

DOI 10.25741/2413-287X-2021-09-4-148

УДК 636.22/.28.087.8:579.8+636.22/.28.084.1

# КЛИНОПТИЛОЛИТ В КОРМЛЕНИИ СВИНЕЙ

**А. ЗЕЛЕНЧЕНКОВА; Р. НЕКРАСОВ, М. ЧАБАЕВ**, доктора с.-х. наук, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста  
**Н. ГОГИНА**, канд. с.-х. наук, **А. ШЕВЯКОВ**, канд. биол. наук, ФНЦ «ВНИТИП» РАН  
**Ч. ТУЛУНАЙ**, компания Gordes Zeolit Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Турция  
E-mail: nek\_roman@mail.ru

*Добавление клиноптилолита в количестве 0,4 кг, 1,0 и 2,0 кг на 1 т комбикорма способствует адсорбции микотоксинов афлатоксина и охратоксина А. Ввод в состав полнорационных комбикормов для молодняка свиней 0,4–2,0% клиноптилолита в период откорма повышает интенсивность роста животных при снижении затрат кормов на единицу продукции.*

Ключевые слова: клиноптилолит, микотоксины, свиньи, среднесуточный прирост, эффективность.

*The addition of clinoptilolite in the amount of 0.4; 1.0; 2.0 kg / ton of feed promotes the adsorption of aflatoxin and ochratoxin A. The introduction of clinoptilolite in the amount of 0.4–2.0% into the composition of complete compound feeds for young pigs during the fattening period increases the growth rate of animals while reducing feed costs per unit of production.*

Keywords: clinoptilolite, mycotoxins, pigs, average daily gain, efficiency.

Клиноптилолит — это природный цеолитный алюмосиликатный минерал, который относится к группе гейландитов, с более высоким отношением кремния к алюминию в пользу первого, где  $Si / Al > 4,0$  и  $(Na + K) > (Ca + Sr + Ba)$  [1, 2]. Применяется он в качестве адсорбента, ионообменника и катализатора, а также для селективной сорбции аммиака, сероводорода, углекислого газа, метана, некоторых других углеводородов. Благодаря таким свойствам клиноптилолит при скармливании животным способствует их устойчивости к неблагоприятным эндо- и экзогенным факторам, что повышает приросты живой массы и профилактирует заболевания, вызванные в том числе микотоксинами [3].

Традиционно во многих частях мира регулируют содержание в кормах следующих микотоксинов: афлатоксина В1 (AFB1), дезоксиниваленола (DON), охратоксина А (ОТА), зеараленона (ZEN), фумонизина В1 (FB1) и трихотеценов А — Т-2 и НТ-2 [4]. Клиноптилолит имеет высокие индексы (более 80%) адсорбции *in vitro* для афлатоксинов В1 и G2, и процесс адсорбции начинается с быстрой реакции, в результате чего большая часть токсина адсорбируется в течение первых нескольких минут [5]. Напротив, Lemke и соавт. провели ряд исследований адсорбции *in vitro* и сообщили об ограниченной способности клиноптилолита связывать афлатоксин В1 эффективно [6]. По их мнению, адсорбирующие материалы следует проверять с помощью многоуровневой системы тестов *in vitro*, чтобы исключить потенциальные интерактивные факторы, такие как физико-химические параметры кишечника и компоненты корма. Исследования показали, что удержание афлатоксина в природных цеолитах составляет в среднем 60% [6, 7].

Минеральные адсорбенты обладают меньшей действенностью против микотоксинов, содержащих менее полярные функциональные группы, которые необходимы для эффективной хемосорбции на гидрофильных отрицатель-

но заряженных минеральных поверхностях. Это ограничение можно преодолеть путем применения химически модифицированных глин [7].

В наших исследованиях в качестве исходного материала использовался природный цеолитовый туф производства турецкой компании Gordes Zeolite. Минеральная кормовая добавка имеет неопределенный запах, серый цвет, агрегатное состояние — порошок, pH 6,5–8,0. По данным анализа РКФА, в ее состав входят клиноптилолит (44–50%), морденит (5–8%), кварц (2,5–4%), опал-кристобалит (30–32%), калиевый полевошпат (2–3%), монтмориллонит (7–9%), мусковит (1%). Уровень содержания радионуклидов не превышает допустимых уровней.

В ФНЦ «ВНИТИП» РАН была определена истинная сорбционная емкость данной кормовой добавки к микотоксинам. Для проведения биохимического анализа цеолитового туфа применяли хромато-масс-спектрометр, в комплектацию которого входят: жидкостной хроматограф Agilent Infinity 1260 LC Systems и масс-спектрометр AB SCIEX Triple Quad™ 5500; pH-метр ЭВ-74; весы Сартогосм CE6 12-С; автоматические дозаторы Sartorius; шейкер IKA Vortex Genius 3; ротерный орбитальный шейкер Biosan PSU-20i; система очистки воды Millipore; термостат суховоздушный ТВ-80-1; магнитная мешалка ПЭ-6 100. Для приготовления рабочих растворов токсинов использовали стандартные растворы микотоксинов с высокой концентрацией (производства Romer Labs®, Австрия). Кормовую добавку добавляли в количестве 0,04%, 0,1 и 0,2% веса к объему раствора, что соответствует 0,4 кг, 1,0 и 2,0 кг в 1 т корма.

Истинную сорбционную емкость клиноптилолита определяли по разности между адсорбцией и десорбцией микотоксинов из растворов. Методика определения истинной сорбционной емкости разработана в соответствии с данными, приводимыми разными авторами в научных публикациях.

Адсорбция вычисляется по формуле:

$$A = 100 \cdot (C_{p.p.} - A_{u.p.}) / C_{p.p.},$$

где  $A$  — адсорбция, %;

$C_{p.p.}$  — значение концентрации микотоксина в исходном рабочем растворе, мкг / кг;

$A_{u.p.}$  — значение концентрации микотоксина в рабочем растворе после инкубации в кислой среде, мкг / кг.

Десорбция вычисляется по формуле:

$$D = 100 \cdot D_{u.p.} / C_{p.p.}$$

где  $D$  — десорбция, %;

$C_{p.p.}$  — значение концентрации микотоксина в исходном рабочем растворе, мкг / кг;

$D_{u.p.}$  — значение концентрации микотоксина в рабочем растворе после инкубации в щелочной среде, мкг / кг.

Адсорбция микотоксинов проводилась в течение 1 ч при температуре 37°C и pH 3,5, имитируя условия желудка. Десорбция — в течение 3 ч при температуре 37°C и pH 7,4, имитируя условия кишечника. Пробы отбирались через 1 ч после адсорбции и через 3 ч после десорбции. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Наши данные мы сравнили с данными TRILOGI Analytical Laboratory (США) и Instituto Samitek (Бразилия), представленными фирмой-производителем исследуемой минеральной кормовой добавки Gordes Zeolite. Разница в методиках проведения исследования состояла в следующем: в дозировке сорбента — больше на 60%; во времени адсорбции — 1 ч в лаборатория биохимического анализа ФНЦ «ВНИТИП» против 3 ч в TRILOGI Analytical Laboratory; в значениях pH адсорбции и десорбции — 3,5 и 7,4 ед. в лаборатории ФНЦ «ВНИТИП», 3,0 и 6,5 ед. в TRILOGI Analytical Laboratory, 3,0 и 6,0 ед. в Instituto Samitek. Вы-

числение эффективности, или истинной сорбционной емкости, во всех лабораториях было одинаковым.

Учитывая перечисленные выше факторы, резюмируем, что результаты исследования по афлатоксину В1 и дезоксиниваленолу идентичны. В случае с охратоксином А данные лабораторий несколько отличаются. Исследования, проведенные в лаборатории Instituto Samitek, показали, что истинная сорбционная емкость клиноптилолита по отношению к охратоксину А составила 29,04%. По данным лаборатории биохимического анализа ФНЦ «ВНИТИП» РАН, этот показатель составил от 3 до 6%. Очевидно, расхождения связаны с увеличением времени инкубации и дозировки кормовой добавки при исследованиях в бразильской лаборатории.

Сотрудниками отдела кормления сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста был проведен физиологический опыт на молодняке свиней в период откорма с целью изучения эффек-

Таблица 1. Эффективность сорбции клиноптилолитом микотоксинов

TRILOGI Analytical Laboratory			ФНЦ «ВНИТИП» РАН		
<i>Афлатоксин В1</i>					
Показатель	Доза адсорбента	Значение, %	Показатель	Доза адсорбента	Значение, %
Адсорбция (pH 3,0)	0,2 кг/т	99,9	Адсорбция (pH 3,5)	0,4 кг/т 1,0 кг/т 2,0 кг/т	100 100 100
Десорбция (pH 6,5)	0,2 кг/т	0,1	Десорбция (pH 7,4)	0,4 кг/т 1,0 кг/т 2,0 кг/т	0 0 0
Истинная сорбция	0,2 кг/т	99,8	Истинная сорбция	0,4 кг/т 1,0 кг/т 2,0 кг/т	100 100 100
<i>Дезоксиниваленол</i>					
Адсорбция / нейтрализация (pH 3,0)	0,5%	12,51 (±1,55)	Адсорбция (pH 3,5)	0,04% 0,1% 0,2%	0 0 0
Адсорбция / нейтрализация (pH 6,0)	0,5%	16,20 (±2,61)	Десорбция (pH 7,4)	0,04% 0,1% 0,2%	0 0 0
Истинная сорбция	0,5%	-3,69 (0)	Истинная сорбция	0,04% 0,1% 0,2%	0 0 0
Instituto Samitek			ФНЦ «ВНИТИП» РАН		
<i>Охратоксин А</i>					
Адсорбция / нейтрализация (pH 3,0)	0,5%	38,50 (±0,64)	Адсорбция (pH 3,5)	0,04% 0,1% 0,2%	11 14 20
Адсорбция / нейтрализация (pH 6,0)	0,5%	9,46 (±2,27)	Десорбция (pH 7,4)	0,04% 0,1% 0,2%	8 9 14
Истинная сорбция	0,5%	29,04	Истинная сорбция	0,04% 0,1% 0,2%	3 5 6

Таблица 2. Результаты опыта на боровках на откорме ( $n = 3, M \pm m$ )

Показатель	Группа			
	контрольная	1 опытная 1% клиноптилолита (фракция до 1 мм)	2 опытная 2% клиноптилолита (фракция до 1 мм)	3 опытная 0,4% клиноптилолита (фракция до 0,2 мм)
Живая масса, кг				
в начале опыта	61,03 ± 2,74	66,33 ± 2,80	65,13 ± 1,39	64,50 ± 1,14
в конце опыта	110,53 ± 4,99	121,37 ± 1,59	118,17 ± 2,75	116,47 ± 2,00
Абсолютный прирост живой массы, кг	49,50 ± 2,39	55,03 ± 3,07	53,03 ± 1,43	51,97 ± 2,20
Среднесуточный прирост живой массы, г	811,48 ± 39,12	902,19 ± 50,41	869,40 ± 23,46	851,91 ± 36,14
Затраты комбикорма на 1 кг прироста, кг	4,41	3,97	4,12	4,20
Затраты обменной энергии на 1 кг прироста, МДж	48,76	44,18	46,22	46,95
<i>Результаты балансового опыта</i>				
Переваримость сырого протеина, %	77,39 ± 1,58	77,05 ± 1,24	78,36 ± 1,22	77,40 ± 1,25
Усвоено азота, %				
от принятого	24,95 ± 12,29	26,91 ± 7,74	26,44 ± 6,77	26,14 ± 11,05
от переваренного	31,88 ± 15,71	34,81 ± 9,73	33,73 ± 8,72	33,98 ± 14,38

тивности применения в их рационе клиноптилолита производства Gordes Zeolite. В опыте использовали 12 помесных боровков (F-2 : (КБ х Л) х Д) с начальной живой массой 61,0–66,3 кг в возрасте 120 дней. По принципу животных-аналогов из них сформировали четыре группы — контрольную и три опытные, в которых было по три головы.

В течение 61 дня опыта молодняк получал стандартный полнорационный комбикорм для откорма свиней с добавлением клиноптилолита: с частицами размером до 1 мм в количестве 1 и 2%, с частицами до 0,2 мм в количестве 0,4%. Содержание микотоксинов не превышало норм, указанных в ГОСТ Р 51550-2000 «Комбикорма-концентраты для свиней. Общие технические условия» и в другой НД. При этом отслеживали влияние скармливания клиноптилолита на продуктивность боровков (среднесуточный прирост живой массы) и конверсию корма, оценивали переваримость питательных веществ рациона. Данные исследования представлены в таблице 2.

Максимальный прирост (дополнительно 11,2% к контролю) был отмечен у животных, получавших 1% клиноптилолита (фракция до 1 мм). В группах, где этой минеральной добавки в комбикорме содержалось 2% (фракция до 1 мм) и 0,4% (до 0,2 мм), прирост составил 7,1 и 5,0% соответственно. Обогащение рационов растущего молодняка свиней клиноптилолитом в различных вариантах способствовало снижению затрат обменной энергии на единицу прироста с 48,76 в контроле до 44,18–46,95 МДж в опытных группах, а также затрат комбикорма на 3,71–9,40%. Кроме того, животные опытных групп эффективнее на 0,72–1,54% использовали обменную энергию корма. Применение клиноптилолита позволяет обеспечить профилактическую защиту животных от ряда микотоксинов, при этом улучшаются процессы пищеварения и усвоение азота — на 1,96%, 1,49 и 1,19%

от принятого и на 2,93%, 1,85 и 2,10% от переваренного по отношению контролю.

Таким образом, скармливание клиноптилолита в составе сбалансированных полнорационных комбикормов в целом положительно влияет на физиологические процессы в организме свиней, их продуктивность, снижает затраты корма на единицу прироста.

#### Литература

1. Synthesis and modification of Clinoptilolite / P. Ambrozova [et al.] // *Molecules*. — 2017. — 22. — P. 1107–1120. — DOI: 10.3390/molecules22071107.
2. Critical review on zeolite clinoptilolite safety and medical applications in vivo / S. K. Pavelić [et al.] // *Frontiers in Pharmacology*. — 2018. — P. 1350–1359. — DOI: 10.3389/fphar.2018.01350.
3. Intestinal development and function of broiler chickens on diets supplemented with clinoptilolite / Q. J. Wu [et al.] // *Asian-Australas J Anim Sci*. — 2013. — 7. — P. 987–994. — DOI: 10.5713/ajas.2012.12545.
4. Zain, M. E. Impact of mycotoxins on humans and animals / M. E. Zain // *Journal of Saudi Chemical Society*. — 2011. — 2. — P. 129–144. — DOI: 10.1016/j.jscs.2010.06.006.
5. Kinetics of aflatoxin B1 and G2 adsorption on Ca-clinoptilolite / A. Daković [et al.] // *Journal of the Serbian Chemical Society*. — 2000. — 10. — P. 715–723. — DOI: 10.2298/JSC0010715D.
6. Development of a multi-tiered approach to the *in vitro* prescreening of clay-based enterosorbents / S. L. Lemke [et al.] // *Animal Feed Science and Technology*. — 2001. — 93. — P. 17–29. — DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00272-3.
7. The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: a review / D. Papaioannou [et al.] // *Microporous Mesoporous Mater*. — 2005. — 84. — P. 161–170. — DOI: 10.1016/j.micromeso.2005.05.030. ■