

**Résumé des recherches scientifiques sur
l'utilisation de la Zéolite ore (Clinoptilolite)
en production porcine**

Santé et performance des porcs



*Document produit pour J.C Guilmain inc
1034, 20^e rang, Qc J0H 2E0*

J.C Guilmain inc : Importateur et distributeur de zéolite ore(Clinoptilolite)

Première Partie: Effet de la zéolite ore (clinoptilolite) sur la **santé générale** des porcs.

Zéolite ore (clinoptilolite): Produit approuvé par Santé Canada
comme antiagglomérant sous l'enregistrement 990-668

I – EFFET DE LA CLINOPTILOLITE SUR LA SANTÉ GÉNÉRALE DES PORCS

Introduction générale: L'intensification des opérations dans les fermes porcines crée de plus en plus de défis aux éleveurs. Ces défis sont relatifs au maintien des animaux en bonne santé (porcelets, porcs en engraissement...) avec une excellente qualité de la viande pour les consommateurs, à la gestion adéquate du lisier pour la réduction des émissions d'odeurs et à la protection de l'environnement et des ressources naturelles (contamination par le phosphore des sols et des cours d'eau...).

Structure géochimique et propriétés des zéolites : Parmi les 45 formes de zéolites naturelles connues, la clinoptilolite (Si-Al-Na-K-Ca hydraté) est la seule zéolite qui possède la plus forte affinité avec les ions ammonium (NH_4^+) et est aussi celle qui facilite mieux la digestion des protéines. Elle appartient à la famille des aluminosilicates dont l'utilisation ne cesse de s'élargir en alimentation animale.

Ses propriétés physico chimiques (*absorption sélective de NH_4^+ , N_2 , CO , CH_4*) sont utilisées en production porcine :

- 1) pour lutter contre la diarrhée précoce des porcelets post-sevrage, les infections dues aux toxines;
- 2) pour favoriser l'amélioration de la croissance lors de l'engraissement;
- 3) pour réduire les émissions d'odeur dans les auges et celles liées à l'épandage du lisier et;
- 4) pour apporter une solution économiquement et techniquement viable aux problèmes de contaminations des ressources naturelles au phosphore ou à l'azote.

Cette intensification est aussi corrélée à une utilisation incontrôlée de vaccins et d'antibiotiques qui, dans la plupart des cas, s'avèrent inefficaces. Dans un contexte de suppression des antibiotiques ou autres facteurs de croissance dans les aliments destinés aux porcs, des solutions alternatives sont recherchées notamment dans les aliments fournis en post-sevrage.

Ainsi, l'application empirique des zéolites naturelles dans la ration alimentaire des porcs fait place maintenant à une utilisation plus rationnelle suivant des protocoles expérimentaux rigoureux avec une meilleure compréhension de leur mécanisme d'action au niveau du tractus digestif des porcs.

Grâce à cet avancement significatif de l'état des connaissances scientifiques, la zéolite (particulièrement la clinoptilolite) est passée de son rôle initial d'additifs technologiques pour améliorer la stabilité du mélange et la qualité des granulés dans les aliments complets pour animaux (porcs) à des alternatifs aux antibiotiques.

Leurs capacités d'absorption et de désorption d'eau, d'adsorption spécifique de molécules et d'échanges d'ions ont un effet positif sur la digestion, sur la réduction de l'incidence et de la fréquence des maladies et sur la sévérité et la durée des diarrhées post-sevrage *etc.*

Mécanisme d'action et hypothèses: La particularité de la clinoptilolite réside dans sa forte capacité d'échange cationique (C.E.C.). Elle peut donc échanger les cations périphériques qui la composent par d'autres cations comme NH_4^+ , sans pour autant modifier sa structure (Mumpton et Fishman, 1977). Cette propriété de la clinoptilolite lui permettrait de capter les ions NH_4^+ produits pendant la désamination des protéines durant la phase de digestion, dans le tractus gastro-intestinal. Par cette action de filtre, la clinoptilolite réduirait le niveau d'exposition des cellules épithéliales à l'ammoniac et ainsi limiterait le turn-over de ces cellules.

1.1 Effet sur le gain d'énergie et de poids chez les porcs

Le rôle de filtre de la clinoptilolite permet la réduction de l'exposition des cellules à l'ammoniac et leur renouvellement continu. Ainsi, l'énergie économisée pour limiter ce renouvellement cellulaire serait alors directement utilisée par l'animal pour sa croissance (Veldman et Van Den Aar, 1997). Ceci est l'hypothèse avancée par Veldman et Van Den Aar expliquant l'augmentation du gain de poids des porcelets consommant un aliment enrichi en clinoptilolite.

Ce sont les travaux de Defang and Nikishov, 2009 (Tab.1) qui apportent une plus grande précision sur la proportion de clinoptilolite qui favorise le meilleur gain de poids journalier. Un ajout de 4% de clinoptilolite dans les aliments des porcs en engraissement se traduit par une augmentation du gain de poids journalier et une réduction du taux de conversion alimentaire.

Tab.1 Gain de poids de porcs en croissance nourris avec différent pourcentage de quantité de clinoptilolite dans la moulée					
PARAMETRE	DIETES				SEM
	T0	T1	T2	T3	
Age du porc à 100kg vivant en jours	231±1.25 ^a	226±0.93 ^b	221±0.74 ^b	226±0.86 ^b	22.05
Gain moyen journalier (g)	501±8.6 ^a	524±6.2 ^b	548±10.0 ^b	527±5.2 ^b	34.08
Taux de conversion alimentaire (g de moulée /g ⁻¹ de gain)	5.07± 0.098 ^a	4.78± 0.071 ^b	4.56 ±0.059 ^b	4.72 ±0.064 ^b	0.34
^{ab} signifie l'existence de différence significative (p<0.05) entre le control et les diètes T1, 2, 3 – Source : Defang and Nikishov-Livestock Reseach for Rural Development 21 (6) 2009					

En général, l'effet positif de la clinoptilolite sur la croissance des porcs est corrélé à plusieurs mécanismes dont :

- la capacité de la clinoptilolite à fixer et à éliminer les toxines (ammonium, p-crésol) dérivées de l'activité microbienne (Shurson et al., 1984; Poulsen et Oksbjerg, 1995; Papaioannou et al., 2005). Selon les auteurs, cet effet est comparable à celui des antibiotiques qui réduisent la production microbienne des ions ammonium et atténuent les dommages cellulaires au niveau de l'intestin;
- l'induction par la clinoptilolite du ralentissement du passage des aliments à travers les intestins du porc et une meilleure digestion des aliments;
- l'amélioration par la clinoptilolite de l'activité enzymatique pour favoriser l'hydrolyse des aliments.

En revanche, l'addition de la clinoptilolite dans la ration des porcs n'aurait aucun effet sur les concentrations en potassium (K), calcium (Ca), sodium (Na) et phosphore (P). Il en est de même pour les protéines sériques totales, l'albumine et la bilirubine.

1.2 Effet sur la réduction des pathologies chez les porcelets

Selon Bartko et al., 1983, l'ajout de 5% de clinoptilolite a un effet positif sur la santé des porcelets et réduit considérablement les symptômes de la diarrhée. Par ailleurs, les examens bactériologiques des fèces ne montrent pas la présence du *Vibrio dysenteriae* contrairement au groupe-témoin de porcelets dont la ration alimentaire est dépourvue de zéolite (clinoptilolite).

Ces observations ont été confirmées plus tard par Papaioannou et al., 2004 avec une alimentation enrichie avec 2% de clinoptilolite. La

clinoptilolite avait pour effet de réduire significativement la fréquence et la durée des signes cliniques de la diarrhée et de mortalité. De plus, l'effet était comparable à celui des antibiotiques ou la combinaison de la clinoptilolite et des antibiotiques.

Selon Vondruskova et al., 2010, si le dosage recommandé est respecté, la zéolite peut être un alternatif aux antibiotiques dans la prévention de la diarrhée tout en améliorant la croissance des porcelets pendant la période cruciale de sevrage.

En fait, l'amélioration des signes cliniques de la diarrhée s'explique par l'élimination de plusieurs facteurs associés à l'apparition des maladies chez le porcelet particulièrement pendant la période de sevrage. Ces facteurs incluent l'hypersensibilité intestinale liée aux antigènes d'origine alimentaire (toxines) ou aux changements induits par le sevrage à l'origine du syndrome de malabsorption causée par la réduction de l'activité des enzymes

La zéolite micronisée est constituée de 100 % de roche broyée (micronisée) par la méthode d'activation tribomécanique qui consiste à faire passer le produit entre les pales d'un rotor lancées à très grande vitesse. Ce procédé modifie notamment la taille des particules et leur potentiel d'échanges d'ions, et augmente les capacités d'adsorption et d'absorption.

(Source : TechniPorc Vol. 28, NO5 – 2005)

digestives. Cette réduction résulte d'une prédisposition des porcelets aux infections dues aux entérobactéries (Wilson et *al.*, 1989; Papaioannou, et *al.*, 2004, 2005).

Grâce à sa capacité de rétention d'eau et d'induction du retard du transit intestinal des aliments, les porcelets nourris avec une alimentation enrichie en clinoptilolite ont des fèces moins liquides comparativement au lot témoin étudiés (Vondruskova et *al.*, 2010).

En général, la capacité des zéolites à immobiliser les toxines (aflatoxines) présentes dans les aliments (Albengres et *al.*, 1985; Ma et Guo, 2008) réduit considérablement le nombre et l'activité enzymatique des microorganismes pathogènes au niveau de l'intestin des animaux (Gonzalez et *al.*, 2004; Xia et *al.* 2004, 2005; Trckova et *al.*, 2009), prévient les cas d'irritation et autres dommages cellulaires et améliore les caractéristiques morphologiques des muqueuses intestinales (Albengres et *al.*, 1985; Xia et *al.* 2004, 2005; Trckova et *al.*, 2009) favorisant ainsi la croissance et la santé des animaux.

1.3 Effet sur la réduction des émissions malodorantes dans les enclos

L'action de la clinoptilolite sur la réduction de l'émission d'ammoniac dans l'air extrait serait elle aussi imputable à sa capacité à capter les ions NH_4^+ . Les résultats d'analyses de lisier montrent une augmentation de la fraction d'azote ammoniacal dans le lisier produit par les animaux ayant consommé de la clinoptilolite.

Ceci confirme la propriété d'échange ionique de cette zéolite qui retiendrait donc l'ammoniac dans sa structure, azote que l'on retrouve ensuite dans le lisier. La réduction d'ammoniac émis serait donc liée à cette aptitude à retenir l'azote dans la clinoptilolite, limitant ainsi le pool d'ions ammonium susceptible de se volatiliser dans l'atmosphère.

Deuxième Partie: Effet de la zéolite ore (clinoptilolite) sur la **performance** des porcs.

Zéolite ore (clinoptilolite): Produit approuvé par Santé Canada comme antiagglomérant sous l'enregistrement 990-668

II - EFFET DE L'ADDITION *DIRECTE* DE CLINOPTILOLITE DANS L'ALIMENTATION SUR LA PERFORMANCE DES PORCS

2.1 Impact de la clinoptilolite sur la performance des porcs post-sevrage

Les travaux de Alexopoulos et *al.*, 2007 ont permis de montrer l'effet bénéfique de l'addition de la clinoptilolite dans la ration alimentaire des porcs sur leur performance pendant la période post sevrage. Selon les auteurs, l'addition de la clinoptilolite était non seulement bien tolérée ; mais elle se traduisait par un gain significatif du poids journalier des porcs tout au long de l'étude (jusqu'à l'abattoir).

Ces résultats confirment les travaux de Pond et *al.*, 1988 et Yannakopoulos et *al.*, 2000 qui ont respectivement utilisé des zéolites dont les teneurs en clinoptilolite étaient respectivement de 90% et 77% et des ajouts dans l'alimentation des porcs variant entre 2% et 6%. Les auteurs ont également observé une diminution du gain de poids en fonction de l'âge des porcs comme l'avaient rapporté Coffey et Pilkington, 1989 et Papaioannou et *al.*, 2004.

2.2 Effet de l'ajout de la clinoptilolite dans la ration des porcs sur la carcasse et autres organes

L'inclusion de la clinoptilolite à 3%, 4% ou 5% dans la ration alimentaire des porcs en phase de croissance ou d'engraissement a pour effet la réduction de la taille des organes internes tels le coeur, le rein et le foie. Cette réduction de la masse relative des deux organes actifs du point de vue du métabolisme (rein et foie) favorise la distribution des éléments nutritifs vers d'autres tissus pour leur développement

Des études de performance ont également permis aux auteurs de montrer l'effet bénéfique de la combinaison/compatibilité de la clinoptilolite et des molécules antimicrobiennes sur la croissance, le gain journalier de poids et la conversion alimentaire des porcs jusqu'à la finition tels qu'illustrés par les tableaux ci-dessous :

Tab 2 - Effet de la clinoptilolite et des molécules antimicrobiennes sur le poids à la fin de chaque période

Effect of Cp and AM ^A on pig body weight (mean value per pen) at the end of the different stages of growth								
Age of pigs (days)	Experimental subgroups					P-value		
	NC	ES	Cp	Cp + ES		Cp effect	AM effect	Cp-AM interaction
	n = 8	n = 4	n = 8	n = 4				
	Mean	Mean	Mean	Mean	SD			
25(±3)	6.14	6.15	6.13	6.20	0.12	0.222	0.109	0.157
70(±3)	21.69 ^c	24.69 ^a	23.98 ^b	25.21 ^a	1.50	<0.001	<0.001	0.131
112(±3)	48.17 ^c	53.72 ^a	51.60 ^b	54.94 ^a	2.90	0.001	<0.001	0.082
161(±3)	88.83 ^c	97.53 ^a	93.18 ^b	99.49 ^a	4.61	0.005	<0.001	0.248

^{a,b,c} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).
^A AM, antimicrobials (enrofloxacin and salinomycin).

Source :D.S. Papaioannou et *al.*,/ Research in Veterinary Science76 (2004) 19-29.

Tab.3 - Effet de la compatibilité de la clinoptilolite et des molécules antimicrobiennes sur les paramètres de croissance

Summary of growth performance data; effect of Cp and AM ^A on average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed conversion ratio (FCR)								
Age of pigs (days)	Experimental subgroups					P-value		
	NC	ES	Cp	Cp + ES				
	n = 8	n = 4	n = 8	n = 4	SD	Cp effect	AM effect	Cp-AM interaction
ADG (kg)								
25(±3)–70(±3)	0.338 ^c	0.403 ^{a,b}	0.388 ^b	0.412 ^a	0.032	<0.001	<0.001	0.144
71(±3)–112(±3)	0.630 ^c	0.691 ^{a,b}	0.657 ^{b,c}	0.708 ^a	0.040	0.098	<0.001	0.718
113(±3)–161(±3)	0.828 ^b	0.897 ^a	0.847 ^b	0.909 ^a	0.045	0.292	<0.001	0.804
25(±3)–161(±3)	0.603 ^c	0.667 ^a	0.635 ^b	0.680 ^a	0.033	0.045	0.000	0.211
ADFI (kg)								
25(±3)–70(±3)	0.681 ^a	0.643 ^b	0.681 ^a	0.659 ^{a,b}	0.024	0.355	0.020	0.340
71(±3)–112(±3)	1.794	1.760	1.773	1.688	0.108	0.334	0.221	0.600
113(±3)–161(±3)	2.69 ^a	2.565 ^b	2.640 ^{a,b}	2.607 ^{a,b}	0.096	0.889	0.154	0.241
25(±3)–161(±3)	1.741	1.672	1.716	1.671	0.056	0.563	0.119	0.585
FCR								
25(±3)–70(±3)	2.02 ^a	1.59 ^c	1.75 ^b	1.60 ^c	0.192	0.001	<0.001	0.001
71(±3)–112(±3)	2.84 ^a	2.55 ^{b,c}	2.69 ^{a,b}	2.38 ^c	0.220	0.028	<0.001	0.919
113(±3)–161(±3)	3.25 ^a	2.86 ^b	3.12 ^a	2.87 ^b	0.194	0.240	<0.001	0.158
25(±3)–161(±3)	2.88	2.51	2.70	2.45	0.188	0.042	<0.001	0.118

^{a,b,c} Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).
^A AM, antimicrobials (enrofloxacin and salinomycin).

La pression environnementale qui pèse sur la production porcine est de plus en plus forte tant d'un point de vue socio-économique que d'un point de vue réglementaire. La problématique des odeurs est souvent source de tensions conflictuelles entre exploitants agricole et des tiers résidents à proximité d'un site de production. Pour tenter de résoudre ce problème, beaucoup d'éleveurs mettent en place au sein de leurs élevages des traitements basés sur l'utilisation de produits de désodorisation à incorporer dans le lisier ou sous forme de traitement de l'air. La multitude des produits proposés sur le marché et l'absence d'un cadre commun de validation de l'efficacité de ces solutions rendent difficiles le choix d'un produit plutôt qu'un autre par les éleveurs.

Les récents travaux de recherche sur le traitement du lisier préconisent un traitement *en amont* en incorporant de la zéolite dans l'alimentation des porcs. Parmi les zéolites utilisées, la clinoptilolite possède la plus grande affinité pour les ions ammonium. Selon Guiguand et *al.*, 2000, l'augmentation de la matière sèche est liée à la présence de clinoptilolite dans les déjections (tab.4). De même, l'augmentation de la fraction d'azote ammoniacal illustre le phénomène de captation des ions NH_4^+ par la clinoptilolite, azote qui ne s'est pas volatilisé dans l'air sous forme d'ammoniac (confirmée par la réduction de l'émission d'ammoniac dans l'air extrait).

Ces résultats corroborent ceux de Kiriakis, 1999 dont l'étude sur 1400 porcs de 8 à 100 kg a montré une réduction de la concentration en ammoniac dans l'ambiance de 25 % dans le dernier stade de croissance, mais pas en début de période post-sevrage.

Tab. 4 - Caractéristique des lisiers prélevés en fin de post sevrage		
	Témoin	+ 2% de clinoptilolite
Matière sèche (%)	7.16	8.76
pH	7.30	7.30
Azote total (mgN/L)	6810	7070
Azote ammoniacal (mgN/L)	3084(45.3%)	4064(57.5%)

L'utilisation de la formulation appelée: ration zéolite 2 permettait une diminution des rejets d'azote de 15% et de phosphore de 22%. Ces résultats montrent un potentiel énorme de traitement des lisiers de porcs en amont en utilisant une clinoptilolite de haute qualité.

Results of metabolic cage trial					
	Control ration	Zeolite 1 ration	Zeolite 2 ration	Zeolite 3 ration	Mean standard error
Feed consumed, kg/hog/day	2.05	1.91	1.98	2.00	0.18
Weight gain, kg/day	0.65	0.61	0.63	0.62	0.03
Feed conversion, kg feed/kg weight gain	3.46	2.66	3.27	4.16	0.72
Urine, l/hog/day	2.08	1.60	1.20	1.10	0.79
Feces, kg/hog/day	0.89	0.63	0.88	1.96	0.45
Total mass of excretions, kg/hog/day	2.97	2.23	2.08	3.06	1.25
Total solids excreted, g/hog/day	279	283	337	452	59
Total volatile solids excreted, g/hog/day	197	154	204	288	47
Dry matter of excretions, %	9.4	12.7	16.2	14.8	2.2
N excreted, g/hog/day	25.7	22.9	21.4	28.2	3.8
P excreted, g/hog/day	5.39	4.68	4.19	5.53	0.8
K excreted, g/hog/day	1.33	1.53	1.47	1.56	0.3
Ca excreted, g/hog/day	5.89	5.89	5.01	5.05	0.9
Na excreted, g/hog/day	0.81	1.24	1.13	1.18	0.3
S excreted, g/hog/day	2.54	5.57	3.00	6.41	1.0
Fe excreted, g/hog/day	362	476	421	595	0.3
Volatile solids retention, g/hog/day	739	702	666	573	148
N retention, g/hog/day	23.3	24.2	24.0	14.9	4.3
P retention, g/hog/day	6.11	6.12	6.91	5.74	0.9

Note: All data is the average of six female subjects, weighing 60 ± 5 kg, per treatment or ration. None of the treatments produce significantly different results.

Références

Albengres E, Urien S, Tillement JP, Oury P, Decourt S, Flouvat B, Drieu K 1985. Interactions between smectite, a mucus stabilizer, and acidic and basic drugs – *in vitro* and *in vivo* studies. *European Journal of Clinical Pharmacology* 28, 601–605.

Alexopoulos C, Papaioannou DS, Fortomaris P, Kyriakis CS, Tserveni-Goussi A, Yannakopoulos A, Kyriakis SC 2007. Experimental study on the effect of in feed administration of a clinoptilolite-rich tuff on certain biochemical and hematological parameters of growing and fattening pigs. *Livestock Science* 111, 230–241.

Bartko P, Chabada J, Vrzgula L, Solar I, Blazovsky J (1983): The fortification of pig feed ration with zeolite in the cage rearing system (*in Czech*). *Veterinarni Medicina* 28, 429–435.

Coffey, M.T., Pilkington, D.W., 1989. Effect of feeding Zeolite-A on the performance and carcass quality of swine. *J. Anim. Sci.* 67 (Supplement2), 36 (abstract).

Defang H. F., Nikishov A.A, 2009. Effect of dietary inclusion of zeolite on performance and carcass quality of grower-finisher pigs. *Livestock Research for Rural Development* 21 (6) 2009.

Gonzalez R, De Medina FS, Martinez-Augustin O, Nieto A, Galvez J, Risco S, Zarzuelo A (2004): Anti-inflammatory effect of diosmectite in hapten-induced colitis in the rat. *British Journal of Pharmacology* 141, 951–960.

Guiguand, N., Chauvel J., Theophilou, N., 2000. Clinoptilolite et environnement Résultats d'étude en post-sevrage . *Techni Porc* Vol. 23, NO4 – 2000.

Kyriakis S.C. 1999 - An efficacy and compatibility study on the use of natural clinoptilolite as a feed additive in swine (soumis à publication)

Ma YL, Guo T 2008. Intestinal morphology, brush border and digesta enzyme activities of broilers fed on a diet containing Cu²⁺ – loaded montmorillonite. *British Poultry Science* 49, 65–73.

Mumpton F.A. and Fishman, P.H. 1977 - The application of natural zeolites in animal science and aquaculture - *Journal of Animal Science* vol 45, 5 : 1188-1203

Papaioannou, D.S., Kyriakis, C.S., Alexopoulos, C., Tzika, E.D., Polizopoulou, Z.S., Kyriakis, S.C., 2004. A field study on the effect of the dietary use of a clinoptilolite-rich tuff, alone or in combination with certain antimicrobials, on the health status and performance of weaned, growing and finishing pigs. *Res. Vet. Sci.* 76, 19–29.

Papaioannou D, Katsoulos PD, Panousis N, Karatzias H. 2005. The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: a review. *Microporous and Mesoporous Materials* 84, 161–170.

Pond, W.G., Yen, J.T., Varel, V.H., 1988. Response of growing swine to dietary copper and clinoptilolite supplementation. *Nutr. Rep. Int.* 37, 797–803.

Poulsen, H.D., Oksbjerg, N., 1995. Effects of dietary inclusion of a zeolite (clinoptilolite) on performance and protein metabolism of young growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53, 297–303.

Rodriguez-Fuentes, G., Barrios, M.A., Irairos, A., Perdomo, I., Cedre, B., 1997. Enterex: anti-diarrheic drug based on purified natural clinoptilolite. *Zeolites*. 19, 441–448.

Shurson, G.C., Ku, P.K., Miller, E.R., Yokohama, M.T., 1984. Effects of zeolite A or clinoptilolite in diets of growing swine. *J. Anim. Sci.* 59, 1536–1545.

Trckova M, Vondruskova H, Zrally Z, Alexa P, Hamrik J, Kummer V, Maskova J, Mrlik V, Krizova K, Slana I, Leva L, Pavlik I (2009): The effect of kaolin feeding on efficiency, health status and course of diarrhoeal infections caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* strains in weaned piglets. *Veterinarni Medicina* 54, 47–63.
<http://www.vri.cz/docs/vetmed/54-2-47.pdf>

Veldman A., van der Aar P.J. 1997. Effect of dietary inclusion of a natural clinoptilolite (Mannelite™) on piglet performance. *Agrobiol. Res.* 50(4), 292–294.

Vondruskova H., Slamova R., Trckova, M., Zrally, Z., Pavlik, I. 2010. Alternatives to antibiotic growth promoters in prevention of diarrhoea in weaned piglets: a review. *Veterinarni Medicina*, 55, (5): 199–224

Wilson A.D., Stokes CR, Bourne FJ 1989 Effect of age on absorption and immune-responses to weaning or introduction of novel dietary antigens in pigs. *Research in Veterinary Science* 46, 180–186.

Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R., Ye Y., Zhou Y.H., Xiong L. 2004. Effects of copper-bearing montmorillonite (Cu-MMT) on *Escherichia coli* and diarrhea on weanling pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17, 1712–1716.

Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R. (2005): Effects of copper bearing montmorillonite on the growth performance, intestinal microflora and morphology of weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 118, 307–317.

Yannakopoulos, A., Terven-Gousi, A., Kassoli-Fournaraki, A., Tsirambides, A., Michailidis, K., Filippidis, A., Lutat, U., 2000. Effects of dietary clinoptilolite-rich tuff on the performance of growing-finishing pigs. In: Coela, C., Mumpton, F.A. (Eds.), *Natural Zeolites for the Third Millennium*. De Frede Editore, Napoli, Italy, pp. 471–481