

CORN GLUTEN MEAL



LE CORN GLUTEN MEAL, COPRODUIT DE L'AMIDONNERIE DU MAÏS, EST OBTENU APRÈS EXTRACTION DE L'AMIDON. IL PRÉSENTE DONC UNE CONCENTRATION ÉLEVÉE À PROTÉINES.

AUTRES NOMS COMMUNS

Farine de gluten, gluten de maïs, Corn gluten meal, gluten 60



Description

Le corn gluten meal est un coproduit de la fabrication d'amidon de maïs (et parfois d'éthanol de maïs) par broyage humide (RFA, 2008). Le corn gluten meal est un aliment riche en protéines, avec environ 65 % de protéines (base MS). Il est utilisé comme source de protéines, d'énergie et de pigments pour tous les animaux d'élevage, dont les poissons. C'est un ingrédient intéressant pour les aliments pour animaux de compagnie, en raison de la digestibilité élevée de ses protéines (RFA, 2008). Aux États-Unis et au Canada, le corn gluten meal est également utilisé comme engrais et comme herbicide de pré-levée (Pasupuleti et al., 2010 ; Christians, 1994).

Le procédé de broyage humide du maïs donne 5 produits principaux : amidon de maïs, tourteau de germes de maïs, corn gluten meal, corn gluten feed et corn steep liquor. Après le nettoyage et l'élimination des corps étrangers, le grain de maïs est généralement trempé dans de l'eau mélangée à du dioxyde de soufre (SO₂) pendant 24 à 40 heures, à une température de 48-52 °C. Le rôle du dioxyde de soufre est de fragiliser la matrice de glutéline en brisant les liaisons disulfure inter- et intra-moléculaires. Le trempage à 45-55 °C favorise le développement de bactéries lactiques qui produisent de l'acide lactique, abaissant le pH du

milieu et limitant ainsi la croissance de la plupart des autres micro-organismes. A la fin de la macération, les grains de maïs contiennent environ 45 % d'eau, et libèrent environ 6,0-6,5 % de leur matière sèche en solution dans l'eau de trempage, devenant ainsi suffisamment mous pour être facilement écrasés avec les doigts (BeMiller et al., 2009). Après macération, les grains de maïs sont grossièrement broyés de sorte que les germes sont séparés de l'endosperme et utilisés pour l'extraction de l'huile. L'extraction d'huile à partir des germes produit du tourteau de germes de maïs. L'eau de trempage restante est condensée en «corn steep liquor». L'endosperme subit plusieurs tamisages qui séparent la fibre du gluten (fraction protéique) et de la suspension d'amidon. La fibre (son) est mélangée avec de la «corn steep liquor» et du tourteau de germes de maïs pour produire du corn gluten feed (ISI, 2008 ; RFA, 2011). L'endosperme dépourvu de fibres est centrifugé afin de séparer la fraction d'amidon et le gluten, qui ont des densités différentes, ce qui donne de l'amidon presque pur (99 % d'amidon) et du corn gluten meal (CRA, 2006).

Remarque : il est important de noter que le corn gluten meal ne doit pas être confondu avec le corn gluten feed, qui contient environ 22 % de protéines au lieu de 65 % pour le corn gluten meal, et est donc complètement différent sur le plan nutritionnel. La similitude entre les appellations de ces produits peut être source de confusion.

Distribution

Le corn gluten meal est obtenu partout où le maïs est utilisé pour l'extraction de l'amidon. Il est distribué dans le monde entier. Sa production est devenue relativement constante puisque l'éthanol est maintenant principalement produit par broyage à sec, un procédé qui donne des

drêches de distillerie de maïs plutôt que du corn gluten meal et du corn gluten feed (RFA, 2008). En 2010-2011, la consommation de corn gluten meal et de corn gluten feed était d'environ 14,9 millions de tonnes, les statistiques ne faisant pas de différence entre les deux produits. Les plus gros consommateurs étaient les États-Unis (5,6 millions de

tonnes), l'Union européenne (3 millions de tonnes), la Corée du Sud (1 million de tonnes), le Japon (0,94 million de tonnes) et d'autres pays asiatiques (1,6 million de tonnes). Les États-Unis étaient le principal fournisseur, produisant 2,1 millions de tonnes des 3,5 millions de tonnes exportées dans le monde. Les principaux importateurs étaient l'UE, la Corée du Sud, la Turquie, la Chine, le Japon, Israël, l'Égypte et l'Indonésie (Oil World, 2011).

Dans l'Union européenne, l'interdiction du maïs transgénétique et de ses coproduits a entraîné une diminution spectaculaire de l'importation de maïs grain, de corn gluten meal et de corn gluten feed au début des années 2000 (Commission européenne, 2007). L'importation de maïs génétiquement modifié et de ses coproduits dérivés est désormais strictement réglementée dans l'UE, l'EFSA examinant chaque nouvelle demande de produits à base de maïs transgénétique (Union européenne, 2003).

Procédés de transformation

Le corn gluten meal résulte de la séparation des deux fractions restant dans l'endosperme du grain de maïs après tamisage (dépourvu de fibres). Il est obtenu grâce à une centrifugation qui sépare la fraction protéique (le corn gluten

meal) de la fraction d'amidon pur (99 % amidon) grâce à leurs densités différentes. Le corn gluten meal existe sous forme humide ou déshydratée, le corn gluten meal déshydraté étant le plus courant (CRA, 2006).

Caractéristiques nutritionnelles

Le corn gluten meal est un aliment riche en protéines contenant 60 à 75 % de protéines brutes (% MS), bien que des valeurs plus faibles aient été rapportées. Il contient environ 15-20 % d'amidon résiduel et des petites quantités de fibres (1 % de cellulose brute), de matières grasses (3 % MS) et de minéraux (2 % MS). En raison de sa teneur élevée en protéines, le corn gluten meal est principalement utilisé comme une alternative à d'autres sources de protéines végétales ou animales (Leeson et al., 2005). Cependant, à l'instar du grain de maïs, son profil en acides aminés est pauvre en lysine (1,7 % de la protéine contre 6,3 % pour le tourteau de soja et 7,5 % pour la farine de poisson) et en tryptophane (0,5 % contre 1,4 % pour le tourteau de soja et 1,1 % pour la farine de poisson). Il contient également plus de méthionine

(2,4 %) que de lysine, ce qui lui confère un profil déséquilibré pour de nombreuses espèces animales. Néanmoins, la teneur en méthionine, relativement bonne, est intéressante pour les poules pondeuses. Le corn gluten meal est également une bonne source d'énergie, en raison de sa forte teneur en énergie brute (23,1 MJ/kg MS) et de la digestibilité de son énergie (supérieure à 90 % chez les ruminants et les porcs). Cependant, sa palatabilité modérée auprès des animaux d'élevage terrestres reste une contrainte (Leeson et al., 2005). Le corn gluten meal est particulièrement riche en xanthophylles (entre 200 et 500 mg/kg MS), des pigments jaunes qui sont utiles en élevage de volailles car les consommateurs recherchent des poulets et des jaunes d'œuf bien colorés (Blair, 2008 ; Coimbra, 2001).

Tableau 1 : Principaux constituants des coques de tournesol

Constituants organiques	Matière sèche (% sur brut)	90,9
	Protéines brutes (% MS)	67,6
	Cellulose brute (% MS)	1,5
	Matières grasses brutes (% MS)	2,6
	Matières grasses hydrolyse (% MS)	6,6
	Matières minérales (% MS)	2,1
	NDF (% MS)	4,0
	ADF (% MS)	1,4
	Lignine (% MS)	0,2
	Amidon (% MS)	17,3
	Sucres totaux (% MS)	0,5
	Energie brute (kcal/kg MS)	5 500
	Minéraux	Calcium (g/kg MS)
Phosphore (g/kg MS)		4,3
Magnésium (g/kg MS)		0,6
Potassium (g/kg MS)		1,3
Sodium (g/kg MS)		0,91
Manganèse (mg/kg MS)		11
Zinc (mg/kg MS)		36
Cuivre (mg/kg MS)		13
Acides aminés	Alanine (g/kg MS)	57,3
	Arginine (g/kg MS)	21,0
	Acide aspartique (g/kg MS)	39,7
	Cystine (g/kg MS)	12,2
	Acide glutamique (g/kg MS)	134,0
	Glycine (g/kg MS)	17,8
	Histidine (g/kg MS)	13,8
	Isoleucine (g/kg MS)	26,8
	Leucine (g/kg MS)	106,0
	Lysine (g/kg MS)	11,9
	Méthionine (g/kg MS)	15,9
	Phénylalanine (g/kg MS)	40,6
	Proline (g/kg MS)	58,2
	Sérine (g/kg MS)	32,9
	Thréonine (g/kg MS)	22,4
	Tryptophane (g/kg MS)	3,4
	Tyrosine (g/kg MS)	32,4
Valine (g/kg MS)	30,6	

Contraintes potentielles

Contamination par les mycotoxines

Comme les autres produits à base de maïs, le corn gluten meal peut être contaminé par des mycotoxines. En 2009-2010, une enquête mondiale a révélé que les échantillons de corn gluten meal étaient fréquemment contaminés par

des mycotoxines, notamment par la fumonisine et la zéaralénone (Rodrigues et al., 2012). Des résultats similaires ont été signalés en Chine en 2006-2007 (Ao et al., 2008).

Ruminants

Le corn gluten meal est utilisé comme source de protéines chez les ruminants, et en particulier comme source de protéines non dégradables dans le rumen et de protéines métabolisables. Cependant, la faible teneur en lysine du corn

gluten meal peut être un facteur limitant, ainsi le remplacement des sources de protéines traditionnelles riches en lysine telles que le tourteau de soja par du corn gluten meal doit être fait avec précaution.

Digestibilité et énergie

La digestibilité du corn gluten meal est généralement supérieure à 90 %, ce qui donne des valeurs d'énergie métabolisable (EM) élevées (16,4 et 16,8 MJ/kg MS) (Sauvant et al.,

2004 ; Volden, 2011). D'autres sources ont rapporté une digestibilité vraie des nutriments de 84 % (NRC, 2001 ; Rocha Junior et al., 2003 ; Azevêdo et al., 2011b).

Valeur protéique

La protéine du corn gluten meal est potentiellement extrêmement dégradable dans le rumen, avec des valeurs potentielles de dégradabilité d'environ 90 % (Sauvant et al., 2004) ou plus (NRC, 2001 ; Volden, 2011). Cependant, le taux de dégradation (c) des fractions est très faible (1,6 ; 2,5 et 5,2 % par heure) (Volden, 2011 ; Sauvant et al., 2004 ; NRC, 2001), entraînant des taux de dégradation effectifs faibles (environ 30 %). Le corn gluten meal est la source de protéine végétale qui fournit la plus grande quantité de protéines non dégradables dans le rumen, allant de 45 à 50 % de la MS.

La digestibilité intestinale de la protéine by-pass du corn gluten meal est élevée (90-91 %), plus élevée que celle du

tourteau de colza (environ 80 %) et du tourteau de coton (moins de 90 %), mais inférieure à celle du tourteau de soja (plus de 95 %) (Sauvant et al., 2004 ; Yue Qun et al., 2007). Pour cette raison, le corn gluten meal est la meilleure source végétale de protéines métabolisables. Cependant, en raison de sa faible teneur en lysine, la proportion de lysine dans la protéine métabolisable est également faible (moins de 3,5 %, Sauvant et al., 2004). Par conséquent, il est important d'évaluer soigneusement la teneur en lysine des protéines métabolisables dans les régimes qui contiennent de grandes quantités de corn gluten meal, car on estime que le rapport lysine/protéine métabolisable ne devrait pas être inférieur à 6,1 %.

Bovins

Vaches laitières

L'utilisation du corn gluten meal a été largement étudiée chez les vaches laitières. Dans la plupart des essais, la consommation de corn gluten meal, seul ou en combinaison avec d'autres sources de protéines, a donné des résultats similaires ou meilleurs que les régimes témoins. Les combinaisons de soja extrudé et de corn gluten meal comme complément protéique, ont donné des résultats similaires à ceux obtenus avec du tourteau de soja seul pour les vaches en lactation (Annexstad et al., 1987). Un mélange de corn

gluten meal et de farine de sang a produit une réponse de lactation similaire à celle obtenue avec du tourteau de soja chez des vaches Holstein en milieu de lactation (De Gracia et al., 1989). Chez des Holstein hautes productrices, la supplémentation en corn gluten meal utilisée pour augmenter le taux de protéines brutes de 1,1 à 1,5 point, a eu un effet légèrement négatif en début de lactation et généralement positif en fin de lactation, ce qui suggère que la lysine pourrait avoir été un facteur limitant en début de lactation (Hol-

ter et al., 1992). Au Brésil, chez les vaches ayant un accès restreint au pâturage de ray-grass italien, la supplémentation avec un mélange à 60:40 (22 % de protéines brutes) de maïs moulu et de corn gluten meal a augmenté significativement la production laitière (Ribeiro Filho et al., 2009). En Iran, les vaches recevant un supplément de corn gluten meal, augmentant ainsi leur consommation de protéines bypass, ont augmenté leur consommation de MS, leur produc-

tion laitière, la teneur en protéines du lait et leur état corporel, tout en réduisant leurs pertes de poids corporel (Aboozar et al., 2012). Cependant, une combinaison de drêches de distillerie déshydratées et de corn gluten meal a réduit la production de protéines du lait par rapport à un régime témoin à base de soja, probablement en raison du déficit en lysine des produits à base de maïs, par rapport au soja (Voss et al., 1988).

●● Bovins en croissance

Au Brésil, du corn gluten meal et des pelures de manioc ont remplacé en partie des concentrés énergétiques chez des génisses, sans influence sur l'ingestion de MS, la digestibi-

lité, l'efficacité microbienne et la rétention d'azote (Azevêdo et al., 2011a).

Ovins

Chez des moutons recevant un programme de supplémentation en protéines tous les deux jours, le corn gluten meal a été un substitut efficace au tourteau de soja (Collins et al., 1992). Le remplacement d'un mélange de tourteau de soja

et de son de blé par un mélange de corn gluten meal et de corn gluten feed n'a eu aucun effet négatif sur la digestibilité apparente des nutriments, ni sur l'azote et l'équilibre énergétique des animaux (Milis et al., 2005).

Chevres

Deux essais avec des chèvres laitières ont donné des résultats contradictoires. Au Brésil, le remplacement jusqu'à 50 % des protéines du tourteau de soja par des protéines de corn gluten meal a diminué linéairement la quantité de matières grasses du lait et a légèrement diminué le rendement laitier (Macedo et al., 2003). En Italie, un essai a comparé un régime protéiné hautement dégradable basé sur des rations mixtes granulées contenant du tourteau de soja, du tourteau de tournesol et de l'urée, avec un régime protéique à faible dégradabilité contenant du corn gluten meal dans les gra-

nulés. Les chèvres laitières nourries avec le régime à base de corn gluten meal ont présenté les concentrations les plus élevées de matières grasses laitières, de protéines et de caséine, sans effets significatifs sur les autres composants du lait et les propriétés d'emprésurage. Il a été conclu qu'une diminution des protéines dégradables dans le rumen n'avait pas d'influence négative sur l'utilisation des nutriments, la production et la composition du lait chez les chèvres laitières (Laudadio et al., 2010).

Tableau 2 : Valeurs alimentaires du corn gluten meal destinées aux ruminants

UFL Systali (/kg MS)	1,62
UFV Systali (/kg MS)	1,68
PDIA Systali (g/kg MS)	423
PDI Systali (g/kg MS)	470
Balance protéique du rumen (g/kg MS)	118
UFL (/kg MS)	1,43
UFV (/kg MS)	1,43
PDIA (g/kg MS)	490
PDIN (g/kg MS)	565
PDIE (g/kg MS)	523
Digestibilité de la matière organique (%)	94
Digestibilité de l'azote (%)	81
Digestibilité intestinale de l'azote (%)	90
Dégradabilité théorique de l'azote (k=6%) (%)	31

Le corn gluten meal est un aliment intéressant pour les porcs en raison de sa haute teneur en protéines et en énergie, couplée à une faible teneur en fibres. La teneur en énergie nette du corn gluten meal est légèrement inférieure à celle du maïs mais beaucoup plus élevée (+ 40 %) que celle du tourteau de soja. En Chine, la teneur en énergie métabolisable du corn gluten meal varie selon l'origine du produit, mais pas de manière significative (Ji et al., 2012). L'inconvénient majeur du corn gluten meal pour l'alimentation des porcs est sa déficience en lysine et en tryptophane, bien que ceci soit partiellement compensé par des digestibilités standardisées des acides aminés iléaux plus élevés pour le corn

gluten meal que pour le maïs et le tourteau de soja (Knabe et al., 1989). Il a été possible d'incorporer jusqu'à 20 ou 30 % de corn gluten meal dans les régimes pour porcs en croissance-finition sans effets négatifs sur les performances de croissance, à condition que les régimes soient complétés par des acides aminés synthétiques (Almeida et al., 2011). Le corn gluten meal peut être incorporé dans les régimes pour porcs en sevrage jusqu'à 13 à 15 % sans entraver les performances (Richert et al., 1992 ; Mahan, 1993). Comme l'absorption du phosphore à partir du corn gluten meal est faible, l'ajout de phytase est recommandé dans les régimes pour porcs qui en contiennent (Rojas et al., 2013).

Tableau 3 : Valeurs alimentaires du corn gluten meal destinées aux porcs

Energie digestible (porc croissance) (kcal/kg MS)	5 100
Energie métabolisable (porc croissance) (kcal/kg MS)	4 700
Energie nette (porc croissance) (kcal/kg MS)	2 990
Energie digestible (porc adulte) (kcal/kg MS)	5 220
Energie métabolisable (porc adulte) (kcal/kg MS)	4 790
Energie nette (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 100
Digestibilité de l'énergie (porc croissance) (%)	93
Digestibilité fécale de l'azote (porc croissance) (%)	86
Digestibilité de l'énergie (porc adulte) (%)	95
Digestibilité fécale de l'azote (porc adulte) (%)	87

Le corn gluten meal peut être un aliment intéressant pour la volaille en raison de sa teneur élevée en protéines, en pigments (xanthophylles) et en EM (généralement plus de 16 MJ/kg MS). Cependant, son profil en acides aminés est déficient en lysine, ce qui le rend peu utile pour l'alimentation des poulets de chair (Crawshaw, 2004). Il est également peu appétent pour la volaille (Blair, 2008). Cependant, la teneur en méthionine du corn gluten meal est relativement élevée, beaucoup plus élevée que celle du tourteau de soja et relativement proche de celle de la farine de poisson, ce qui peut être intéressant pour les poules pondeuses (Crawshaw, 2004). La concentration élevée en xanthophylle du corn gluten meal est appréciable pour les marchés où une couleur jaune vif dans les jaunes d'œufs, la peau et les tissus adipeux est associée à une bonne santé et à une qualité supérieure, mais moins sur les marchés préférant les poulets à peau blanche avec des jaunes d'œuf modérément colorés. Le taux d'incorporation du corn gluten meal dans les aliments pour volailles est donc en partie déterminé par la demande du marché en termes de coloration.

En élevage intensif, les taux d'incorporation du corn gluten meal dans les régimes ne dépassent généralement pas 5 à 8 % (Tangendjaja et al., 2011 ; Crawshaw, 2004). Des taux plus élevés ont été testés avec succès dans des systèmes de production non industriels. Au Bangladesh, du corn gluten meal incorporé à 10 % dans un aliment pour poulettes a donné la coloration désirée aux œufs (Subarna et al., 2006). Au Brésil, il a été démontré que chez les poulets élevés en liberté (type à croissance lente), le taux d'incorporation optimal pour le corn gluten meal était de 10 %, à partir de la phase de croissance (32-84 jours) (Rabello et al., 2012). En Inde, l'incorporation de 9 % de corn gluten meal dans l'aliment pour poulets de chair a donné des résultats satisfaisants et a été considérée comme économiquement rentable (Ismail et al., 2005). Cependant, en Egypte, les tentatives visant à offrir des niveaux plus élevés (20 %) de corn gluten meal se sont traduites par une diminution de l'ingestion et du gain de poids corporel chez les poulets de chair en croissance. Seuls les poulets de chair en finition ont pu recevoir 20 % de corn gluten meal sans effets indésirables (Abdel-Raheem et al., 2005).

Tableau 4 : Valeurs alimentaires du corn gluten meal destinées aux volailles

Energie métabolisable (coq) (kcal/kg MS)	4 010
Energie métabolisable (poulet) (kcal/kg MS)	3 970



Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Renaudeau D., Lessire M., Lebas F., 2018. Corn gluten meal. Feedipedia, a programme

by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/715> Last updated on July 4, 2018, 16:45



- Abdel-Raheem, H. A. ; Sayed, A. N. ; Gazia, N. A. ; El-Maswary, S. M. A., 2005. Evaluation of full-fat soyabeans and corn gluten meal as protein sources in broiler diets. *Assiut Vet. Med. J.*, 51 (105): 40-57
- Abdelhamid, A. M.; Kelada, I. P.; Ali, M. M.; El-Ayouty, S. A., 1992. Influence of zearalenone on some metabolic, physiological and pathological aspects of female rabbits at two different ages. *Arch. Tierernährung*, 42 (1): 63-42
- Aboozar, M.; Amanlou, H.; Aghazadeh, A. M.; Nazer-Adl, K.; Moeini, M., 2012. Impacts of fish meal and corn gluten meal on performance and body tissue mobilization of Holstein fresh cows. *Adv. Environm. Biol.*, 6 (1): 190-198
- Aksnes, A. ; Hope, B. ; Jonsson, E. ; Bjornsson, B. T. ; Albrektsen, S., 2006. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture*, 261 (1): 305-317
- Almeida, F. N. ; Petersen, G. I. ; Stein, H. H., 2011. Digestibility of amino acids in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 89 (12): 4109-4115
- Amaya, E., Davis, D. A. ; Rouse, D. B., 2007. Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 262 (2-4): 419-425
- Anderson, J. S. ; Lall, S. P. ; Anderson, D. M. ; Chandrasoma, J., 1992. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea water. *Aquaculture*, 108 (1-2): 111-124
- Anderson, P. V. ; Kerr, B. J. ; Weber, T. E. ; Ziemer, C. J. ; Shurson, G. C., 2012. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 90 (4): 1242-1254
- Annexstad, R. J.; Stern, M. D.; Otterby, D. E.; Linn, J. G.; Hansen, W. P., 1987. Extruded soybeans and corn gluten meal as supplemental protein sources for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 70 (4): 814-822
- Ao, Z. G., Chen, D. W., 2008. Recent trends of mycotoxin contamination in animal feeds and raw materials in China. *China Anim. Husb. Vet. Med.*, 1: 60
- Azevêdo, J. A. G. ; Valadares Filho S. C. ; Pina D. S. ; Valadares, R. F. D. ; Detmann, E. ; Paulino, M. F. ; Diniz L. L. ; Fernandes, H. J., 2011. Intake, total digestibility, microbial protein production, and the nitrogen balance in ruminant diets based on agricultural and agro-industrial by-products. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 63 (1): 114-123
- Azevêdo, J. A. G. ; Valadares Filho S. C. ; Detmann, E. ; Pina D. S. ; Ribeiro Pereira, L. G. ; Oliveira, K. A. M. de, Fernandes, H. J. ; Souza, N. K. de P., 2011. Prediction of digestible fractions and energy value of agriculture and agroindustrial byproducts for bovines. *Rev. Bras. Zootec.*, 40 (2): 391-402
- BeMiller, J. N.; Whistler, R. L., 2009. *Starch: Chemistry and Technology*. 3rd. ed. Academic Press, 894 p.
- Blair, R., 2008. *Nutrition and feeding of organic poultry*. Cabi Series, CABI, Wallingford, UK
- Bohnert, D. W. ; Larson, B. T. ; Bauer, M. L. ; Branco, A. F. ; McLeod, K. R. ; Harmon, D. L. ; Mitchell, G. E. Jr., 1998. Nutritional evaluation of poultry by-product meal as a protein source for ruminants: effects on performance and nutrient flow and disappearance in steers. *J. Anim. Sci.*, 76 (9): 2474-2484
- Borgeson, T. L. ; Racz, V. J. ; Wilkie, D. C. ; White, L. J. ; Drew, M. D., 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult. Nutr.*, 12 (2): 141-149
- Burr, G. S. ; Barrows, F. T. ; Gaylord, G. ; Wolters, W. R., 2011. Apparent digestibility of macro-nutrients and phos-

- phorus in plant-derived ingredients for Atlantic Salmon, *Salmo salar* and Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Aquacult. Nutr.*, 17 (5): 570-577
- Campbell, L. D. ; Jacobsen, I. ; Eggum, B. O. ; Just, A., 1983. A study of the variability of the endogenous energy output by adult roosters and a determination of the available energy of nine different feedstuffs. *J. Sci. Food Agric.*, 34: 221-226
 - Chandrasekharaiah, M. ; Sampath, K. T. ; Thulasi, A. ; Anandan, S., 2001. In situ protein degradability of certain feedstuffs in the rumen of cattle. *Indian J. Anim. Sci.*, 71 (3): 261-264
 - Chandrasekharaiah, M. ; Sampath, K. T. ; Praveen, U. S. ; Umalatha, 2002. Evaluation of chemical composition and in vitro digestibility of certain commonly used concentrate ingredients and fodder/top feeds in ruminant rations. *Indian J. Dairy Biosci.*, 13 (2): 28-35
 - Chapoutot, P., 1998. Étude de la dégradation in situ des constituants pariétaux des aliments pour ruminants. Thèse Docteur en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris (FRA), 1998/11/17.
 - Christians, N. E., 1994. Preemergence weed control using corn gluten meal: US Patent N° 34594. United State Patent and Trademark Office
 - Coimbra, J., 2001. Modern aquaculture in the coastal zone: lessons and opportunities. NATO Science Series, 314. IOS Press
 - Collins, R. M. ; Pritchard, R. H., 1992. Alternate day supplementation of corn stalk diets with soybean meal or corn gluten meal fed to ruminants. *J. Anim. Sci.*, 70 (12): 3899-3908
 - CRA, 2006. Corn wet milled feeds products. Corn Refiners Association, Washington DC, USA
 - Crawshaw, R., 2004. Co-product feeds: animal feeds from the food and drinks industries. Nottingham University Press
 - de Blas, C. ; Mateos, G. G., 2010. Feed formulation. In: Nutrition of the rabbit - 2nd edition. de Blas, C.; Wiseman, J. (Eds). CAB International, UK
 - De Gracia, M. ; Owen, F. G. ; Lowry, S. R., 1982. Corn gluten meal and blood meal mixture for dairy cows in midlactation. *J. Dairy Sci.*, 72 (11): 3064-3069
 - El-Haroun, E. R. ; Bureau, D. P., 2007. Comparison of the bioavailability of lysine in blood meals of various origins to that of L-lysine HCL for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 262 (2-4): 402-409
 - El-Husseiny, O. M., Hanafy, M. A., Radwan, M. A. H., Azouz, H. M. M., 1997. Evaluation of traditional and untraditional protein sources in rabbit diets. *Egyptian J. Anim. Prod.*, 34: 57-66
 - Erickson, G. E. ; Klopfenstein, T. J. ; Adams, D. C. ; Rasby, R. J., 2005. General overview of feeding corn milling co-products to beef cattle. In: Corn processing co-products manual: a review of current research on distillers grains and corn gluten. A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln
 - European Commission, 2007. Economic impact of unapproved GMO's on EU feed imports and livestock production. European Commission, D. G. Agric. Rur. Dev.
 - European Union, 2003. Regulation (EC) No 1829/2003 of the European Parliament and of the council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed. *Official Journal of the European Union*, L 268/1, 18.10.2003
 - Goda, A. M. A. S. ; Wafa, M. E. ; El-Haroun, E. R. ; Chowdhury, M. A. K., 2007. Growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and tilapia galilae *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758) fingerlings fed plant protein-based diets. *Aquacult. Res.*, 38 (8): 827-837
 - Gomes, E. F. ; Rema, P. ; Kaushik, S. J., 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestibility and growth performance. *Aquaculture*, 130 (2-3): 177-186
 - Guimaraes, I. G. ; Pezzato, L. E. ; Barros, M. M., 2008. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquacult. Nutr.*, 14 (5): 396-404
 - Holden, P. J. ; Zimmerman, D. R., 1991. Utilization of cereal grain by-products in finishing swine. In: Miller, E.R., Ullrey, D.E. and Lewis, A.J. (eds) *Swine Nutrition*. Butterworth-Heinemann, Burlington, Massachusetts, pp. 585-593
 - Holden, P. J. ; Zimmerman, D. R., 1991. Utilization of cereal grain by-products in finishing swine. In: Miller, E.R., Ullrey, D.E. and Lewis, A.J. (eds) *Swine Nutrition*. Butterworth-Heinemann, Burlington, Massachusetts, pp. 585-593
 - Holter, J. B. ; Hayes, H. H., 1992. Response of Holstein cows to corn gluten meal used to increase undegradable protein in early or later lactation. *J. Dairy Sci.*, 75 (6): 1495-1506
 - Iowa Renewable Fuels Association, 2011. Co-Products of the Wet Milling Industry. Iowa RFA, Ethanol co-products
 - ISI, 2008. ISI Technical memorandum on production of corn starch. International Starch Institute, Science Park Aarhus, Denmark
 - Ismail, M. ; Memon, A. ; Solangi, A. A. ; Ansari, N. N. ; Rind, M. I., 2005. Effect of different levels of maize gluten meal (60%) on growth performance of broiler chicks. *J. Anim. Vet. Adv.*, 4 (3): 377-380
 - Ji, Y. ; Zuo, L. ; Wang, F. ; Li, D. ; Lai, C., 2012. Nutritional value of 15 corn gluten meals for growing pigs: chemical composition, energy content and amino acid digestibility. *Arch. Anim. Nutr.*, 66 (4):283-302
 - Knabe, D. A. ; LaRue, D. C. ; Gregg, E. J. ; Martinez, G. M. ; Tanksley, T. D., 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 67: 441-458
 - Koprucu, K. ; Ozdemir, Y., 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250 (1-2): 308-316
 - Laudadio, V. ; Tufarelli, V., 2010. Effects of pelleted total mixed rations with different rumen degradable protein on milk yield and composition of Jonica dairy goat. *Small Rumin. Res.*, 90 (1): 47-52
 - Leeson, S. ; Summers, J.D., 2005. Commercial poultry nu-

trition. Third Edition, Nottingham University Press

- Lemme, A. ; Ravindran, V. ; Bryden, W. L., 2004. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World Poult. Sci. J.*, 60 (4): 423-437
- Lopez-Guisa, J. M. ; Satter, L. D., 1991. Effect of forage source on retention of digesta markers applied to corn gluten meal and brewers grains for heifers. *J. Dairy Sci.*, 74 (12): 4297-4304
- Macedo, L. G. P. de ; Damasceno, J. C. ; Martins, E. N. ; Macedo, V. de P. ; Santos, G. T. dos ; Falcao, A. J. da S. ; Caldas Neto, S., 2003. Substitution of soybean meal protein by corn gluten meal protein in dairy goat feeding. *Rev. Bras. Zoot.*, 32 (4): 992-1001
- Mahan, D. C., 1993. Evaluating two sources of dried whey and the effects of replacing the corn and dried whey component with corn gluten meal and lactose in the diets of weanling swine. *J. Anim. Sci.*, 71 (11): 2860-2866
- Mente, E. ; Deguara, S. ; Santos, M. B. ; Houlihan, D., 2003. White muscle free amino acid concentrations following feeding a maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 225 (1-4): 133-147
- Mezes, M., 2008. Mycotoxins and other contaminants in rabbit feeds. *Proc. 9th World Rabbit Congress*, 10-13 June 2008, Verona, Italy: 491-505.
- Milis, C. ; Liamadis, A., 2003. Effect of corn gluten meal and gluten feed on nutrient digestibility of sheep diets. *Epitheorese Zootehnikes Epistemes* (31): 47-57
- Milis, C. ; Liamadis, D. ; Karalazos, A. ; Dotas, D., 2005. Effects of main protein, non-forage fibre and forage source on digestibility, N balance and energy value of sheep rations. *Small Rumin. Res.*, 59 (1): 65-73
- Mundheim, H. ; Aksnes, A. ; Hope, B., 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture*, 237 (1-4): 315-331
- NCB (Nebraska Corn Board), 2005. *Corn Processing Co-Products Manual: a review of current research on distillers grains and corn gluten*. Nebraska Corn Board
- Ning Dong ; Guo YuMing ; Wang YongWei ; Peng YunZhi, 2013. Metabolizable energy and net energy values of cottonseed meal and corn gluten meal for laying hens by using indirect calorimetry method and regression method. *Chinese J. Anim. Nutr.*, 25 (5): 968-977
- NRC, 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th Revised Edition, Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Natural Resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
- Oil World, 2011. World supply, demand and price forecasts for oilseeds, oils and meals. *Oil World Weekly*, 24 June 2011, 54 (25): 297-308
- Pasupuleti, V. K. ; Demain, A. L., 2010. *Protein hydrolysates in biotechnology*. Springer
- Prachom, N. ; Haga, Y. ; Satoh, S., 2013. Impact of dietary high protein distillers dried grains on amino acid utilization, growth response, nutritional health status and waste output in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacult. Nutr.*, 19 (s1): 62-71
- Rabello, C. B. V. ; Silva, A. F. da ; Lima, S. B. P. de ; Pandorfi, H. ; Santos, M. J. B. dos ; Lopes, C. da C., 2012. Corn gluten meal in slow growth broiler diet. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.*, 7 (2): 367-371
- Raven, P. ; Walker, G., 1980. *Ingredients for fish feed manufacture in the United States 1/*. In: *Fish feed technology*. FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology, Washington, U.S.A., 9 October -15 December 1978
- Ravindran, V. ; Morel, P. C. H., 2006. Ileal amino acid digestibility of some novel dietary protein sources for growing chickens. *J. Sci. Food Agric.*, 86 (15): 2603-2608
- RFA, 2008. *Feeding the future: the role of the US ethanol industry in food and feed production*. Renewable Fuels Association, Washington DC, USA
- RFA, 2011. *How ethanol is made*. Renewable Fuels Association, Washington DC, USA
- Ribeiro, F. B. ; Lanna, E. A. T. ; Bomfim, M. A. D. ; Donzele, J. L. ; Quadros, M. ; Cunha, P. de S. L., 2011. True and apparent digestibility of protein and amino acids of feed in Nile tilapia. *Rev. Bras. Zootec.*, 40 (5): 939-946
- Ribeiro Filho, H. M. N. ; Giacomet, C. D. ; Dias, K. M. ; Crestani, S. ; Setelich, E. A. ; Thaler Neto, A., 2009. Corn gluten meal to dairy cows grazing Italian ryegrass. *Cienc. Rural*, 39 (4): 1162-1168
- Richert, B. T. ; Hancock, J. D. ; Morrill, J. L., 1992. Effects of wheat gluten on nursery pig performance. In: Goodband, B. ; Tokach, M. (Eds.). *Kansas State University Swine Day 1992*. n° 667: 46-50
- Rocha Junior, V. R. ; Valadares Filho, S. da C. ; Borges, A. M. ; Magalhães, K. A. ; Ferreira, C. C. B. ; Valadares, R. F. D. ; Paulino, M. F., 2003. Determination of energy value of feed for ruminants by equations system. *Rev. Bras. Zootec.*, 32 (): 473-479
- Rodrigues, I. ; Naehrer, K., 2012. Prevalence of mycotoxins in feedstuffs and feed surveyed worldwide in 2009 and 2010. *Phytopath. Medit.*, 51: 175-192
- Rojas, O. J. ; Liu, Y. ; Stein, H. H., 2013. Phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 91 (11): 5326-5335
- Sarker, P. K. ; Fournier, J. ; Boucher, E. ; Proulx, E. ; Noue, J. de la ; Vandenberg, G. W., 2011. Effects of low phosphorus ingredient combinations on weight gain, apparent digestibility coefficients, non-fecal phosphorus excretion, phosphorus retention and loading of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Anim. Feed Sci. Technol.*, 168 (3-4): 241-249
- Sauvant, D. ; Perez, J. M. ; Tran, G., 2004. *Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2ème édition*. ISBN 2738011586, 306 p. INRA Editions Versailles
- Shabir, S. ; Salim, M. ; Rashid, M., 2003. Study on the feed conversion ratio (FCR) in major carp *Cirrhinus mrigala* fed

- on sunflower meal, wheat bran and maize gluten. *Pakistan Vet. J.*, 23 (1): 1-3
- Siddaramanna; Reddy, B. S. V. ; Madhusudhan, H. S. ; Manjunatha Prabhu, B. H. ; Mohan, K. ; Jayashankar, M. R., 2009. Effect of dried brewers' grains as a source of fibre in the diet of Angora rabbits on the growth performance. *Pakistan J. Nutr.*, 8 (8): 1167-1169
 - Stock, R. A. ; Lewis, J. M. ; Klopfenstein, T. J. ; Milton, C. T., 1999. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. *Am. Soc. Anim. Sc., Proceedings of the American Society of Animal Science*, 1999: 1-12
 - Stone, D. A. J. ; Hardy, R. W. ; Barrows, F. T. ; Cheng, Z. J., 2005. Effects of extrusion on nutritional value of diets containing corn gluten meal and corn distiller's dried grain for Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Appl. Aquac.*, 17 (3): 1-20
 - Subarna, R. N. ; Chowdhury, S. D. ; Laboni, S. ; Ahmed, K. D. ; Sarkar, P. K., 2006. Use of corn gluten meal as an egg-yolk colouring agent in laying pullets. *Bangladesh Vet.*, 23 (2): 95-102
 - Tangendjaja, B. ; Wina, E., 2011. Feeding value of low and high protein dried distillers grains and corn gluten meal for layer. *Media Peternakan*, 34 (2): 133-139
 - Tibbetts, S. M. ; Milley, J. E. ; Lall, S. P., 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 261 (4): 1314-1327
 - Tran Thi Nang Thu ; Parkouda, C. ; Saeger, S. D. ; Laron-delle, Y. ; Rollin, X., 2007. Comparison of the lysine utilization efficiency in different plant protein sources supplemented with L-lysine HCl in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Aquaculture*, 272 (1-4): 477-488
 - Tudor, K. W. ; Rosati, R. R. ; O'Rourke, P. D. ; Wu, Y. V. ; Sessa, D. ; Brown, P., 1996. Technical and economical feasibility of on-farm fish feed production using fishmeal analogs. *Aquaculture Engineering*, 15 (1): 53-65
 - Volden H., 2011. *NorFor - The Nordic feed evaluation system*. EAAP Publications No 130, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 180p.
 - Voss, V. L. ; Stehr, D. ; Satter, L. D. ; Broderick, G. A., 1988. Feeding lactating dairy cows proteins resistant to ruminal degradation. *J. Dairy Sci.*, 71 (9): 2428-2439
 - Wu, Y. V. ; Rosati, R. R. ; Sessa, D. J. ; Brown, P. B., 1995. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in tilapia diets. *J. Agric. Food Chem.*, 43 (6): 1585-1588.
 - Wu, Y. V. ; Warner, K. ; Rosati, R. ; Sessa, D. J. ; Brown, P., 1996. Sensory evaluation and composition of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing protein-rich ethanol by-products from corn. *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, 5 (3): 7-16
 - Wu, Y. V. ; Rosati, R. ; Warner, K. ; Brown, P., 2000. Growth, feed conversion, protein utilization, and sensory evaluation of Nile tilapia fed diets containing corn gluten meal, full-fat soy, and synthetic amino acids. *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, 9 (1): 77-88
 - Wu, Y. V. ; Tudor, K. W. ; Brown, P. B. ; Rosati, R. R., 2000. Growth response of Tilapia fed diets rich in high-lysine corn and corn gluten. *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, 9 (2): 19-27
 - Yue Qun ; Yang HongJian ; Xie ChunYuan ; Yao XueBo ; Wang JiaQi, 2007. Estimation of protein intestinal digestibility of ruminant feedstuffs with mobile nylon bag technique and three-step in vitro procedure. *J. China Agric. Univ.*, 12: 62-66