

**ЕФЕКТ ОТ ПРИЛАГАНЕТО НА ЕСТЕСТВЕН ЗЕОЛИТ (КЛИНОПТИЛОЛИТ) ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕНИ УСЛОВИЯ ВЪРХУ СТОЙНОСТИТЕ НА рН, ВЛАГА И NH₄⁺ -N НА
ТОРОВА ПОСТЕЛЯ ОТ МЛЕЧНИ ОВЦЕ И ГОВЕДА**

Васил Василев, Стайка Лалева, Величка Котева, Иван Димитров
Земеделски институт – Стара Загора

**EFFECT OF THE APPLICATION OF NATURAL ZEOLITE (CLINOPTILOLITE) ON THE
VALUES OF pH, MOISTURE AND NH₄⁺ -N IN DAIRY SHEEP AND CATTLE MANURE
LITTER IN PRACTICAL CONDITIONS**

Vasil Vasilev, Staika Laleva, Velichka Koteva, Ivan Dimitrov
Agricultural Institute, 6000 Stara Zagora, Bulgaria
e-mail: vsvqualitet@abv.bg

ABSTRACT

The aim of the study was to investigate the effect of application of natural zeolite (clinoptilolite) under production conditions on the pH, moisture and NH₄⁺ -N values of dairy sheep and cattle manure litter. The experiments have been carried out at the Sheep and Cattle Farm of the Agricultural Institute - Stara Zagora for a period of 55 and 54 days respectively. It was established that the application of adsorbent (zeolite clinoptilolite) to dairy sheep increased the pH value of manure with 0.05 pH units at low level of significance (P<0.05), while in dairy cows decreased the value by 0.13 pH units at low level of significance (P<0.05). Zeolite reduced moisture in the litter by 10.9% in dairy sheep (P<0.001) and slightly by 3.3% in dairy cows (P=0.157). The application of zeolite clinoptilolite (a total of 7.5% of manure weight) resulted in a measurable reduction of NH₄⁺ -N in the litter by 7% in dairy sheep (P<0.01) and 27.5% in dairy cows (P<0.05). Results were obtained after correction of the analytical data. The concentration of NH₄⁺ -N in the dairy cow manure was almost 55% lower than that for dairy sheep, and this could explain the greater measurable reduction of NH₄⁺ -N in cows, with the same amount of zeolite applied in both experiments.

Key words: dairy sheep and cattle, manure litter, treatment, zeolite clinoptilolite

Въведение

Намаляването на загубите на азот от изпарение на амоняк (NH₃) от животинския тор би довело до значителни положителни ефекти, свързани с подобряване на качеството на въздуха в сградите за отглеждане на животните и около животновъдните обекти, намаляване на отрицателното въздействие върху околната среда (формиране на фини частици в атмосферата, еутрофикация и киселяване на екосистемите и др.), подобряване на агрономичните ползи от оборския тор при използването му за наторяване на земеделски култури, подобряване на здравния статус, продуктивността и благополучието на селскостопанските животни.

Един от подходите за редуциране на летливия азот е третирането на оборския тор с адсорбенти като естествения зеолит (клиноптилолит), който адсорбира амоняка и миризмите преди да бъдат освободени в околната среда.

Зеолитите са кристални, хидратни алумосиликати на алкални и алкалоземни катиони, имащи неограничени триизмерни структури. Те допълнително се характеризират със способността да губят и получават вода обратимо и да обменят съставни катиони без съществена промяна на структурата (Mumpton and Fishman, 1977). Има повече от 50 различни типа естествени (природни) зеолити, всеки с уникална кристална структура. Видовете се различават по селективност към различни катиони, като един от видовете, клиноптилолит, има специфичен афинитет за NH₄⁺ йони (Beck, 1974; Barbarick and Pirela, 1984; Bernal and Lopez-Real, 1993; Komarowski and Yu, 1997) и добри газ-адсорбиращи свойства, дължащи се на

неговата поръзност и високо съотношение повърхност към обем (Lin, 2014).

Nakaue et al. (1981) оценят клиноптилолита като добавка за постелята на бройлери при ниво на прилагане 5 kg/m^2 и резултатите са показали редуциране на концентрациите на NH_3 с до 35%, докато в проучване на Amon et al. (1997) прилагането на 1.6 kg/m^2 клиноптилолит при постелята от бройлери повишава емитирания NH_3 в третираното помещение с 50%. Авторите обясняват този ефект с по-високата стойност на рН на третираната постелята. В опит на Karamanlis et al. (2008) с бройлери клиноптилолит е добавен както към храната, така и върху постелята от дървени стърготини (2 kg/m^2). Темповете на растеж са по-високи за третираните групи. Най-ниската стойност на амонячен азот в постелята е установена при групата с добавка на клиноптилолит към храната и постелята. Концентрацията на NH_3 е най-ниска при групите в които зеолита е добавен към постелята.

Целта на изследването беше да се установи ефекта от прилагането на естествен зеолит (клиноптилолит) при производствени условия върху стойностите на рН, влага и $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ на торова постелята от млечни овце и говеда.

Материал и методи

Описание на използвания адсорбент

Използваният адсорбент е зеолит клиноптилолит (ЗК) от вулканогенно-седиментното находище „Бели Пласт“ в Източните Родопи, Южна България. Според Сертификат No.5/9.03.2016 от производителя („Имерис Минералс България“ АД, гр. Кърджали) зеолитът има следните характеристики: 85% клиноптилолит, 10.2% влага, йонообменен капацитет 172 mgeq/100g и фракция (размер на частиците) 0.15 mm .

Условия и методика на опита с млечни овце

Опитът беше проведен в овцевъдната ферма на Земеделски институт – Стара Загора при овце от Синтетична популация българска млечна (СПБМ) в периода 11.03. - 4.05.2016г. (общо 55 дни, до вземане на последната проба). Производствената сграда е със земна основа и е разделена на боксове за различните категории животни. Пълно почистване и изнасяне на тора от сградата е извършено 4-5 месеца преди началото на експеримента. За целите на опита беше избрано пространство със 110 броя дойни овце при гъстота на настаняване 0.6 бр./m^2 , и този брой животни се запази до края на опита. След 10-ия ден овцете започнаха да излизат активно на паша. Приблизителното количество тор в сградата беше 40 kg/m^2 при първоначална влага 71.4%. Третирането със ЗК беше извършено на тегловна база при ниво 7.5% от теглото на тора (75 g ЗК/kg тор) общо за целия опит. Това количество ЗК беше разпределено както следва: 1% (10 g/kg) на 1-ия ден, 2.5% (25 g/kg) на 15-ия ден и 4% (40 g/kg) на 34-ия ден от опита. Средни проби за анализ (от най-малко 20 точки) бяха взети от торовата постелята на 5-, 8-, 12-, 19-, 22-, 26-, 33-, 40-, 43-, 47- и 55-ия ден от опита.

Условия и методика на опита с млечни говеда

Опитът беше проведен в говедовъдната ферма на Земеделски институт – Стара Загора при смесена група от 25 животни (Българско кафяво говедо и Черношарено говедо) в периода 11.03. - 3.05.2016г. (общо 54 дни, до вземане на последната проба). Животните имаха свободен достъп до помещението и през по-голямата част от деня се хранеха на открита площадка с целодажбена смеска и на пасище в близост до сградата. Помещението е с бетонен под и е разделено от централен коридор на две успоредни и еднакви по площ торови пътеки и беше почиствено 2 седмици преди започване на опита. Първото третиране със ЗК беше извършено при наличие на приблизително количество тор 20 kg/m^2 с първоначална влага 68.6%. ЗК беше приложен при ниво 7.5% (на база тегло) и разпределен както следва: 1% на 1-ия ден, 2.5% на

15-ия ден и 4% на 36-ия ден от опита. Средни проби за анализ (от най-малко 20 точки) бяха взети от торовата постеля на 5-, 12-, 15-, 22-, 29-, 36-, 43- и 54-ти ден от опита.

Лабораторни анализи

Анализите на рН, влага и амониев азот бяха извършвани непосредствено след вземане на пробите в лабораторията на Земеделски институт – Стара Загора.

Определянето на стойностите на рН на торовата постеля беше извършено след разреждане в съотношение 1 : 2.5 на проби от 10g с 25 ml дейонизирана вода. Разредената проба се хомогенизираше и се оставяше да стабилизира за 1h. Измерването беше извършвано с рН-метър LaMotte – рН 5 PLUS (LaMotte Company, Chestertown, Maryland 21620 USA).

Определянето на процента влага в торовата постеля беше извършено по тегловния метод чрез изсушаване на проби от 30-50g в сушилня при температура 59°C за най-малко 24h до постоянно тегло.

Концентрациите на амониев азот (NH_4^+ -N) в пробите торова постеля бяха определени колориметрично след екстракция с разтвор на 2N KCl за 30 min, центрофугиране за 10-15 min и филтруване. Амонияният комплекс във филтратата се оцветява с реагент на Неслер в пропорции и количества съответстващи на амоняка, съдържащ се в пробата (Nesslerization method). Определянето на концентрацията на NH_4^+ -N беше извършено чрез SMART3 Colorimeter (LaMotte Company, Chestertown, Maryland 21620 USA).

Статистическа обработка на експерименталните данни

Статистическата обработка на данните беше извършена чрез MYSTAT 12 (SYSTAT Software, Inc., 2007).

Резултати и обсъждане

В таблица 1 са представени параметрите на получените резултати от третирането със зеолит клиноптилолит (ЗК) на торова постеля (ТП) от млечни овце СПБМ. Средната стойност на рН на третираната ТП (фиг. 1a) е по-висока с 0.05 рН-единици от тази на контролата (8.89±0.09 и 8.84±0.1, съответно за опитните (ОП) и контролните проби (КП)), като разликата е с ниско ниво на значимост ($P<0.05$). Повишаване на стойностите на рН на торова постеля от бройлери е установено от Amon et al. (1997), докато в други проучвания зеолитът няма значим ефект върху рН на тора (Mahimairaja, 1993; Lefcourt and Meisinger, 2001; Lin, 2014).

Прилагането на ЗК намалява влагата в ТП от млечни овце значимо ($P<0.001$) с 10.9% средно за опитния период. Влагата в постелята е със средна стойност 57.22±5.09% за ОП и 64.22±3.31% за КП. В проучвания с прилагане на клиноптилолит при бройлери също е отчетена редукция на влагата в торовата постеля (Eleroğlu and Yalçın, 2005; Karamanlis et al., 2008).

Съдържанието на амониев азот (NH_4^+ -N) е средно 1537.2±316 mg/kg за ОП и 1668.6±445 mg/kg за КП, което представлява измерима редукция на NH_4^+ -N в третираната ТП със 7.88% (-131.4 mg/kg) спрямо контролата. Редукцията се дължи на свързване на амониевите катиони в структурата на клиноптилолита, но разликата не е статистически значима ($P=0.173$). До 12-ия ден от опита (фиг. 2a) има значима ($P<0.01$) измерима редукция на NH_4^+ -N при третираната ТП средно със 7.16% (-96.7±10.4 mg/kg) при ниво на приложения ЗК 1%. На 19- и 22-ия ден се отчита допълнително екстрахиран NH_4^+ -N от опитните проби, което може да се дължи на десорбция на NH_4^+ йони от структурата на клиноптилолита чрез заместването им с K^+ йони при екстракцията с KCl. Може да се предположи, че десорбцията се случва след пълното насищане на клиноптилолита с NH_4^+ -N, което зависи от максималния му адсорбционен капацитет за NH_4^+ йони. Следователно, измеримите редукции на NH_4^+ -N след екстракция с KCl не отразяват

максималния капацитет на зеолита. Witter and Lopez-Real (1987) показват, че зеолитът може да отдели повече NH_3 след като се насити. В лабораторно изследване на Li et al. (2006) за 14 дни с пресен тор от кокошки-носачки, повърхностно приложеният зеолит при нива 5% и 10% от теглото на тора води до значително по-ниска емисия на NH_3 за целия период, докато при ниво на зеолита 2.5% емисията е по-ниска само за първите 7 дни. В друго подобно изследване (Lin, 2014) зеолитът е приложен при три нива (366, 732 и 1465 g/m^2) върху прясна торова постеля от бройлери като източник на NH_3 . И трите нива на зеолита показват редукия на NH_3 през първата седмица спрямо контролата, като високото ниво е със значително по-висока редукия от средното и ниското ниво. След една седмица от прилагането на зеолита, няма различия между трите нива и контролата. Kitsopoulos (1999) при изследване на обменния капацитет за NH_4^+ на зеолита препоръчва период за насищане от 12 дни. В това проучване е наблюдавано активно отделяне на катиони от зеолита дори след 5 дни в процеса на насищането му с амониев ацетат.

Таблица 1. Основни статистически параметри на изследваните признаци на нетретирана (контрола) и третирана със зеолит (клиноптилолит) торова постеля от млечни овце СПБМ

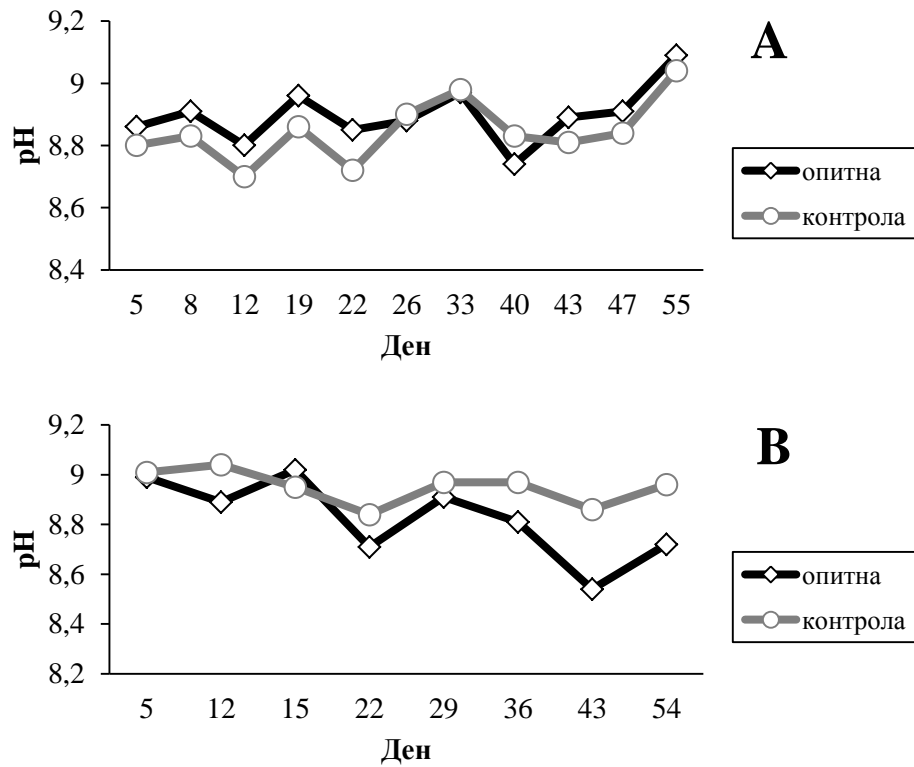
Анализирани показатели	Проба (n)	Статистически параметри			
		$\bar{x} \pm SD$	min - max	CV, %	P
рН (H_2O)	О (11)	8.89±0.09	8.74 – 9.09	1.0	*
	К (11)	8.84±0.1	8.7 – 9.04	1.1	
Влага (%)	О (11)	57.22±5.09	49.31 – 66.66	8.9	***
	К (11)	64.22±3.31	57.74 – 69.69	5.2	
NH_4^+ -N (mg/kg)	О (11)	1537.2±316	1082.5 - 2245	20.6	n.s. P=0.173
	К (11)	1668.6±445	1187.5 - 2662	26.7	

О = опитна проба; К = контрола; * - $P < 0.05$; *** - $P < 0.001$

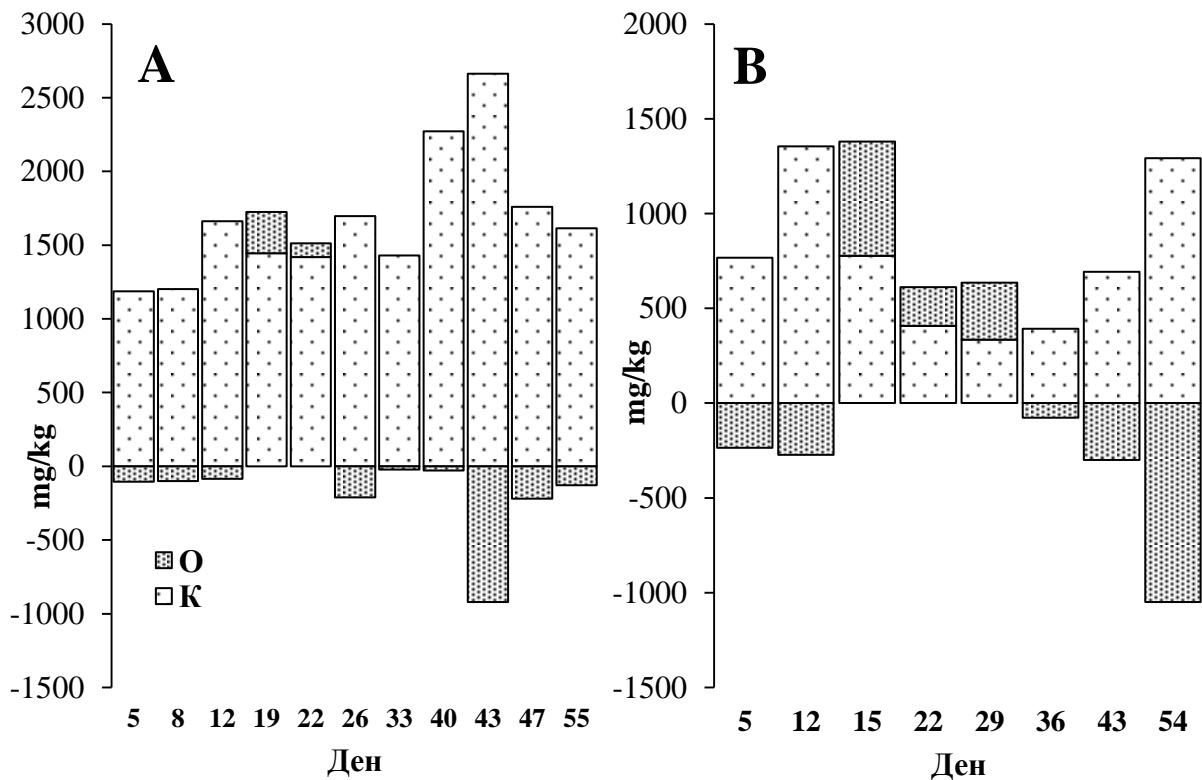
С цел да се екстрахира целия адсорбиран NH_4^+ -N от наситения зеолит са извършвани удължени (многократни) екстракции с KCl в лабораторни експерименти с птичи тор (Witter and Kirchmann, 1989; Mahimairaja, 1993) и полутечен тор от млечни крави (Lefcourt and Meisinger, 2001). Kithome et al. (1998) представят подробни данни за кинетиката на адсорбция и десорбция на NH_4^+ -N от зеолита, които показват че скоростта на адсорбция е повлияна от концентрацията на NH_4^+ -N в разтвора и рН. Десорбцията е завършена за 150 min при ниска начална концентрация на NH_4^+ -N и за 200 min при висока начална концентрация на NH_4^+ -N.

Измеримите редуки на NH_4^+ -N в опитните проби при настоящото изследване показват, че част от NH_4^+ -N остава свързан и не се отделя при екстракцията с KCl за 30 min. След изключване от статистическия анализ на най-вариабилната редукия на 43-ия ден (фиг. 2а) и случаите на допълнително екстрахиран NH_4^+ -N (19- и 22-ия ден) се установява достоверна

($P < 0.01$) редуция на $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ в третираната с клиноптилолит торова постеля от млечни овце средно със 7% ($-112.2 \pm 73.3 \text{ mg/kg}$) спрямо контролата, при норма на приложения зеолит 7.5% (тегловно) общо за целия експеримент.



Фигура 1. Динамика на стойностите на рН на нетретирана (контрола) и третирана със зеолит (клиноптилолит) торова постеля от млечни овце (А) и млечни говеда (В)



Фигура 2. Измерима редукция на $NH_4^+ -N$ и допълнително екстрахиран $NH_4^+ -N$ при третирана със зеолит (клиноптилолит) торова постеля от млечни овце (A) и млечни говеда (B), представени като разлика от контролата (+/- mg/kg); O – опитна проба, K - контрола

В таблица 2 са представени статистическите параметри на получените резултати от третирането със ЗК на торова постеля от млечни говеда. В контраст с резултатите при млечните овце, в този опит се установява понижаване на стойността на рН на третираната ТП (8.82 ± 0.16) средно с 0.13 рН-единици спрямо тази на нетретираната контрола (8.95 ± 0.06), като разликата между средните стойности е с ниска степен на значимост ($P < 0.05$). Динамиката на рН за експерименталния период е отразена на фиг. 1b. Варирането на стойността на рН е по-високо за третирания тор ($CV=1.8\%$), сравнено с нетретирания ($CV=0.8\%$).

Резултатите са съпоставими с получените от Renev (2013) при лабораторно проучване с полутечен говежди тор третиран с две нива на зеолит (5% и 10%), в което пробите със зеолит показват по-ниско рН от контролните, но все пак над 8.5. Зеолита показва тенденция за подобър контрол на рН при по-високата концентрация. В други лабораторни проучвания зеолитът значително понижава рН на тора. Wheeler et al. (2011) отчитат редукция с 0.53 рН-единици след съхранение за 30 дни на полутечен тор от млечни говеда. Sheng et al. (2015) съобщават за редукция на рН с над 1.0 рН-единици при торова постеля от бройлери, без значима разлика между двете нива на приложения зеолит (10% и 20%).

Прилагането на ЗК при млечните говеда води до по-незначително намаляване на влагата в ТП средно с 3.3% спрямо контролата ($P=0.157$). Процентното съдържание на влага средно за опитния период е $57.58 \pm 6.93\%$ за ОП и $59.55 \pm 5.12\%$ за КП.

Таблица 2. Основни статистически параметри на изследваните признаци на

нетретирана (контрола) и третирана със зеолит (клиноптилолит) торова постеля от млечни говеда

Анализирани показатели	Проба (n)	Статистически параметри			
		$\bar{x} \pm SD$	min - max	CV, %	P
pH (H ₂ O)	O (8)	8.82±0.16	8.54 – 9.02	1.8	*
	K (8)	8.95±0.06	8.84 – 9.04	0.8	
Влага (%)	O (8)	57.58±6.93	44.73 – 67.74	12.0	n.s.
	K (8)	59.55±5.12	54.68 – 68.57	8.6	P=0.157
NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	O (8)	649±392.7	242.5 - 1380	60.5	n.s.
	K (8)	752.5±393.1	335 - 1355	52.2	

O = опитна проба; K = контрола; * - P<0.05

Съдържанието на амониев азот (NH₄⁺-N) е 649±392.7 mg/kg за ОП и 752.5±393.1 mg/kg за КП средно за опитния период, което представлява измерима редукция на NH₄⁺-N в третираната със ЗК торова постеля от говеда с 13.7% (-103.5 mg/kg). Както при млечните овце, и в този опит до 12-ия ден има значима (P<0.05) измерима редукция на NH₄⁺-N при третираната ТП средно с 23.91% (-253.7±26.5 mg/kg) при ниво на приложения ЗК 1%. Допълнително екстрахиран NH₄⁺-N от опитните проби е измерен на 15-, 22- и 29-ия ден (фиг. 2b).

След изключване от статистическия анализ на най-вариабилната редукция на 54-ия ден и случаите на допълнително екстрахиран NH₄⁺-N (15-, 22- и 29-ия ден) се установява достоверна (P<0.05) редукция на NH₄⁺-N в третираната със ЗК торова постеля от млечни говеда средно с 27.5% (-221.2±99.4 mg/kg) спрямо контролата, при норма на приложения зеолит 7.5% (тегловно) общо за целия експеримент.

Изводи

Прилагането на адсорбент (зеолит клиноптилолит) при млечните овце повишава стойността на рН на торовата постеля с 0.05 рН-единици при ниско ниво на значимост (P<0.05), докато при млечните говеда понижава стойността с 0.13 рН-единици при ниско ниво на значимост (P<0.05).

Зеолитът редуцира влагата в торовата постеля с 10.9% при млечните овце (P<0.001) и незначително с 3.3% при млечните говеда (P=0.157).

Прилагането на зеолит клиноптилолит (общо 7.5% от теглото на тора) води до измерима редукция на NH₄⁺-N в торовата постеля със 7% при млечните овце (P<0.01) и с 27.5% при млечните говеда (P<0.05), като тези резултати са получени след корекция на аналитичните данни. Концентрацията на NH₄⁺-N в тора от говедата е с почти 55% по-ниска от тази при овцете и това може да обясни по-голямата измерима редукция на NH₄⁺-N при говедата, при еднакво количество приложен зеолит в двата опита.

Литература

1. Amon, M., M. Dobeic, R. W. Sneath, V. R. Phillips, T. H. Misselbrook, B. F. Pain, 1997. A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and de-odorase® for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresource Technology* 61: 229-237.
2. Barbarick, K. A., H. J. Pirela, 1984. Agronomic and horticultural use of zeolites: A review. P. 93-103, 257-262. In: W. G. Pond and F. A. Mumpton (ed.) *Zeo-agriculture: Use of natural zeolites in agriculture and aquaculture*. Westview Press, Boulder, CO.
3. Beck, D. W., 1974. *Molecular sieves structure. Chemistry and use*. John Wiley and Sons, London.
4. Bernal, M. P., J. M. Lopez-Real, 1993. Natural zeolites and sepiolite as ammonium and ammonia adsorbent materials. *Bioresource Technology* 43(1): 27-33.
5. Eleroğlu, H., H. Yalçın, 2005. Use of natural zeolite-supplemented litter increased broiler production. *South African Journal of Animal Science* 35(2): 90-97.
6. Karamanlis, X., P. Fortomaris, G. Arsenos, I. Dosis, D. Papaioannou, C. Batzios, A. Kamarianos, 2008. The effect of a natural zeolite (clinoptilolite) on the performance of broiler chickens and the quality of their litter. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, Vol. 21, No. 11: 1642-1650.
7. Kithome, M., J. W. Paul, L. M. Lavkulich, A. A. Bomke, 1998. Kinetics of ammonium adsorption and desorption by the natural zeolite clinoptilolite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 622-629.
8. Kitsopoulos, K. P., 1999. Cation-exchange capacity (CEC) of zeolitic volcanoclastic materials: applicability of the ammonium acetate saturation (AMAS) method. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 47, No. 6, 688-696.
9. Komarowski, S., Q. Yu, 1997. Ammonium ion removal from wastewater using Australian natural zeolite: Batch equilibrium and kinetic studies. *Environ. Technol.* 18: 1085-1097.
10. Lefcourt, A. M., J. J. Meisinger, 2001. Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition. *J. Dairy. Sci.* 84:1814-1821.
11. Li, H., H. Xin, R. T. Burns, 2006. Reduction of ammonia emission from stored poultry manure using additives: zeolite, Al+ clear, Ferix-3, and PLT. ASAE Paper No. 064188, ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon.
12. Lin, C., 2014. Mitigating ammonia emission from broilers with frequent litter amendment application. A thesis submitted to the Faculty of the University of Delaware in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Civil Engineering.
13. Mahimairaja, S., 1993. An investigation of composting poultry manure in relation to nitrogen conservation and phosphate rock dissolution. A thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Soil Science at Massey University.
14. Mumpton, F. A., P. H. Fishman, 1977. The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *Journal of Animal Science*, 45(5): 1188-1203.
15. Nakaue, H. S., J. K. Koelliker, M. L. Pierson, 1981. Studies with clinoptilolite in poultry: II. Effect of feeding broilers and the direct application of clinoptilolite zeolite on clean and reused broiler litter on broiler performance and house environment. *Poul. Sci.* 60:1221-1228.
16. Penev, T., 2013. Comparative analysis of zeolite and phosphogypsum use for cattle manure pH and ammonia emissions control. *Science and Technologies*, Vol. III, Number 2, Nautical and Environmental studies, 30-35.
17. Sheng, J., A. Adeli, D. M. Miles, 2015. Effects of N and P immobilizing agents on ammonia emissions and nutrient contents of broiler litter. *JSM Environ. Sci. Ecol.* 3(2): 1017.
18. Wheeler, E. F., M. Arlene, A. Adviento-Borbe, R. C. Brandt, P. A. Topper, D. A. Topper, H. A.

Science & Technologies

- Elliot, R. E. Graves, A. N. Hristov, V. A. Ishler, M. A. V. Burns, 2011. Evaluation of odor emissions from amended dairy manure: preliminary screening. *Agric Eng Int: CIGR Journal* 13(2): 1-15.
19. Witter, E., H. Kirchmann, 1989. Peat, zeolite and basalt as adsorbents of $\text{NH}_3\text{-N}$ during manure decomposition. *Plant and Soil*. 115(1): 43-52.
 20. Witter, E., J. Lopez-Real, 1987. Nitrogen losses during the composting of sewage sludge, and the effectiveness of clay soil, zeolite, and compost in adsorbing the volatilized ammonia. *Biological Wastes*. 23(4): 279-294.