

ЛІПІДНИЙ СКЛАД ПЛАЗМИ КРОВІ ПОРОСЯТ У ПЕРІОД ВІДЛУЧЕННЯ ВІД СВИНОМАТОК ЗА ДІЇ РІЗНИХ СПОЛУК МІКРОЕЛЕМЕНТІВ

А. З. Пилипець, О. З. Сварчевська, О. М. Бучко, Л. І. Понкало
pylyp-andriy@ukr.net

Інститут біології тварин НААН,
вул. В. Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна

У статті наведені дослідження ліпідного обміну за порівняльної дії цитратів мікроелементів та їх неорганічних солей у плазмі крові поросят.

Дослідження проведено на 3 групах поросят-аналогів 10-добового віку (контрольна та дві дослідні) по 10 голів у кожній. Перша дослідна група поросят отримувала основний раціон та премікс з неорганічними солями Феруму (1500 мг/кг), Цинку (1100 мг/кг), Мангану (1100 мг/кг), Купруму (1550 мг/кг), Кобальту (10 мг/кг). Друга дослідна група поросят споживала основний раціон та премікс, у якому солі мікроелементів були замінені на цитрати у 10 разів меншій концентрації, які містили: Fe — 150 мг; Zn — 110 мг; Mn — 110 мг; Cu — 155 мг; Co — 1 мг.

З'ясовано, що ліпідний обмін в організмі поросят, які отримували з кормом цитрати мікроелементів, інтенсифікується порівняно з контрольними тваринами та тими, які отримували неорганічні солі мікроелементів, що використовуються в традиційних преміксах.

Згодовування цитратів мікроелементів сприяло зниженню вмісту неестерифікованого холестеролу та збільшенню вмісту триацилгліцеролів у плазмі крові поросят на 28 та 45 добу життя порівняно з контрольними тваринами та тваринами, які отримували мікроелементи солей неорганічних кислот.

Одержані результати вказують на те, що добавки у вигляді цитратів мікроелементів мають суттєвіший вплив на активацію обміну ліпідів в організмі поросят II дослідної групи на 28 та 45 добу порівняно з добавкою неорганічних солей мікроелементів, яку застосовували поросят I дослідної групи, що можна пояснити кращою біодоступністю цитратів та їх впливом на процеси регуляції обміну ліпідів.

Подальші дослідження в цьому напрямку дадуть змогу запобігати розвитку патологічних змін у різних органах і тканинах свиней пов'язаних з мікроелементозами, а також розробити ефективні заходи підвищення адаптивної здатності тварин.

Ключові слова: ПОРОСЯТА, ОНТОГЕНЕЗ, МІКРОЕЛЕМЕНТИ, ЦИТРАТИ, ЖИВЛЕННЯ, КРОВ, ЛІПІДИ

EFFECT OF DIFFERENT COMPOUNDS OF TRACE ELEMENTS ON LIPID COMPOSITION OF WEANED PIGLETS PLASMA

A. Z. Pylypets, O. Z. Svarchevska, O. M. Buchko, L. I. Ponkalo
pylyp-andriy@ukr.net

Institute of animal biology NAAS,
38 Vasyl Stus str., Lviv 79034, Ukraine

The article presents the study of lipid metabolism in comparing the actions of citrate salts, trace elements and micronutrients inorganic acids in the blood plasma of pigs lets.

The study was conducted in 3 groups of piglets-analogs at 10-day age (control and two experimental) with 10 animals in each group. Pigs of first experimental group received a basic diet and inorganic salts premix with Iron (1500 mg/kg), Zinc (1100 mg/kg), Manganese (1100 mg/kg), Copper (1550 mg/kg), Cobalt (10 mg/kg). The second experimental group consumed the main diet and premix where minerals salts of inorganic acids were replaced with micronutrients citrate in 10 times lower concentration, which included: Fe — 150 mg; Zn — 110 mg; Mn — 110 mg; Cu — 155 mg; Co — 1 mg.

It was found that lipid metabolism in the piglets fed with citrate micronutrients intensified compared to control animals and animals treated with minerals salts of inorganic acids used in conventional premixes.

Feeding citrate micronutrients helped to reduce non-etherified cholesterol and increase triacylglycerols contents in blood plasma of pigs at 28 and 45 days of life compared to control animals and animals treated with salts of inorganic acids.

The results indicate that additives in the form of citrate micronutrients have more significant effect on activation of lipid metabolism in the body of piglets in II experimental group at 28 and 45 days of age compared to the addition of inorganic salts trace elements which used for pigs in I research group. This can be explained by better bioavailability of citrate and their influence on the regulation of lipid metabolism.

Further research in this area allows to prevent of pathological changes in different organs and tissues of pigs connected with microelementosis and to develop effective measures to enhance the adaptive capacity of animals.

Keywords: PIGLETS, ONTOGENESIS, MINERALS, CITRATE, NUTRITION, BLOOD, LIPIDS

ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ ПЛАЗМЫ КРОВИ ПОРОСЯТ В ПЕРИОД ОТЛУЧКИ ОТ СВИНОМАТОК ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

А. З. Пилипец, О. З. Сварчевская, О. М. Бучко, Л. И. Понкало
pylyp-andriy@ukr.net

Институт биологии животных НААН,
ул. В. Стуса, 38, г. Львов, 79034, Украина

В статье представлены исследования липидного обмена при сравнении действия цитратов микроэлементов и солей микроэлементов в плазме крови поросят.

Исследование проведено на 3 группах поросят-аналогов 10-суточного возраста (контрольная и две опытные) по 10 голов в каждой. Первая опытная группа поросят получала основной рацион и премикс с неорганическими солями Ферума (1500 мг/кг), Цинка (1100 мг/кг), Мангана (1100 мг/кг), Купрума (1550 мг/кг), Кобальта (10 мг/кг). Вторая опытная группа поросят потребляла основной рацион и премикс, в котором соли микроэлементов были заменены на цитраты в 10 раз меньшей концентрации, содержащие: Fe — 150 мг; Zn — 110 мг; Mn — 110 мг; Cu — 155 мг; Co — 1 мг.

Выяснено, что обмен липидов в организме поросят, получавших с кормом цитраты микроэлементов, интенсифицируется в сравнении с контрольными животными и получавшими микроэлементами солей неорганических кислот.

Скармливание цитратов микроэлементов способствовало снижению содержания неэстерифицированного холестерина и увеличению содержания триацилглицеролов в плазме крови поросят на 28 и 45 сутки жизни в сравнении с контрольными животными и животными, получавшими соли микроэлементов, что используются в традиционных премиксах.

Полученные результаты указывают на то, что добавки в форме цитратов микроэлементов имеют существенное влияние на активацию обмена липидов в организме поросят II опытной группы на 28 и 45 сутки по сравнению с добавкой неорганических солей микроэлементов, применявшейся поросятам I опытной группы, что можно объяснить лучшей биодоступностью цитратов и их влиянием на процессы регуляции обмена липидов.

Дальнейшие исследования в этом направлении позволят разработать методы предотвращения развития патологических изменений в различных органах и тканях свиней связанных с микроэлементозами, а также разработать эффективные меры повышения адаптивной способности животных.

Ключевые слова: ПОРОСЯТА, ОНТОГЕНЕЗ, МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, ЦИТРАТЫ, ПИТАНИЕ, КРОВЬ, ЛИПИДЫ

Макро- та мікроелементи, що містяться в організмі тварин і людини, діють як потужні стимулятори і забезпечують синтетичні та енергетичні процеси [1–3]. Деякі мікроелементи (Ферум, Йод, Купрум, Цинк, Кобальт, Манган тощо) визнані есенціальними, тобто життєво необхідними [4]. Дефіцит кожного

з них має величезне значення для організму тварин та людини.

Відомо, що цинк бере участь у багатьох біологічних функціях організму у складі метало-ензимів, що відповідають за гідроліз білків, полісахаридів, ліпідів. Він бере участь у метаболічних процесах, необхідний для ста-

білізації структур ДНК, РНК, рибосом та входить до складу гормону інсуліну, посилює дію гормонів гіпофізу [5].

Ферум бере участь у процесах дихання [6], виконує функції транспорту електронів (цитохроми, транспорт і депонування кисню (міоглобін, гемоглобін), бере участь у формуванні активних центрів окислювально-відновних ферментів (оксидази, гідроксилази та ін.) і депонуванні заліза (сидперофіліни, гемосидерин, ферити) [7].

Магній бере участь у понад 350-ти різних біохімічних реакціях [8] і необхідний для вуглеводного, білкового, ліпідного та фосфорного обміну; регулює енергетичний потенціал клітини. Крім того, він знижує збудження в нервових клітинах, розслаблює серцевий м'яз і тому контролює функцію всіх органів і систем — нервової, серцево-судинної, кістково-м'язової, шлунково-кишкового тракту, впливає на обмін холестерину тощо.

Купрум присутній у всіх організмах і належить до числа мікроелементів, необхідних для їх нормального розвитку. Основна роль Купруму — участь в ензимному каталізі. Купрум є активатором низки реакцій і входить до складу купрумовмісних ензимів, насамперед оксидаз, які каталізують реакції біологічного окислення.

Кобальт входить до складу вітаміну B₁₂ (кобаламін), бере активну участь в ензиматичних процесах і утворенні гормонів щитовидної залози, а також підвищує засвоєння феруму і синтез гемоглобіну, є потужним стимулятором еритропоезу.

Необхідно зазначити, що окрім загального вмісту макро- та мікроелементів у добових раціонах, важливу роль відіграє їх біологічна доступність (засвоєння у організмі): хімічна і фізична форми елемента, раціон, його збалансованість. Низка досліджень показує, що раціони, збалансовані макро- та мікроелементами без урахування їх доступності, не дають потрібного ефекту [9].

Як відомо, при переході від неорганічних форм біоелементів до органічних їх засвоєність зростає в 10 і навіть більше разів. В організмі вони включаються в енергетичний цикл трикарбонових кислот — цикл Кребса. Як

можна очікувати, біодоступність таких компонентів повинна бути дуже високою.

Солі лимонної кислоти (цитрати) найбільш повно відповідають вимогам, які ставлять до складників у кормах та продуктах харчування. Вони проявляють антиоксидантну і радіопротекторну дію, позитивно впливають на серцево-судинну й імунну системи організму. Цитрати металів каталізують обмін білків, жирів, мінеральних речовин. Використання цитратів металів сприяє підвищенню концентрації загальних ліпідів, жиророзчинних вітамінів А і Е. Крім цього, відмічається збільшення їх депонування в печінці, виявлено синергійний ефект при введенні одного мікроелемента в цитратній формі на накопичення інших мікроелементів, введених в неорганічній формі.

Важливе значення у забезпеченні загального метаболізму, а також у процесах життєдіяльності і продуктивності тварин мають ліпіди. Порушення їх обміну визначається багатьма факторами, одним із яких є мінералодефіцити. Причинами виникнення мінеральної недостатності у тварин можуть бути збіднені макро- і мікроелементами ґрунти, корми і вода зон, напружений період продуктивності, фізіологічний стан організму тварин тощо.

Тому метою досліджень було вивчити показники ліпідного обміну при порівнянні дії цитратів мікроелементів та їх неорганічних солей у плазмі крові поросят в окремі періоди онтогенезу.

Матеріали і методи

Дослід проведено у приватній агрофірмі «Агропродсервіс» Тернопільської області на поросятах породи Ландрас. Було підібрано 3 групи поросят-аналогів 10-добового віку — контрольна та дві дослідні, по 10 голів у кожній. Відлучення поросят від свиноматок проводили у 28-добовому віці. Термін згодовування добавок — 35 діб. Контрольна група тварин отримувала основний раціон та стандартний премікс «DSM» (Франція) згідно з наявними нормами.

І дослідна група отримувала основний раціон та премікс з неорганічними солями

Феруму (1500 мг/кг), Цинку (1100 мг/кг), Мангану (1100 мг/кг), Купруму (1550 мг/кг), Кобальту (10 мг/кг).

II дослідна група поросят споживала основний раціон та премікс, у якому солі мікроелементів були замінені на цитратні форми у 10 разів меншій концентрації, які містили: Fe — 150 мг; Zn — 110 мг; Mn — 110 мг; Cu — 155 мг; Co — 1 мг.

Кров відбирали з верхньої порожнистої вени на 10, 28 та 45 доби життя. Ліпіди плазми крові поросят екстрагували сумішшю хлороформ–метанол (2:1) за методом Фолча і визначали їх кількість ваговим методом. Розділення ліпідів на класи проводили методом тонкошарової хроматографії на силікагелі в системі розчинників гексан–діетиловий ефір–льодяна оцтова кислота (70 : 30 : 1), кількість ліпідів визначали біхроматним методом [10]. У плазмі крові поросят визначали вміст неестерифікованого і естерифікованого холестеролу, вміст загальних фосфоліпідів, моно- і диацилгліцеролів, триацилгліцеролів та неестерифікованих жирних кислот. Одержані цифрові дані опрацьовували статистично за допомогою програми *Microsoft Office Excel*.

Результати й обговорення

У плазмі крові поросят досліджуваних груп (Рис. 1–3) виявили фосфоліпіди, неестерифікований холестерол, моно- і диацилгліцероли, триацилгліцероли, неестерифіковані жирні кислоти (НЕЖК) та естерифікований холестерол. Відомо, що загальний вміст ліпідів свідчить про активність анаболічних процесів і мобілізацію ліпідів як джерела енергії або про їх використання в адаптивних перебудовах структурних компонентів клітин [11].

При дослідженні ліпідів плазми крові поросят на 28 добу життя виявлено тенденцію до збільшення вмісту загальних ліпідів на 0,90 % у тварин I дослідної і на 6,99 % у II дослідної групи. На 45 добу також спостерігали збільшення вмісту загальних ліпідів як у I, так і II дослідній групі — на 2,23 % і 9,89 % відповідно стосовно контролю (Рис. 1).

Дослідження ліпідного складу плазми крові поросят I дослідної групи на 28 добу

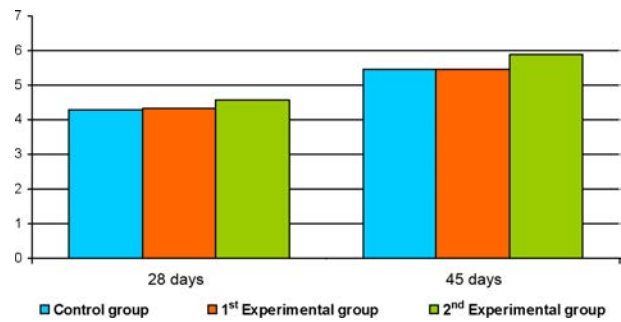


Рис. 1. Вміст загальних ліпідів у плазмі крові поросят, г/л

Fig. 1. The content of total lipids in blood plasma of piglets, g/l

життя виявили зниження диацилгліцеролів — на 22,54 % ($P < 0,01$), НЕЖК — на 11,42 % і ефірів холестеролу — на 4,16 % та збільшення вмісту фосфоліпідів — на 5,33 %, неестерифікованого холестеролу — на 27,37 %, триацилгліцеролів — на 7,57 % порівняно з тваринами контрольної групи. У II дослідній групі, порівняно з контролем, вміст фосфоліпідів збільшувався на 4,52 %, неестерифікованого холестеролу — на 20,21 % ($P < 0,001$) і триацилгліцеролів — на 11,89 % та зменшувався вміст диацилгліцеролів — на 7,24 % ($P < 0,01$), НЕЖК — на 25,26 % ($P < 0,001$) і ефірів холестеролу — на 3,62 % ($P < 0,01$) (Рис. 2)

На 28 добу життя у II дослідній групі, порівняно з I дослідною, встановлено зменшення вмісту фосфоліпідів на 0,77 %, холестеролу — на 5,62 % ($P < 0,001$), НЕЖК — на 19,75 % та збільшення вмісту диацилгліцеролів — на 19,75 %, триацилгліцеролів — на 4,01 % і ефірів холестеролу — на 0,57 % (Рис. 2).

При дослідженні складу ліпідів плазми крові поросят I дослідної групи на 45 добу життя встановлено зниження вмісту неестерифікованого холестеролу на 8,67 % ($P < 0,01$), диацилгліцеролів — на 14,70 %, НЕЖК — на 10,10 % ($P < 0,01$) і ефірів холестеролу — на 2,36 % та збільшення вмісту фосфоліпідів на 15,72 % і триацилгліцеролів — на 10,06 % порівняно з контролем (Рис. 3).

У 45-добових тварин II дослідної групи виявлено збільшення вмісту фосфоліпідів на 16,18 % і триацилгліцеролів — на 24,89 % та зменшення вмісту неестерифікованого холестеролу на 25,67 % ($P < 0,01$), диацилгліцеролів — на 4,03 %, НЕЖК — на 13,87 % ($P < 0,01$)

і ефірів холестеролу — на 3,11 % ($P<0,01$) порівняно з тваринами контрольної групи (Рис. 3).

На 45 добу життя у II дослідній групі, порівняно з I дослідною, встановлено тенденцію до збільшення вмісту фосфоліпідів на 0,40 %, диацилгліцеролів — на 12,51 % і три-

ацилгліцеролів — на 13,48 % та зменшення вмісту неестерифікованого холестеролу — на 18,62 %, НЕЖК — на 4,19 % і ефірів холестеролу — на 0,77 % (Рис. 3).

У 45-добових тварин II дослідної групи виявлено збільшення вмісту фосфоліпідів на

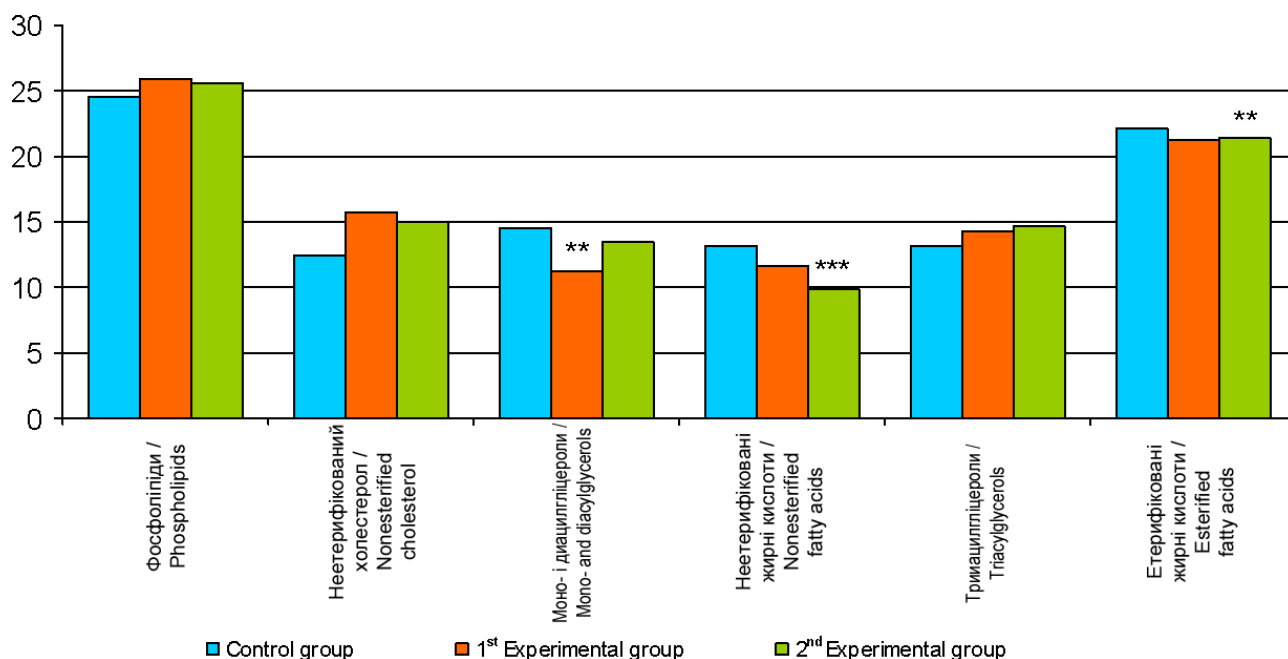


Рис. 2. Вміст ліпідів в плазмі крові поросят на 28 добу життя, %
Fig. 2. The content of lipids in blood plasma of piglets at 28th day of life, %

Примітка: у цьому і наступному рисунках вірогідність між контрольною та дослідними групами **— $P<0,01$, ***— $P<0,001$
Note: in this and the following figures probability between control and experimental groups ** — $P<0,01$, *** — $P<0,001$

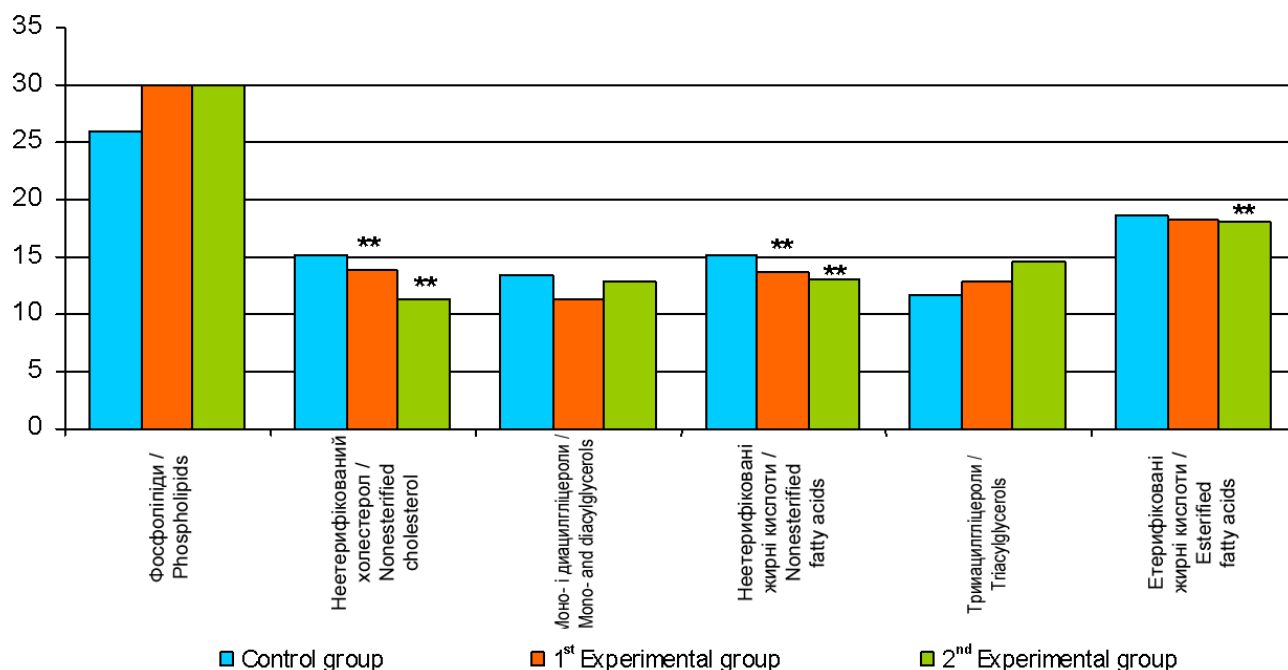


Рис. 3. Вміст ліпідів плазми крові поросят на 45 добу життя, %
Fig. 3. The content of lipids in blood plasma of piglets at 45th day of life, %

16,18 % і триацилгліцеролів — на 24,89 % та зменшення вмісту неестерифікованого холестеролу на 25,67 % ($P < 0,01$), диацилгліцеролів — на 4,03 %, НЕЖК — на 13,87 % ($P < 0,01$) і ефірів холестеролу — на 3,11 % ($P < 0,01$) порівняно з тваринами контрольної групи (Рис. 3).

У 45-добових тварин II дослідної групи виявлено збільшення вмісту фосфоліпідів на 16,18 % і триацилгліцеролів — на 24,89 % та зменшення вмісту неестерифікованого холестеролу на 25,67 % ($P < 0,01$), диацилгліцеролів — на 4,03 %, НЕЖК — на 13,87 % ($P < 0,01$) і ефірів холестеролу — на 3,11 % ($P < 0,01$) порівняно з тваринами контрольної групи (Рис. 3).

На 45 добу життя у II дослідній групі, порівняно з I дослідною, встановлено тенденцію до збільшення вмісту фосфоліпідів на 0,40 %, диацилгліцеролів — на 12,51 % і триацилгліцеролів — на 13,48 % та зменшення вмісту неестерифікованого холестеролу на 18,62 %, ВЖК — на 4,19 % і ефірів холестеролу — на 0,77 % (Рис. 3).

Результати досліджень свідчать, що зниження НЕЖК як на 28 так, і на 45 добу у крові поросят I і II дослідних груп можна пояснити посиленням процесів ПОЛ, а також необхідністю використання жирних кислот в енергетичних процесах шляхом β -окислення та підсилення процесів реакціювання, а також збільшення інтенсивності включення жирних кислот у фосфоліпіди та триацилгліцероли.

Моно- і диацилгліцероли є посередниками синтезу триацилгліцеролів і фосфоліпідів. Низький вміст цих ліпідів у плазмі крові поросят як на 28, так і на 45 добу у I і II дослідних групах свідчить про спрямування ліпідного метаболізму в напрямку синтезу структурних ліпідів.

Відомо, що триацилгліцероли є одним із чинників стабілізації клітинних мембран і в стресових умовах вони є попередниками утворення диацилгліцеролів, неестерифікованих жирних кислот [12] і фосфоліпідів. Зростання вмісту триацилгліцеролів як на 28, так і на 45 доби у крові поросят I і II дослідних груп є свідченням накопичення енергетичного матеріалу в тканинах та пов'язане з утворенням їх у процесі обміну глюкози через L- α -гліцерофосфат. Також відомо, що швид-

кість синтезу триацилгліцеролів змінюється під впливом гормонів. Так, інсулін стимулює перетворення вуглеводів у триацилгліцероли.

Відомо, що неестерифікований холестерол поряд з фосфоліпідами впливає на проникність мембран, забезпечує їх ультраструктуру і функціональну активність, інтенсифікує роботу багатьох мембранозв'язаних ензимів та систем пасивного транспорту [13], а також щільність бішару мембрани. Зниження неестерифікованого холестеролу на фоні незначного зниження естерифікованого холестеролу у плазмі крові поросят на 45 добу у I і II дослідних груп свідчить про підвищення функціональної активності тканин, що, можливо, вказує на зміни процесів естерифікації і гідролізу холестеролу в організмі під впливом біологічно активних речовин (у цьому випадку цитратів мікроелементів). Як правило, естерифікований холестерол перебуває в цитозолі клітини і є запасною формою неестерифікованого холестеролу [14]. У лізосомах клітин є активна гідролаза естерифікованого холестеролу, а в ендоплазматичному ретикулумі — ацил-КоА-холестерол-ацилтрансфераза. Ці два ензими, залежно від умов і потреб клітини, здійснюють гідроліз або синтез естерифікованого холестеролу. Також зменшення неестерифікованого холестеролу відбувається при його використанні для синтезу статевих гормонів та гормонів коркового шару наднирників під час стресу.

Одержані результати вказують на те, що добавки у вигляді цитратів Fe, Zn, Mn, Cu, Co мають суттєвіший вплив на активацію обміну ліпідів в організмі поросят II дослідної групи на 28 та 45 добу порівняно з добавкою неорганічних солей мікроелементів, яку застосовували поросят I дослідної групи, що можна пояснити кращою біодоступністю цитратів та їх впливом на процеси регуляції обміну ліпідів.

Висновки

Обмін ліпідів в організмі поросят, які отримували з кормом цитрати мікроелементів, інтенсифікується порівняно з контрольними тваринами та тими, які отримували неорганічні солі мікроелементів.

Згодовування цитратів мікроелементів сприяло зниженню вмісту неестерифікованого холестеролу та збільшенню вмісту триацилгліцеролів у плазмі крові поросят на 28 та 45 добу життя порівняно з контрольними тваринами та тваринами, які отримували мікроелементи у неорганічній формі.

Перспективи подальших досліджень.

З наведених вище даних видно, що згодовування цитратів мікроелементів краще впливало на метаболізм ліпідів у плазмі крові поросят і сприяло зниженню вмісту неестерифікованого холестеролу та збільшенню вмісту триацилгліцеролів. Подальші дослідження в цьому напрямку дадуть змогу запобігати розвитку патологічних змін в різних органах і тканинах свиней, пов'язаних з дефіцитом мікроелементів, а також розробити ефективні заходи підвищення адаптивної здатності тварин.

1. Skalnyy A. V., Rudakov I. A. Bioelements in medicine. M., *Oryx 21st Century*, 2004, 272 p. (in Russian)

2. Gulich M. P. The problems of micronutrient deficiency in the diet of modern man, ways to overcome. Eating a factor of public health: abstracts. ext. Intern. saens. Pract. Conf., K., 2003, 45 p. (in Ukrainian)

3. Storozhok N. M. The biological effect of the macro- and micronutrients: Manual (for students), 2006, 24 p. (in Russian)

4. Shih E. V., Ramenskaya G. V., Syichev D. A. Contact pharmacokinetics pharmacodynamics. *Clinical Pharmacology*. 2005, vol. 4, no. 4, pp. 12–19. (in Ukrainian)

5. Zozulyak V. I. The biological role and daily balance of trace elements (copper, iron, chromium, manganese, zinc, lithium, cadmium) in the body of

healthy people and patients with tuberculosis destructive. *Ukrainian pulmonology journal*, 1994, no. 1, pp. 40–42. (in Ukrainian)

6. Bratushko Yu. I., Yatsimirskiy K. B. Coordination compounds of 3D transition metals with molecular oxygen. Russian Chemical coordination compounds. Kyiv, *Nauk. dumka*, 1975, pp. 7–71. (in Ukrainian)

7. Tsypriyan V. I. Kuzminska O. V. Nutritional factors of iron deficiency among women of childbearing age. Eating a factor of public health: abstracts. ext. Intern. nauk. and practical. Conf. Kyiv, 2003, 89 p. (in Ukrainian)

8. Chekman I. S. Magnesium drugs: pharmacological properties, application. Zaporizhzhya-Kyiv, 2007, 123 p. (in Ukrainian)

9. Panchenko L. F., Maev I. V., Gurevich K. G. Clinical chemistry of trace elements. M., 2004, 368 p. (in Russian)

10. Kates M. Techniques of lipidology. Amsterdam, Elsevier, 1986, 451 p.

11. Klimov A. N., Nikulicheva N. G. Exchange of lipids and lipoproteins and its on-fracture: a guide for physicians. St. Petersburg, Peter Com, 1999, p. 512. (in Russian)

12. Lewis R. N. A. H., McElhaney R. N. Surface charge markedly attenuates the nonlamellar phase-forming properties of lipid bilayer membranes: calorimetric and ³¹P-nuclear magnetic resonance studies of mixtures of cationic, anionic, and zwitterionic lipids. *Biophys. J.*, 2000, Vol. 79, no. 3, pp. 1455–1464.

13. Gulik-Krzywicki T. Structural studies of the associations between biological membrane components. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1995, vol. 105, no. 1, pp. 161–214.

14. Bahlay O. M., Murska S. D., Hutyy B. F., Hufriy D. F. Antioxidant system and lipid peroxidation of animals. *Scientific Messenger of LNUVMB named after S. Z. Gzhytsky*, 2011, vol. 13, no 4 (50), part 2, pp. 3–11. (in Ukrainian)