

DOI: 10.37925/0039-713X-2024-6-59-64

УДК 636.4.084+636.4.087.72:546.76

Оценка эффективности соединений хрома в качестве добавок при кормлении свиней (обзор)



С.Ю. ЗАЙЦЕВ, доктор хим. наук, доктор биолог. наук, руководитель группы аналитической биохимии, e-mail: s.y.zaitsev@mail.ru, О.Н. СИВКИНА, аспирантка, e-mail: solga8039@gmail.com, О.А. ВОРОНИНА, кандидат биолог. наук, старший научный сотрудник группы аналитической биохимии, e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

В качестве пищевой добавки, приводящей к потенциально полезным изменениям физиолого-биохимического статуса животных, в последнее время предлагается хром, особенно в органических формах Cr(III). Хром находится в организме в ультрамикрочастицах, поэтому его эссенциальная роль только сейчас доказывается, в том числе и на примере кормления свиней. Показано, что при введении добавок Cr(III) в корма у свиней, как и у ряда других животных, наблюдаются положительные эффекты в плане метаболизма и продуктивных показателей.

Среди наиболее часто применяемых кормовых добавок на основе органических форм Cr(III) встречаются следующие: пиколинат, ацетат или пропионат хрома, а также комплексные соединения аминокислот с хромом. Вопросы регулирования этих добавок зависят от конкретной страны, установленных в ней потребностей в этом элементе и предельно допустимых концентраций содержания хрома в кормах и получаемой сельхозпродукции.

Ключевые слова: физиологические и биохимические эффекты хрома, хром в кормах, добавки хрома в животноводстве, свиноводство.

Evaluation of the effectiveness of chromium compounds as additives in pig feeding (Review)

S.Yu. ZAITSEV, doctor of chemical sciences, doctor of biological sciences, head of the analytical biochemistry group, e-mail: s.y.zaitsev@mail.ru, O.N. SIVKINA, graduate student, e-mail: solga8039@gmail.com, O.A. VORONINA, candidate of biological sciences, senior researcher of the analytical biochemistry group, e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru, Federal Research Center for Animal Husbandry – VIZh named after academician L.K. Ernst

For several decades, chromium, especially in organic forms of Cr(III), has been proposed as a dietary supplement leading to potentially beneficial changes in the physiological-biochemical status of humans and animals. Chromium is found in the body in ultra-microquantities, so its essential role is only now being demonstrated, which is the subject of a review of the main experimental work in this area using pig feeding as an example. It has been shown that with the introduction of Cr(III) additives into feed, pigs, as well as a number of other animals, experience positive effects in terms of metabolism and productive performance.

Among the most commonly used feed additives based on organic forms of Cr(III) are the following: chromium picolinate, acetate or propionate, as well as complex compounds of amino acids with chromium. The regulation of these additives depends on the specific country and its established requirements for the element and the maximum permissible concentrations of chromium in feed and resulting agricultural products.

Key words: physiological and biochemical effects of chromium, chromium in feed, chromium additives in animal farming, pig-breeding.

■ Введение

В течение нескольких десятилетий хром, особенно в органических формах Cr(III), предлагается как пищевая добавка, приводящая к потенциально полезным изменениям физиолого-биохимического статуса (ФБС) человека [1, 2] и животных

[2–4]. Например, при введении добавок Cr(III) в корма у ряда животных наблюдаются положительные эффекты в плане метаболизма и продуктивных показателей [3, 4]. Несмотря на большое число работ в этой области, систематизация данных по использованию разных со-

единений и форм хрома в качестве пищевых добавок при кормлении сельскохозяйственных животных проведена недостаточно [2–4].

Группа экспертов по пищевым добавкам и источникам питательных веществ, используемых при производстве пищевых продуктов,

представила научное заключение по безопасности хрома(III) и возможности его применения в качестве питательного вещества, предназначенного для включения в рационы кормления животных [3–6]. Результаты анализов на мутагенность бактерий *in vitro* были неизменно отрицательными.

Новые исследования генотоксичности соединений Cr(III) *in vitro* и *in vivo* привели к следующим данным по хромум(III) [5, 6]:

1) максимальные уровни потребления – до 250 мкг/сут. соответствуют воздействию, возникающему в результате обычного потребления продуктов;

2) возможные повреждения ДНК не отражаются в анализах генотоксичности *in vivo*, выполняемых в соответствии со стандартными протоколами;

3) хром(III) не канцерогенен;

4) существует большой запас прочности (на четыре-пять порядков) при ежедневном приеме 250 мкг/сут., что эквивалентно 4,1 мкг/кг массы тела в день для человека весом 60 кг (для пиколината хрома(III) в долгосрочных исследованиях на мышах и крысах).

Таким образом, безопасность хрома(III) в качестве питательного вещества, добавляемого в продукты питания населения и пищевые добавки, как установлено ВОЗ, не вызывает беспокойства при условии, что потребление хрома(III) из этих источников не превышает 250 мкг/сут. [5, 6].

Наиболее эффективными в применении в сельском хозяйстве и пищевой промышленности являются органические соединения хрома(III). Например, синтезированы комплексы хрома(III) с алифатическими и ароматическими кислотами, оксикислотами и аминокислотами, что подтверждено соответствующими публикациями [7–13].

Ряд авторов [10–12] связывают положительные эффекты комплексов и низкую клеточную проницаемость соединений хрома(III), а также отсутствие цитотоксичности и мутагенности с октаэдрической геометрией и кинетической инертностью этих комплексов [12–14]. В наиболее подробных работах авторы сообщают о ряде экспериментов, во время которых оценивали влияние различных форм хрома на многочисленные зоотехнические и биохимические показатели [15–20].

Целью обзора является систематизация данных по использованию разных соединений и форм хрома в качестве пищевых добавок при кормлении свиней и других животных.

■ Результаты применения добавок соединений хрома в кормлении свиней

Прежде всего необходимо отметить заметное содержание хрома в элементах кормовых смесей для животных, что является обычным и приведено ниже при результатах расчета на сухое вещество (при натуральной влажности): сено бобово-злаковое – 1,41 (1,2); сенаж разнотравный – 0,89 (0,58); силос кукурузный – 1,72 (0,43); масса злаково-бобовая – 1,45 (0,32); зерносмесь – 0,44 (0,38) мкг/кг [21]. В любом случае при натуральной влажности содержание хрома меньше, чем при результатах расчета на сухое вещество [21]. Как известно, хром очень плохо усваивается организмом, поэтому существуют различные программы введения как неорганических, так и органических форм хрома [15–22].

В указанных выше [1–4] и ряде предшествующим им работ [15–22] показано улучшение содержания БАВ в составе свиных туш в результате дополнительного введения ограниченных количеств хрома, например в виде пиколината хрома (CrPic), в течение всех периодов выращивания – откорма животных [16–18]. Эксперименты, направленные на оценку эффектов Cr на организм свиней, составляют ограниченное число и описаны в **таблице**.

Для удобства описания и понимания многочисленных, но разноплановых данных в **таблице** все показатели в работах разделены на четыре группы: первая – основные зоотехнические, вторая – общехимические (туша в целом), третья – общехимические (мышцы и другие ткани), четвертая – биохимические (кровь) [15–20].

1. Основные зоотехнические показатели свиней при введении различных форм хрома

1.1. Финальный вес. Представлены два эксперимента, во время которых оценивали влияние пиколината хрома и хлорида хрома на многочисленные зоотехнические показатели [15]. При анализе такого зоотехнического показателя, как финальный вес, в первом опыте были получены данные: финальный вес во второй

группе (CrPic 200) больше на 7,7% (3,24 кг) по сравнению с первой контрольной группой, а в третьей группе (CrPic 400) – больше только на 1,7% (0,72 кг), то есть эффективность действия хрома в виде CrPic 200 в 4,5 раза выше, чем в виде CrPic 400 [15]. При использовании неорганической формы хрома обнаружено, что в четвертой группе (CrCl₃ 5000) финальный вес больше на 3,2% (1,33 кг) по сравнению с первой контрольной группой, а в пятой группе (CrCl₃ 25000) – больше на 1,3% (0,55 кг).

Ни одна из групп (CrPic 200 или CrCl₃ 5000) во втором опыте по финальному весу не показывала серьезных эффектов, так как значения на уровне ±0,15–0,20% не являются таковыми [15]. Аналогичные результаты были получены при сравнении влияния пиколината хрома (CrPic) и ppST + CrPic на финальный вес, что не продемонстрировало эффектов ни в одной из трех групп [20].

1.2. Убойный вес. В первом опыте получены данные: убойный вес (через 24 часа) во второй группе (CrPic 200) больше на 6,90% (1,87 кг) по сравнению с первой контрольной группой, а в третьей группе (CrPic 400) – больше только на 0,33% (0,09 кг), то есть эффективность хрома в виде CrPic 200 в 20,8 раза выше, чем в виде CrPic 400 [15]. При использовании неорганической формы хрома обнаружено, что в четвертой группе (CrCl₃ 5000) убойный вес больше на 2,0% (0,55 кг) по сравнению с первой контрольной группой, а в пятой группе (CrCl₃ 25000) – выше на 1,4% (0,38 кг).

1.3. Отложение жира на 10-м ребре. Указанный показатель является важным. В первом опыте получены данные: отложение жира на 10-м ребре (Ж10Р) во второй группе (CrPic 200) больше на 16,7% (0,22 см) по сравнению с первой контрольной группой, а в третьей группе (CrPic 400) – больше только на 12,12 % (0,16 см), то есть эффективность действия хрома в виде CrPic 200 в 1,4 раза выше, чем в виде CrPic 400 [15].

В первом опыте работы Ж10Р в группе 25·10⁻⁹ CrPic меньше на 14,5% (0,41 см), в группе 50·10⁻⁹ CrPic – меньше на 17,7% (0,5 см), в группе 100·10⁻⁹ CrPic – ниже на 6% (0,2 см), в группе 200·10⁻⁹ CrPic – меньше на 13,7% (0,4 см) [16]. Во втором опыте (ж.м.₂ = 103,2 кг; d=83) Ж10Р в группе 100·10⁻⁹ CrPic меньше на 25,7% (0,81 см), в группе 200·10⁻⁹ CrPic – меньше на 16,5% (0,5 см), в

Таблица. Средние значения физиолого-биохимических и зоотехнических показателей у свиней и поросят [15–20]

№	Животные	Схема эксперимента
15	Гибриды Г-Й (N=35), ж.м. = 20 кг, ОР – баланс по лизину	В первом опыте 5 групп (n=7; d=35): 1А – контроль; 2А – 200 мкг/кг Cr в форме CrPic; 3А – 400 мкг/кг Cr в форме CrPic; 4А – 5000 мкг/кг Cr в форме CrCl ₃ ·6H ₂ O; 5А – 25 000 мкг/кг Cr в форме CrCl ₃ ·6H ₂ O
	Гибриды Г-Й (N=42), ж.м. ₁ = 19 кг, ж.м. ₂ = 109 кг в контроле, ОР – баланс по лизину	Во втором опыте 3 группы (n=14): 1В – контроль (d=100,8); 2В – 200 мкг/кг Cr в форме CrPic (d=98,6); 3В – 5000 мкг/кг Cr в форме CrCl ₃ ·6H ₂ O (d=103)
Результаты. В первом опыте финальный вес: 2А ↑↑↑, 3А ↑↑, 4А ↑, 5А ↑; убойный вес: 2А ↑↑↑, 3А ↓, 4А ↑↑, 5А ↑; жирность 10-го ребра: 2А ↑↑↑↑, 3А ↑↑↑↑, 4А ↑↑↑↑, CrCl ₃ 25 000 ↑↑↑; S: 2А ↑↑, 3А ↑↑↑↑, 4А ↑, CrCl ₃ 25000 ↑. Во втором опыте финальный вес: 2В ↓, 3В ↓; убойный вес: 2В ↓, 3В ↓; жирность 10-го ребра: 2В ↓↓, 3В ↓↓; S: 2В ↑↑↑, 3В ↑↑↑.		
16	Гибриды Й-Г-Д (N=15), ж.м. ₁ = 37,8 кг, ж.м. ₂ = 97,6 кг	В первом опыте (12% Cr в CrPic) 5 групп (n=3; d=73): 1А – контроль; 2А – 25·10 ⁻⁹ CrPic; 3А – 50·10 ⁻⁹ CrPic; 4А – 100·10 ⁻⁹ CrPic; 5А – 200·10 ⁻⁹ CrPic
	Гибриды Й-Г-Д (N=20), ж.м. ₁ = 30,5 кг, ж.м. ₂ = 103,2 кг	Во втором опыте (12% Cr в CrPic) 5 групп (n=4; d=83): 1В – контроль; 2В – 100·10 ⁻⁹ CrPic; 3В – 200·10 ⁻⁹ CrPic; 4В – 400·10 ⁻⁹ CrPic; 5В – 800·10 ⁻⁹ CrPic
	Гибриды Й-Г-Д (N=24), ж.м. ₁ = 22,4 кг, ж.м. ₂ = 93,6 кг	В третьем опыте (12% Cr в CrPic) 6 групп (n=4; d=98): 1С – контроль; 2С – 1467·10 ⁻⁹ CrPic; 3С – 200·10 ⁻⁹ CrCl ₃ ·6H ₂ O; 4С – 1467·10 ⁻⁹ CrPic + 200·10 ⁻⁹ CrCl ₃ ·6H ₂ O; 5С – 100·10 ⁻⁹ CrPic; 6С – 200·10 ⁻⁹ CrPic
Результаты. В первом опыте общий белок: 2А ↑↑, 3А равно контролю, 4А ↓↓, 5А ↓↓; мочевины: 2А ↓↓↓, 3А ↓↓, 4А ↓↓↓, 5А ↓↓; глюкоза: 2А ↓↓, 3А ↑↑, 4А ↑↑, 5А ↑↑; триглицериды: 2А ↑↑, 3А ↑↑↑↑, 4А ↓↓↓, 5А ↑; жирность 10-го ребра: 2А ↓↓↓↓, 3А ↓↓↓↓, 4А ↓↓↓, 5А ↓↓↓↓; S: 2А ↑↑, 3А ↑, 4А ↓↓, 5А ↑↑↑. Во втором опыте: мочевины 2В ↓↓↓↓, 3В ↑↑, 4В ↓↓↓, 5В ↓↓; триглицериды: 2В ↓, 3В ↓↓, 4В ↓↓↓, 5В ↑↑↑; жирность 10-го ребра: 2В ↓↓↓↓, 3В ↓↓↓↓, 4В ↓↓↓↓, 5В ↓↓↓↓; S: 2В ↑↑↑, 3В ↑↑↑↑, 4В ↑↑↑↑, 5В ↑↑↑↑. В третьем опыте триглицериды: 2С ↓ (равно контролю), 3С ↑↑, 4С ↑↑↑↑, 5С ↑↑↑↑, 6С ↓↓; мочевины: 2С ↑↑, 3С ↑↑, 4С ↑↑↑, 5С ↑↑↑, 6С ↑↑; жирность 10-го ребра: 2С ↓↓, 3С ↓↓, 4С ↑↑, 5С ↓↓↓↓, 6С ↓↓↓↓; S: 2С ↑, 3С ↓, 4С ↓↓, 5С ↑↑↑↑, 6С ↑↑↑↑.		
17	Гибриды Й-Ч-У (N=48), ж.м. ₁ = 40,9 кг, ж.м. ₂ = 98 кг	В первом опыте 3 группы (d=60): 1А – контроль; 2А – 250·10 ⁻⁹ CrPic; 3А – 500·10 ⁻⁹ CrPic
	Гибриды Й-Ч-У (N=105), ж.м. ₁ = 14,5 кг	Во втором опыте 7 групп: 1В – 0 Cr + 100% Lys; 2В – 200·10 ⁻⁹ Cr + 100% Lys; 3В – 0 Cr + 120% Lys; 4В – 100·10 ⁻⁹ Cr + 120% Lys; 5В – 200·10 ⁻⁹ Cr + 120% Lys; 6В – 500·10 ⁻⁹ Cr + 120% Lys; 7В – 1000·10 ⁻⁹ Cr + 120% Lys. Добавка Cr в виде CrPic
Результаты. В первом опыте жирность 10-го ребра: 2А ↑↑, 3А ↑↑↑; S: 2А ↑↑, 3А ↑↑. Во втором эксперименте S: 200·10 ⁻⁹ Cr + 100% ↑↑↑↑ к 1В, 4В ↑↑ к 3В, 5В ↑↑↑ к 3В, 6В ↑↑↑ к 3В, 7В ↑↑ к 3В; жирность 10-го ребра: В2 ↓↓↓ к В1, 4В ↓↓↓ к 3В, 5В ↓↓↓ к 3В, 6В ↑↑↑ к 3В, 7В ↓↓↓ к 3В; глюкоза: В2 ↓↓ к В1, 4В ↑ к 3В, 5В ↑ к 3В, 6В ↓ к 3В, 7В ↑ к 3В; мочевины: В2 ↓ к В1, 4В ↓↓↓ к 3В, 5В ↓↓ к 3В, 6В ↓↓ к 3В, 7В ↓↓ к 3В; общий белок: В2 ↓ к В1, 4В, 5В, 6В равно 3В, 7В ↓↓ к 3В; альбумин: В2 ↓ к В1, 4В, 5В, 6В, 7В ↑ к 3В; АСТ: В2 ↑↑ к В1, 4В ↓↓↓ к 3В, 5В ↑↑ к 3В, 6В ↓↓ к 3В, 7В ↓↓↓ к 3В; АЛТ: В2 ↓↓↓ к 3В, 4В ↓↓ к 3В, 5В ↓↓ к 3В, 6В ↓↓↓ к 3В, 7В ↓ к 3В.		
18	Гибриды Г-Й (N=14), ж.м. ₁ = 27, ж.м. ₂ = 109 кг	2 группы: 1 – контроль (d=87,9); 2 – 200 мкг/кг CrPic (d=84,9)
Результаты. Жирность 10-го ребра ↓↓; S ↓↓; мышечная ткань ↑↑; жировая ткань ↓↓; кости ↑; кожа ↓; вода ↑; белок ↑; жир ↓↓; зола ↓.		
19	Гибриды Й-ЧУ/Й-Д (N=24), ж.м. ₁ = 19,1 кг, ж.м. ₂ = 106,4 кг	1А – контроль (ОР с 19,1 кг до 106,4 кг массы тела); 2А – ОР с 19,1 кг до 57,2 кг массы тела, а затем ОР + 200·10 ⁻⁶ CrPic с 57,2 кг до 106,4 кг массы тела; 3А – ОР + 200·10 ⁻⁶ CrPic с 19,1 кг до 106,4 кг массы тела
Результаты. Жирность 10-го ребра: 2А ↓↓↓, 3А ↑; мышцы: 2А ↑↑, 3А ↓; кости: 2А ↑, 3А ↑↓ кожа: 2А ↓, 3А ↓; белок: 2А ↑, 3А ↑; жир: 2А ↓↓, 3А ↑; зола: 2А ↓, 3А ↓.		
20	Гибриды П_К-Л (N=240)	1А – контроль (ОР); 2А – CrPic (ОР + 300 мкг Cr ³⁺ из CrPic/кг); 3А – ppST (ОР + 100 мкг ppST/кг массы тела); 4А – ppST + CrPic (вводится ежедневно по 100 мкг ppST/кг массы тела, ОР + 300 мкг Cr ³⁺ из CrPic/кг)
Результаты. Финальный вес: 2А ↓, 3А ↑, 4А ↑; вода: 2А ↓↓, 3А ↑↑↑↑, 4А ↑↑↑↑; белок: 2А ↓↓, 3А ↑↑↑↑, 4А ↑↑↑↑; жир: 2А ↑↑, 3А ↓↓↓↓, 4А ↓↓↓↓; зола: 2А ↓↓↓↓, 3А ↑↑↑↑, 4А ↑↑↑↑.		

Примечание: CrPic – пиколинат хрома, ppST – свиной гипофизарный соматотропин, d – продолжительность эксперимента в днях, Lys – лизин, N – общее число голов, n – число голов в конкретной группе, S – площадь длиннейшей мышцы, ж.м.₁ – живая масса начальная, ж.м.₂ – живая масса конечная, ОР – основной рацион. Свиньи: Й-Г-Д – товарные гибриды йоркшир-гэмпшир-дюрок, Й-ЧУ – товарные гибриды йоркшир-честер уайт, Г-Й – гибриды пород гэмпшир-йоркшир, П_К-Л – гибриды пород польская_китайская-ландрас, Й-ЧУ/Й-Д – йоркшир-честер уайт или йоркшир-дюрок. ♂ – кастрированные хрячки. Визуализация отличий по показателям (в процентах): больше по сравнению с контролем до ~0,5% – ↓, ~1% – ↓↓, ~2–5% – ↓↓, 6–10% – ↓↓↓, 11% и больше – ↓↓↓↓. ↑↑↑↑, меньше по сравнению с контролем ~0,5% – ↓, ~1% – ↓↓, ~2–5% – ↓↓, 6–10% – ↓↓↓, 11% и больше – ↓↓↓↓.

А – первый опыт, описанный в публикации; В – второй опыт, описанный в публикации; С – третий опыт, описанный в публикации.

группе $400 \cdot 10^{-9}$ CrPic – ниже на 30% (1 см), в группе $800 \cdot 10^{-9}$ CrPic – меньше на 21% (0,7 см) [16]. В третьем опыте (ж.м.₂ = 93,6 кг; d=98) Ж10Р в группе $1467 \cdot 10^{-9}$ Pic меньше на 2,9% (0,09 см), в группе $200 \cdot 10^{-9}$ CrCl₃·6H₂O меньше на 5,5% (0,17 см), в группе $1467 \cdot 10^{-9}$ CrPic + $200 \cdot 10^{-9}$ CrCl₃·6H₂O – больше на 2,3% (0,07 см), в группе $100 \cdot 10^{-9}$ CrPic – меньше на 17% (0,53 см), в группе В + $200 \cdot 10^{-9}$ CrPic – ниже на 22% (0,68 см) [16].

В работе авторы изучали гибриды йоркшир-честер уайт (Й-ЧУ) и привели в первом опыте следующие данные: Ж10Р в группе CrPic $250 \cdot 10^{-9}$ больше на 2,4% (0,7 мм), в группе CrPic $500 \cdot 10^{-9}$ – выше на 9% (2,6 мм) [17].

Во втором опыте Ж10Р в группе $200 \cdot 10^{-9}$ Cr + 100% лизина меньше на 17% (5,8 мм) по сравнению с группой 0 Cr + 100% лизина, в группе $100 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – меньше на 6% (1,8 мм) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина, в группе $200 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – ниже на 10% (3,4 мм) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина, в группе $500 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – больше на 12,7% (4,2 мм) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина, в группе $1000 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – меньше 13% (4,6 мм) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина [17].

В работе [18] авторы обнаружили незначительное влияние пиколината хрома на Ж10Р двухпородных гибридов (йоркшир-гэмпшир) свиней при откорме, что было уточнено на более однозначные результаты, прежде всего в группе Cr 200, в более поздней работе этих же авторов, которую обсуждали выше [15]. В работе авторы привели противоречивые данные по влиянию пиколината хрома на Ж10Р в двух группах (CrP-F – меньше на 8,9%, а у CrP-GF – больше на 1,3%) кастрированных хрячков двухпородных гибридов йоркшир-честер уайт или йоркшир-дюрок (Й-ЧУ/Й-Д) [19].

1.4 Длиннейшая мышца спины.

В первом опыте работы получены данные по длиннейшей мышце спины (ДМС): во второй группе (CrPic 200) больше на 5,3% (0,9 см²) по сравнению с первой контрольной группой [15]. В третьей (CrPic 400), четвертой (CrCl₃ 5000) и пятой группе (CrCl₃ 25000) ДМС незначительно (+0,7–1,0%), то есть эффективность действия хрома в виде CrPic 200 на порядок выше, чем в других видах.

Во втором опыте: ДМС в группе CrPic 200 больше на 6,3% (1,82 см²), в группе CrCl₃ 5000 – выше на 6,2% (1,79 см²) [15]. Это заметное увеличение ДМС (на уровне 5,3–6,3%) является значимым и позволяет рекомендовать рецептуру второй группы (CrPic 200) в большей степени, чем в пятой группе (CrCl₃ 5000), для получения большего веса туши.

В работе авторы обнаружили в первом опыте следующие незначительные и разнонаправленные значения ДМС в группах 25 Cr, 50 Cr, 100 Cr, за исключением группы 200 Cr – больше на 6,6% (2,3 см²), по сравнению с контрольной группой [16].

Во втором опыте: ДМС в группе $100 \cdot 10^{-9}$ Cr больше на 18,8% (6,4 см²), в группе $200 \cdot 10^{-9}$ Cr – больше на 15,6% (5,3 см²), в группе $400 \cdot 10^{-9}$ Cr – больше на 22,6% (7,7 см²), в группе $800 \cdot 10^{-9}$ Cr – выше на 18% (6,3 см²) по сравнению с контрольной группой [16].

В третьем опыте: незначительные и разнонаправленные значения ДМС в группах Cr 1,467, Cr 200, за исключением группы Cr 100, больше на 20% (6,6 см²) и группы Cr 200 – больше на 21,9% (6,9 см²) по сравнению с контрольной группой [16].

Таким образом, это существенное и практически одинаковое увеличение ДМС (на уровне 20–22%) является очень значимым и, безусловно, позволяет рекомендовать рецептуру групп 100 Cr и В + 200 Cr для использования. В работе авторы обнаружили незначительное влияние пиколината хрома на показатель ДМС туши свиней при откорме, но этот единичный опыт не может служить доказательной базой для серьезного рассмотрения [18].

В работе авторы привели в первом опыте следующее увеличение значений ДМС: в группе CrPic $250 \cdot 10^{-9}$ больше на 3,2% (1,3 см²) и в группе CrPic $500 \cdot 10^{-9}$ – на 3,8% (1,5 см²) по сравнению с контрольной группой [17].

Во втором опыте авторы привели ДМС: в группе $200 \cdot 10^{-9}$ Cr + 100% лизина больше на 15,9% (4,6 см²) по сравнению с группой 0 Cr + 100% лизина, в группе $100 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – больше на 3,3% (1 см²) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина, в группе $200 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – выше на 7% (2 см²) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина, в группе $500 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – больше на 8% (2,4 см²) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина, в

группе $1000 \cdot 10^{-9}$ Cr + 120% лизина – больше 5% (1,6 см²) по сравнению с группой 0 Cr + 120% лизина [17].

Таким образом, это увеличение ДМС (на уровне 16%) является значимым и, безусловно, позволяет рекомендовать рецептуру группы $200 \cdot 10^{-9}$ Cr + 100% лизина для использования.

2. Общехимические показатели (туша в целом)

В первом опыте обнаружили незначительное влияние как CrPic, так и CrCl₃ на показатель воды (меньше на 0,9–1,4% по сравнению с контрольной группой), белка (меньше на 0,1–0,3% по сравнению с контрольной группой) и золы на туши свиней при откорме (менее 0,1% по сравнению с контрольной группой). Показатель содержания жира был несколько выше во всех группах (на 1,72–0,8%) [15]. Во втором опыте авторы установили незначительное влияние CrPic (больше на 1,2–1,5%) и CrCl₃ (больше на 0,04–0,63%) на показатели воды и белка [15].

В работе влияние пиколината хрома (CrPic 200) на все показатели: воды (больше на 1,4%), белка (больше на 1%), жира (менее 1,6%) и золы (одинаково с контролем) туш свиней при откорме по сравнению с контрольной группой [18].

Незначительное влияние добавок CrP-GF и CrP-F на все показатели: белка (больше на 0,2–0,5%), жира (меньше на 0,1–2,14%) и золы (больше на 0,3–0,5%) туш свиней при откорме по сравнению с контрольной группой [19].

В работе авторы установили влияние смесей с пиколинатом хрома на биохимический состав туши [20]. Например, вода: в группе CrPic – меньше на 5% (15 г/л), в группе ppST – больше на 44% (130 г/л), в группе ppST+CrPic – больше на 42% (123 г/л). Белок: в группе CrPic – меньше на 2% (2 г/л), в группе ppST – больше на 43% (41 г/л), в группе ppST+CrPic – больше на 42% (40 г/л). Жир: в группе CrPic – больше на 4,4% (7 г/л), в группе ppST – меньше на 40% (63 г/л), в группе ppST+CrPic – меньше на 50% (79 г/л). Зола: в группе CrPic – меньше на 25% (4 г/л), в группе ppST – больше на 25% (4 г/л), в группе ppST+CrPic – больше на 25% (4 г/л).

3. Общехимические показатели (мясо и другие ткани)

В первом опыте влияние как CrPic, так и CrCl₃ на все показатели мышечной ткани: воды (меньше, чем на

0,5%), белка (больше, чем на 0,5%), жира (больше, чем на 0,1%) и золы (меньше, чем на 0,1%) туш свиней при откорме по сравнению с контрольной группой [15].

Во втором опыте влияние CrPic и CrCl₃ на все указанные выше показатели незначительно [15]. Влияние пиколината хрома (Cr 200) на процентное содержание, общий прирост и скорость срастания разделяемых тканей туши свиней на доразивании: больше на 3,7% (мышечная ткань); меньше на 3,6% (жировая ткань); больше на 0,38% (кости); больше на 0,13% (кожа) [18]. В работе авторы установили незначительное и разнонаправленное влияние CrP-F и CrP-GF на следующие органы и ткани свиней: мышечная ткань, кости, кожа [19].

4. Биохимические показатели крови

4.1. Триглицериды. В первом опыте обнаружили во всех группах значительное увеличение содержания триглицеридов (ТГ) в крови при введении CrPic 200 во второй группе больше на 11,9% (1,6 мг/дл), CrPic 400 в третьей группе больше на 12,3% (1,66 мг/дл), CrCl₃ 5000 в четвертой группе – больше на 16,6% (2,25 мг/дл), CrCl₃ 25000 в пятой группе – больше на 14,5% (1,95 мг/дл) [15]. Во втором опыте авторы установили менее значительное увеличение содержания ТГ в крови для добавок CrPic 200 – больше на 4,2% (1,6 мг/дл), в группе CrCl₃ 5000 – больше на 2,4% (0,9 мг/дл) [15]. В первом опыте обнаружили заметное увеличение содержания ТГ: в группе 25_Cr – больше на 3,5% (1,3 мг/дл), в группе 50_Cr – больше на 14,8% (5,5 мг/дл), в группе 100_Cr – меньше на 7,8% (2,9 мг/дл), в группе 200_Cr – больше на 1,3% (0,5 мг/дл) [16].

Во втором опыте установлено менее значительное и разнонаправленное изменение содержания ТГ, поэтому стоит упомянуть только увеличение содержания ТГ на 6,9% (3,2 мг/дл) в группе 800_Cr [16].

В третьем опыте установлено более или менее значительное изменение содержания ТГ в крови при введении следующих добавок: 200_Pic – больше на 3,3% (0,9 мг/дл), 1467_Pic + 200_Pic – больше на 11% (3,1 мг/дл), 100_Cr – больше на 11,9% (3,2 мг/дл) [16].

4.2. Общий белок. В первом опыте продемонстрировано влияние на содержание общего белка (ОБ) в крови при введении кормовых добавок CrPic

и CrCl₃, а именно: в группе CrPic 200 – больше на 1,9% (0,11 г/дл), в группе CrPic 400 – больше на 0,9% (0,05 г/дл), в группе CrCl₃ 5000 – больше на 3,1% (0,18 г/дл), в группе CrCl₃ 25000 – больше на 2,2% (0,13 г/дл) [15].

Во втором опыте установили незначительное влияние на содержание ОБ при введении как CrPic, так и CrCl₃, а именно: в группе CrPic 200 – меньше на 0,9% (0,06 г/дл), в группе CrCl₃ 5000 – меньше на 0,6% (0,04 г/дл) [15]. В работе в первом опыте обнаружили незначительное влияние (на уровне 1,5%) введения добавок на основе различных концентраций хрома (от 25_Cr до 200_Cr) на содержание ОБ в крови [16].

4.3. Мочевина. В работе в первом опыте обнаружили увеличение содержания мочевины в крови при введении кормовых добавок как CrPic, так и CrCl₃, а именно: в группе CrPic 200 – больше на 2,8% (0,9 мг/дл), в группе CrPic 400 – больше на 7% (2,29 мг/дл), группе CrCl₃ 5000 – больше на 6,5% (2,11 мг/дл), в группе CrCl₃ 25000 – больше на 0,6% (0,18 мг/дл) [15].

Во втором опыте авторы установили значительное увеличение содержания мочевины в крови при введении этих добавок: в группе CrPic 200 – больше на 6,4% (0,91 мг/дл), в группе CrCl₃ 5000 – больше на 1,5% (0,21 мг/дл) [15].

В первом опыте наблюдалось заметное уменьшение (на 4,1–6,2%) содержания мочевины в крови при введении добавок: в группе 25_Cr – меньше на 6,2% (0,9 мг/дл), в группе 50_Cr – меньше на 4,1% (0,6 мг/дл), в группе 100_Cr – меньше на 5,5% (0,8 мг/дл), в группе 200_Cr – меньше на 4,8% (0,7 мг/дл) [16].

Во втором опыте уменьшение мочевины в крови при введении кормовых добавок оказалось только в группе 100_Cr – ниже на 16% (2,5 мг/дл) и в 400_Cr – меньше на 9% (1,4 мг/дл), тогда как в группе 800_Cr – меньше на 1,9% (0,3 мг/дл), а в группе 200_Cr – даже больше на 2,6% (0,4 мг/дл) [16].

В третьем опыте обнаружилось увеличение мочевины в крови при введении кормовых добавок: в группе 1467_Pic – больше на 5,3% (0,7 мг/дл), в группе 200_Pic – больше на 1,5% (0,2 мг/дл), в группе 1467_Pic + B + 200_Pic – больше 6,1% на (0,8 мг/дл), в группе 100_Cr – больше на 3% (0,4 мг/дл), в группе 200_Cr – больше на 1,5% (0,2 мг/дл) [16].

В работе установлено снижение (на 1–10%) содержания мочевины в крови при введении от 100_Cr + Lys до 500_Cr + Lys [17].

4.4. Глюкоза. В первом опыте при введении CrPic и CrCl₃ обнаружили влияние на содержание глюкозы в крови: в группе CrPic 200 – меньше на 0,6% (0,56 мг/дл), в группе CrPic 400 – больше на 2,7% (2,63 мг/дл), группе CrCl₃ 5000 – меньше на 0,4% (0,36 мг/дл), в группе CrCl₃ 25000 – больше на 4,6% (4,54 мг/дл) [15].

Во втором опыте авторы использовали меньшие концентрации хрома и изменение содержания глюкозы в крови в группе CrPic 200 было больше на 4% [15]. В работе глюкоза в первом опыте в группе 25_Cr – меньше на 2,4% (2,2 мг/дл), в группе 50_Cr – больше на 1,7% (1,5 мг/дл), в группе 100_Cr – больше на 4,3% (3,9 мг/дл), в группе 200_Cr – больше на 4,3% (3,9 мг/дл) [16]. В работе содержание глюкозы в крови начинало заметно увеличиваться при увеличении концентрации хрома в кормовых добавках: от 1–2% в группах 200_Cr + 100–120% лизина до более 5% в группе 1000_Cr + 120% лизина (по сравнению с контрольной группой 0_Cr + 120% лизина) [17].

4.5. Ферменты крови. Изучали активность ферментов крови свиней (АСТ, АЛТ) [17]. АЛТ уменьшалась заметно, но нелинейно при увеличении концентрации хрома в кормовых добавках: от 2% в группе 100_Cr + 120% лизина до более 7% в группе 500_Cr + 120% лизина, но уменьшалась до 1% – в группе 1000_Cr + 120% лизина (по сравнению с контрольной группой 0 Cr + 120% лизина) [17]. С другой стороны, АСТ изменялась значительно, но также нелинейно и разнонаправленно: в группе 200_Cr + 100% лизина – больше на 7%, в группе 100_Cr + 120% лизина – меньше на 21%, в группе 200_Cr + 120% лизина – больше на 4%, в группе 500_Cr + 120% лизина – меньше на 2%, в группе 1000_Cr + 120% лизина – меньше на 17% по сравнению с контрольной группой 0 Cr + 120% лизина [17].

Несмотря на значительные колебания и разнонаправленность в изменении активности АСТ (и более умеренные уменьшения активности АЛТ), все значения находились в пределах физиологических норм для свиней и свидетельствовали об усилении регуляции процессов трансаминирования в белково-

аминокислотном обмене при заданных концентрациях органических форм хрома (на уровне 100–500 мг/кг) в кормовых добавках.

■ Заключение

На основании многочисленных данных следует, что лучше всасываются соединения органического хрома (комплексы Cr(III) – до 25%), тогда как неорганические формы – на порядок хуже (от 0,5% до 3%). Основные биохимические показатели крови свиней достоверно изучены в некоторых работах [15–17].

Триглицериды, как правило, увеличивались значительно для таких добавок, как CrPic 200–400, CrCl₃ 5000–25000 [15, 16]. Однако увеличение содержания ОБ, мочевины и глюкозы в крови при введении этих кормовых добавок было незначительным при различных концентрациях хрома [15–17]. В работе была изучена активность ферментов крови свиней (АСТ, АЛТ). Их заметные колебания были разнонаправленными, но находились в пределах физиологических норм [17]. Общехимические показатели

(вода, белок, жир, зола) как туши (в целом), так и мяса свиней изменялись незначительно.

Важные зоотехнические показатели, такие как Ж10Р, ДМС, финальный и убойный вес, заметно увеличивались при добавках CrPic 200 [15]. Для ДМС максимальные результаты получены во втором опыте с CrPic 200–400–800 [16]. Эти результаты в сравнении с такими же или иными концентрациями CrPic, CrCl₃ либо другими формами хрома позволяют рекомендовать именно CrPic 200 для широкого использования в кормлении свиней.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №20-16-00032-П), <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>

Study was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 20-16-00032-P), <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>

Литература

- Vincent J.B. Effects of chromium supplementation on body composition, human and animal health, and insulin and glucose metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2019. №22(6). P. 483–489.
- Vincent J.B. et al. Silas introduction: A history of chromium studies in the *The Nutritional Biochemistry of Chromium(III)*/ J. Vincent ed. 2nd ed. 2018. P. 1–58.
- Подобед Л. Хром в кормлении свиней: незаменимый элемент. *Животноводство России. Тематический выпуск «Свиноводство»*, 2023. С. 28–30.
- Шошина О.В., Лебедев С.В., Поберухин М.М. Роль хрома в пищеварении у полигастричных животных. *Животноводство и кормопроизводство*, 2021. Т. 104. №3. С. 82–93.
- Scientific opinion on the safety of trivalent chromium as a nutrient added for nutritional purposes to foodstuffs for particular nutritional uses and foods intended for the general population (including food supplements). *EFSA Journal*, 2010. Vol. 8. №12. P. 1882.
- Wong C., Roberts S.M. & Saab I.N. Review of regulatory reference values and background levels for heavy metals in the human diet. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2022. Vol. 130. P. 105122.
- Abdel-Messih M.F. Kinetics and mechanism of Interaction between chromium(III) and ethylenediaminetetra-3-propionate in aqueous acidic media. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2013. №3. P. 98–104.
- Banerjea D., Chaudhuri S.D. Kinetic studies on the formation of metal chelates-II Reaction of hexa-aquo-chromium(III) ion with glycine and the nature of the product formed in weakly acidic aqueous solution. *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 1968. Vol. 30. P. 871–880.
- Dasque A., Gressier M., Taberna P.L., Menu M.J. Characterization of chromium(III)-glycine complexes in an acidic medium by UV-visible spectrophotometry and capillary electrophoresis. *Results in Chemistry*, 2021. Vol. 3. P. 100207.
- Guindy N.M., Abou-Gamra Z.M., Abdel-Messih M.F. Kinetic studies on the complexation of chromium(III) with some amino acids in aqueous acidic medium. *Monatshefte für Chemie*, 2000. Vol. 131. P. 857–866.
- Скорика Н.А., Алимова Р.Р. Соединения хрома(III) с некоторыми органическими лигандами. *Журнал неорганической химии*, 2020. Т. 65. №1. С. 16–24.
- Корнев В.И., Микрюкова Г.А. Гомо- и гетеролигандные комплексы хрома(III) с комплексонами ряда карбоксиметиленаминов и гидроксикарбоновыми кислотами в водном растворе. *Вестник Удмуртского университета. Химия*, 2006. №8. С. 163.
- Лаврухина А.К., Юкина Л.В. Аналитическая химия хрома. М.: Наука, 1979. 222 с.
- Мезенцев К.В., Михайленко Ю.А. Спектроскопическое изучение цветовых переходов и строение комплексных соединений кобальта(III) и хрома(III). *Вестник КузГТУ*, 2010. №6. С. 121.
- Mooney K.W., Cromwell G.L. Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride as potential carcass modifiers in swine. *J. Anim. Sci.*, 1997. Vol. 75. P. 71–2661.
- Page T.G., Southern L.L., Ward T.L., Thompson D.L. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 1993. Vol. 71. P. 656–662.
- Lindemann M.D., Wood C.M., Harper A.F., Kornegay E.T., Anderson R.A. Dietary chromium picolinate additions improve gain: Feed and carcass characteristics in growing-finishing pigs and increase litter size in reproducing sows. *J. Anim. Sci.*, 1995. Vol. 73. P. 457–465.
- Mooney K.W., Cromwell G.L. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growingfinishing swine. *J. Anim. Sci.*, 1995. Vol. 73. P. 3351–3357.
- Boleman S.L., Boleman S.J., Bidner T.D., Ward T.L., Southern L.L., Pontif J.E., Pike M.M. Effect of chromium picolinate on growth, body composition, and tissue accretion in pigs. *J. Anim. Sci.*, 1995. Vol. 73. P. 2033–2042.
- Evoek-Clover C.M., Polansky M.M., Anderson R.A., Steele N.C. Dietary chromium supplementation with or without somatotropin treatment alters serum hormones and metabolites in growing pigs without affecting growth performance. *J. Nutr.*, 1993. Vol. 123. P. 1504–1512.
- Ломаева А.А. Показатели продуктивности коров черно-пестрой породы при использовании в рационах органического хрома: Автореферат диссертации кандидата с.-х. наук. Ижевск, 2018. 121 с.
- Untea A.E., Varzaru I., Ropota M., Panaite T.D., Cornescu G.M. The effects of organic chromium on adipose anatomic parts, using pig as experimental model. *Voprosy Pitaniia*, 2016. Vol. 85(2). P. 51–54.