	oui	non
Stabilité comparative de la graisse	très bas	très bas	bas	très haut
Antioxydants naturels	non	très bas	très bas	très haut

Nécessité d'antioxydants	oui	oui	oui	non
Saveur anormales (saveur à poisson)	oui	oui	oui	non
Difficulté de manutention et de stockage	oui	oui	quelque	non
Produit sain pour l'environnement	non	non	moyen	oui
Tendance de prix à moyen et long terme	croissante	croissante	stable	décroissante

<sup>1</sup>:USDA, 1999; <sup>2</sup>:Abril and Barclay., 1998; <sup>3</sup>: Sultana (1996); <sup>4</sup>: Coates and Ayerza, 1998;\* Huile de Menhaden\*\*: DHA Gold™ (Schizochytrium sp.)

**Table 6 Produits enrichis en Chia : oeufs, poulets, lait, pain**

Aliment	Chia comme matière première %	Aliment à base de chia contenu d'oméga-3 mg/100 gr de portion comestible	Aliment commun contenu d'oméga-3	Acroissement de teneur %	Besoins quotidiens par portion <sup>1</sup> %
<b>Oeufs</b>					
blanc	10	742	90	824	57 <sup>w</sup>
brun	10	716	76	942	55 <sup>w</sup>
<b>Chair de poulet</b>					
blanc	10	709	95	746	55 <sup>x</sup>
cuisse	10	613	112	547	47 <sup>x</sup>
Lait	2	45	34	32	8.5 <sup>y</sup>
Pain	10	203	20	1015	16 <sup>z</sup>
Semence du chia	100	2034	-----	-----	100 <sup>k</sup>

Volume de la portion: <sup>w</sup> 100 gr (deux oeufs); <sup>x</sup> 100 gr; <sup>y</sup> 244 gr (une tasse); <sup>z</sup> 100 gr (quatre tranches); <sup>k</sup> 64 gr.  
 Besoins quotidiens: <sup>1</sup> Les pourcentages de valeur journalière sont calculés sur base d'un régime de 2,300 calories. Canada [dept of] Health and Welfare. 1990. Nutrition recommendation. Canadian Government Publishing Centre, Ottawa, Canada.

*Cette fiche ne constitue en aucun cas un manuel d'exécution ni une référence et ne peut remplacer l'expérience et le savoir-faire d'un professionnel.*