

Вплив гормонів щитоподібної залози на ліпідний профіль крові у телиць залежно від віку

Н.М. Федак¹, Л.М. Піддубна², О.В. Лесновська³, Л.П. Миколайчук³,
Д.Ф. Милостива⁴, А.В. Бабченко⁴, Р.В. Милостивий³

¹Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України, с. Оброшине, Львівська область;

²Поліський національний університет, Житомир;

³Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

⁴Дніпропетровський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, Дніпро; e-mail: mylostivad@i.ua

Оцінено секреторну активність щитоподібної залози (ЩЗ) та ефекти тиреоїдних гормонів в організмі телиць волинської м'ясної породи залежно від віку. Відзначено вікові зміни ліпідного обміну та синтезу вільних жирних кислот (ЖК) за умов впливу тиреоїдних гормонів. Встановлено, що ефекти гормонів реалізуються переважно через трийодтиронін (Т3), вміст якого пов'язаний з основними параметрами ліпідного обміну. У тварин максимальний вміст тироксину (Т4) був у віці 8 міс і потім поступово знижувався на 21,8 та 45,2% відповідно у 15- та 18-місячному віці. Мінімальний вміст Т3 був у 15 міс, максимальний – у 18 міс. Вік також впливав і на показники ліпідного обміну. Вміст загальних ліпідів (ЗЛ) у 15 та 18 міс був меншим на 16,61 та 66,35% відповідно щодо значень 8-місячних тварин. Також вміст загального холестерину (ХС) у 15- та 18-місячних тварин був нижчим на 14,9 та 21,1% відповідно. Найбільш виражені взаємозв'язки у 8-місячному віці спостерігалися між вмістом Т3 та пальмітиновою і олеїною кислотами, а також Т4 і каприноюю кислотою; у 15-місячних тварин – між Т3 та олеїною кислотою і Т4 та арахідоноюю кислотою; у 18-місячних тварин – між Т3 та пальмітиновою кислотою і Т4 та стеариноюю кислотою. Отримані результати дають змогу використовувати показники гормонально-метаболических зв'язків для оцінки фізіологічного стану тварин різного віку.

Ключові слова: метаболізм; обмін ліпідів; тиреоїдні гормони; вікові відмінності; жирні кислоти.

ВСТУП

Йодовмісні гормони щитоподібної залози (ЩЗ) відіграють ключову роль у регуляції обмінних та енергетичних процесів в організмі. Збільшення їх концентрації знижує синтез адреналіну та норадреналіну в надниркових залозах. Внаслідок чого зменшується вміст катехоламінів, проявляються симптоми розвитку тахікардії та брадикардії [1]. Гормони ЩЗ регулюють низку фізіологічних процесів на клітинному рівні, впливають на ріст, розвиток та загальний метаболізм організму. Їх ефекти реалізуються як через геномний механізм, так і через дію на плазматичну мембрану, цитоплазму та

мітохондрії клітин. Трийодтиронін (Т3) і тироксин (Т4) вільно проникають із крові до клітин, взаємодіють з мембранними сенсорами, формують внутрішньоклітинні комплекси з білками. Їх транспорт до клітин так само залежить від наявності АТФ і позаклітинного вмісту іонів натрію [2].

Тиреоїдні гормони впливають на процеси гліюконеогенезу, окиснення жирних кислот (ЖК), синтезу жовчних кислот, метаболізму холестерину, чутливості до інсуліну. Підвищені концентрації ліпопротеїнів низької і високої щільності часто спостерігають при гіпотиреозі, тоді як при гіпертиреозі вони знижуються [3]. Ці

гормони також є важливими стимуляторами ліпогенезу в печінці, оскільки активують експресію генів синтази ЖК ацетил-КоА-карбоксілази α (Acsc1) і Spot14, чутливого до дії гормонів ЩЗ. Водночас тиреоїдні гормони посилюють процеси ліполізу у жирових депо, забезпечуючи організм необхідними ЖК [4].

Було доведено вплив тиреоїдних гормонів на молокоутворення у жуйних тварин, завдяки стимуляції секреторної функції вимені, синтезу молочних білків і жиру, що так само сприяє підвищенню молочної продуктивності [5]. Позитивний вплив Т4 на біосинтез білків молока є наслідком зміни проникності мембран і активності ферментів, які беруть участь у синтезі білкових молекул. Т4 збільшує період поглинання і виділення білка тканинами молочної залози, сприяючи тим самим його накопиченню у крові. У окремих видів тварин Т3 та Т4 можуть змінювати фракційний склад молока [6].

У корів вік суттєво впливає на функцію ЩЗ. З віком вміст тиреоїдних гормонів зазвичай знижується, що призводить до уповільнення метаболізму. Найвищий вміст гормонів спостерігається у молодому віці, а у статевозрілих тварин зменшується синтез гормонів, що може спричинити гіпотиреоз, зниження продуктивності та чутливість до змін кліматичних умов навколишнього середовища.

Мета нашого дослідження – з'ясувати вікові особливості секреції Т3 і Т4 у телиць волинської м'ясної породи, охарактеризувати вплив цих гормонів на ліпідний обмін, пул ЖК сироватки крові та взаємозв'язок із основними метаболічними показниками.

МЕТОДИКА

Під час роботи з тваринами дотримувалися вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються в експериментальних і наукових цілях (ETS № 123, Страсбург, 1986), а також Закону України «Про захист тварин від жорстокого

поводження» № 3447-IV від 21.06.2006 р. (зі змінами від 04.08.2017 р.). Експеримент проводили на 30 телицях волинської м'ясної породи віком 8, 15 і 18 міс, яких утримували у СТОВ «Зоря» Ковельського району Волинської області. Умови утримання та догляду за тваринами у всіх дослідних групах були однаковими. Мікроклімат у тваринницьких приміщеннях під час досліджень відповідав зоогігієнічним нормам (ДСТУ 7823:2015 «Ферми тваринницькі. Вимоги до параметрів мікроклімату тваринницьких приміщень»). Тварин годували збалансованими раціонами відповідно до віку, живої маси й середньодобового приросту, згідно з детальними нормами годівлі м'ясної худоби. На проведення дослідження було отримано дозвіл комісії з біоетики та академічної доброчесності Інституту сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України (протокол № 7 від 14.01.2025 р.).

Забір крові здійснювали натще з яремної вени перед початком досліджень, дотримуючись правил ветеринарної септики та антисептики. У сироватці, яку отримували відстоюванням крові, визначали вміст таких показників: загальні ліпіди (ЗЛ, г/л), загальний холестерин (ЗХ, ммоль/л), холестерин ліпопротеїнів високої щільності (ХС ЛПВЩ, ммоль/л), холестерин ліпопротеїнів низької щільності (ХС ЛПНЩ, ммоль/л), триацилгліцериди (ТГ, ммоль/л), Т4 (нмоль/л), Т3 (нмоль/л), а також розраховували співвідношення Т4/Т3.

Імуноферментний аналіз виконували в непрямому твердофазному варіанті з використанням 96-луночних полістиролових планшетів «Biomerica Calcitonin ELISA» і «PLIVA-Lachema Diagnostika» (США).

Розрахунковим методом за біохімічними показниками крові визначали: співвідношення Т4/Т3 (ум. од.); ХС ЛПВЩ/ХС ЛПНЩ (ум. од.); ТГ/ЗЛ та ЗХ/ЗЛ (ум. од.). Пул ЖК сироватки крові досліджували методом газової хроматографії на приладі Trace

GC Ultra (США) з полум'яно-іонізаційним детектором [7]. Основні параметри аналізу: температура колонки – 140–240°C, детектора – 260°C, тривалість – 65 хв; внутрішній діаметр колонки – 0,25 мм, довжина – 30 м, нерухома фаза типу FFAP, товщина плівки – 0,25 мкм. Етилювання ЖК здійснювали за методом Carreau і Dubacq [8]. Піки ідентифікували з використанням стандарту Supelco 37 Component FAME Mix. Для кількісного аналізу застосовували метод внутрішньої нормалізації – визначали площі піків компонентів та їхню частку у загальній площі метильованих ЖК. Кожну пробу аналізували у двох повтореннях.

Статистичну обробку результатів виконували з використанням табличного процесора Microsoft Excel та програм «Біометрія» і «Версія». Для оцінки зв'язку між ознаками розраховували коефіцієнти кореляції (r) за Пірсоном.

РЕЗУЛЬТАТИ

У процесі росту організму тиреоїдні гормони беруть участь в утворенні інсуліноподібних факторів росту, які опосередковують дію соматотропного гормону та здійснюють регуляторний вплив на ріст і розвиток організму. Вміст гормонів ЩЗ у крові телиць залежав від віку (табл. 1). Максимальний вміст Т4 реєструвався у віці 8 міс і становив $53,83 \pm 0,86$ нмоль/л. Надалі зі збільшенням віку він поступово знижувався: у 15 міс – $44,20 \pm 1,92$ нмоль/л ($P \leq 0,001$), у 18 міс – $37,07 \pm 1,68$ нмоль/л ($P \leq 0,001$), що відповідало зменшенню на 31,14% порівняно зі зниженням у 8 міс.

Таблиця 1. Вікова динаміка вмісту тиреоїдних гормонів у крові тварин ($M \pm m$; $n = 10$)

Показник	8 міс	15 міс	18 міс
Тироксин (Т4), нмоль/л	$53,83 \pm 0,86$	$44,20 \pm 1,92^{***}$	$37,07 \pm 1,68^{***}$
Трийодтиронін (Т3), нмоль/л	$3,09 \pm 0,07$	$2,63 \pm 0,13^*$	$3,76 \pm 0,17^*$
Т4/Т3	$17,42 \pm 0,39$	$16,81 \pm 1,05$	$9,86 \pm 0,57^{***}$

Примітки: тут і у табл. 2, 3: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$ вірогідність щодо значень у 8-місячних телиць.

Динаміка Т3 протягом досліджуваного вікового періоду була менш вираженою, із мінімальними значеннями у 15-міс тварин та максимальними у 18-місячних ($P \leq 0,05$). Водночас співвідношення Т4/Т3 з віком знижувалося, що вказує на підвищення швидкості біоконверсії Т4 у Т3 і зростання функціональної активності ЩЗ в організмі телиць у процесі їхнього росту та розвитку.

Результати дослідження ліпідного обміну у тварин віком 8–18 міс показали, що процеси росту в цей віковий проміжок супроводжуються змінами основних ліпідних показників (табл. 2). У 8-місячному віці у телиць відзначали максимальні значення вмісту ЗЛ та ЗХ. У цьому віці ліпідний метаболізм ще перебуває на рівні підсисного періоду, тому виключення з раціону молока корів-матерів супроводжувалося зниженням у крові концентрації цих показників. Найнижчий їх вміст спостерігали у 18-місячних тварин. Найбільше зменшення відзначено для ЗЛ (на 40%, $P \leq 0,001$), ймовірно, внаслідок накопичення у жирових депо організму. Водночас із віком збільшувався вміст ТГ: у 18-місячних телиць він був на 53% ($P \leq 0,001$) вищим, ніж у 8 міс.

У 15-місячних тварин порівняно з 8-місячними вміст ЗХ на 17,4% ($P \leq 0,05$) зменшувався, що пов'язано з використанням його для побудови клітинних мембран, синтезу стероїдних гормонів і жовчних кислот. Це підтверджується також динамікою вмісту ХС ЛПВП, який з віком підвищувався з $1,48 \pm 0,03$ до $2,15 \pm 0,09$ ммоль/л. Збільшувався й вміст ХС ЛПВП у загальному пулі ЗХ крові: у 8-місячних телиць цей показник становив $38,1 \pm 3,92\%$, у період статевої зрі-

Таблиця 2. Вікові зміни показників ліпідного обміну у телиць (М ± m; n = 10)

Показник	8 міс	15 міс	18 міс
Загальні ліпіди, г/л	3,51±0,13	3,01±0,05*	2,11±0,26***
Загальний холестерин (ЗХ), ммоль/л	3,90±0,27	3,32±0,22	3,22±0,13*
Триацилгліцериди, ммоль/л	0,21±0,0,3	0,39±0,02***	0,45±0,08**
Холестерин ліпопротеїнів високої щільності (ХС ЛПВЩ), ммоль/л	1,48±0,03	1,91±0,05***	2,15±0,09**
ХС ЛПВЩ/ЗХ	38,14±3,92	53,06±4,35	66,77±2,95***
Холестерин ліпопротеїнів низької щільності (ХС ЛПНЩ), ммоль/л	0,96±0,05	1,13±0,03*	1,19±0,02**
ХС ЛПНЩ/ЗХ	1,54±0,12	1,69±0,06	1,81±0,06

лості – $53,1 \pm 4,35\%$, а у фізіологічно зрілих тварин – $66,8 \pm 2,95\%$.

Для оцінки зв'язку вмісту тиреоїдних гормонів із показниками ліпідного обміну було визначено коефіцієнти кореляції. Достовірні зв'язки між вмістом гормонів у крові та показниками ліпідного метаболізму, незалежно від віку тварин, встановлено лише для Т3. У крові телиць він достовірно корелював із концентрацією ЗХ, що підкреслює вплив холестерину на регуляцію активності ферменту білка-переносника ефірів холестерину з ХС ЛПВЩ у ХС ЛПНЩ, а також стимуляцію ліпази жирової тканини. Тому вміст Т3 у крові телиць був пов'язаний з вмістом холестерину у складі ЛПВЩ і ЛПНЩ.

Процеси статевого та фізіологічного дозрівання у віковому інтервалі від 8 до 18 міс супроводжувалися зниженням вмісту ЗЛ на 40% ($P \leq 0,001$), ЗХ – на 17,4% ($P \leq 0,05$), а також збільшенням вмісту ТГ на 53% ($P \leq 0,001$). Зменшення вмісту ЗХ з віком є наслідком його використання у біосинтезі статевих гормонів та жовчних кислот, що підтверджується збільшенням кількості холестерину у складі ЛПВЩ на 45,1%, у складі ЛПНЩ – на 24% ($P \leq 0,01$). Зміни ліпідних показників у крові телиць також пов'язані із концентрацією Т3. Достовірні кореляції відзначено між вмістом Т3 та ЗХ ($r = 0,76$, $P \leq 0,01$), а також із вмістом холестерину у складі ЛПВЩ та ЛПНЩ, що підтверджу-

ється значеннями коефіцієнтів кореляції у парах Т3–ХС ЛПВП (від $-0,63 \pm 0,27$ до $-0,73 \pm 0,24$) і Т3–ХС ЛПНП (від $-0,61 \pm 0,28$ до $0,83 \pm 0,19$). У табл. 3 наведено кореляційні зв'язки між вмістом гормонів ЩЗ та концентрацією ЖК у сироватці крові тварин у різні вікові періоди.

Слід відмітити, що тиреоїдні гормони демонструють позитивні кореляційні зв'язки з частиною пулу ЖК. Найвищі кореляції у віці 8 міс спостерігалися між вмістом Т3 і пальмітиновою кислотою та олеїновою кислотою ($r = 0,62$, $P < 0,01$), а також між вмістом Т4 і каприновою кислотою ($r = 0,65$, $P < 0,05$). У 15 міс найбільший коефіцієнт кореляції був між вмістом Т3 і олеїновою кислотою ($r = 0,71$, $P < 0,01$), а також між вмістом Т4 і арахідоною кислотою ($r = 0,77$, $P < 0,01$). У 18-місячних тварин максимальну кореляцію відмічено між вмістом Т3 і пальмітиновою кислотою ($r = 0,74$, $P < 0,01$) та між вмістом Т4 і стеариновою кислотою ($r=0,76$, $P < 0,01$).

ОБГОВОРЕННЯ

Одним із основних факторів, що визначають швидкість росту і розвитку тварин, є функціональний стан ендокринної системи, яка регулює обмін речовин і функції організму. Важливу роль у механізмах, що забезпечують реалізацію генетичного потенціалу продуктивності в процесі росту тварин, відіграють

тиреоїдні гормони, які, визначають активність і спрямованість метаболічних реакцій як у клітинах, так і в організмі в цілому [9].

Метаболізм тиреоїдних гормонів телиць в період після відлучення був спрямований на підтримання та зростання вмісту Т3, за допомогою якого контролюється обмін речовин і енергії завдяки його здатності зв'язуватися з клітинними рецепторами в різних органах і тканинах та впливати на експресію генів. Одним із провідних обмінів речовин у організмі є ліпідний – складний фізіологічний процес, який бере участь у регуляції поживних речовин, гормональному забезпеченні та підтриманні гомеостазу. Вплив гормонів ЩЗ на метаболізм ліпідів являє собою багатогранний, зумовлений регуляцією процесів ліпогенезу та ліполізу. Гормони ЩЗ беруть безпосередню участь у регуляції інтенсивності ліпідного обміну, що визначають ефективність окисного фосфо-

рилювання. У ліпідному обміні тиреоїдні гормони частіше посилюють катаболічні процеси порівняно з анаболічними [10, 11]. За умов гіпертиреозу в крові тварин збільшується концентрація нез'язаних ЖК через підвищення активності ліпопротеїнази та посилення реакцій окиснення ЖК, що супроводжується зменшенням маси тіла [12, 13]. Водночас інсулін з тиреотропним гормоном гіпофіза також впливає на тканину ЩЗ за допомогою регуляції росту та функціонального стану тиреоцитів, а також сприяє посиленню експресії рецепторів інсуліну та його аутофосфорилування [14, 15].

На активність ліпідного обміну тиреоїдні гормони впливають також через здатність зв'язуватися з аполіпопротеїнами крові. Швидкість приросту маси тіла у телиць, як результат реалізації генотипу, пов'язана з функціональною активністю клітин органів і тканин, що відображається у складі кро-

Таблиця 3. Кореляційні зв'язки між жирнокислотним складом сироватки крові та вмістом тиреоїдних гормонів тварин у різні вікові періоди

Показник	8 міс	15 міс	18 міс	
Пари кореляційних параметрів				
Трийодтиронін, нмоль/л	Капринова кислота (C10:0)	r=0,33, P < 0,05	r=0,28, P < 0,05	r=0,47, P < 0,05
	Лауринова кислота (C12:0)	r=0,55, P < 0,01	r=0,41, P < 0,05	r=0,52, P < 0,05
	Пальмітинова кислота (C16:0)	r=0,62, P < 0,01	r=0,37, P < 0,05	r=0,74, P < 0,01
	Стеаринова кислота (C18:0)	r=0,48, P < 0,05	r=0,36, P < 0,05	r=0,45, P < 0,05
	Олеїнова кислота (C18:1)	r=0,62, P < 0,05	r=0,71, P < 0,01	r=0,70, P < 0,01
	Пальмітоолеїнова кислота (C16:1)	r=0,38, P < 0,05	r=0,62, P < 0,05	r=0,41, P < 0,05
	Нервонова кислота (C24:1)	r=0,44, P < 0,05	r=0,33, P < 0,05	r=0,52, P < 0,05
	Лінолева кислота (C18:2)	r=0,51, P < 0,05	r=0,51, P < 0,05	r=0,63, P < 0,05
	Арахідонова кислота (C20:4)	r=0,56, P < 0,05	r=0,35, P < 0,05	r=0,47, P < 0,05
	Тироксин, нмоль/л	Капринова кислота (C10:0)	r=0,65, P < 0,05	r=0,58, P < 0,05
Лауринова кислота (C12:0)		r=0,57, P < 0,05	r=0,45, P < 0,05	r=0,54, P < 0,05
Пальмітинова кислота (C16:0)		r=0,52, P < 0,05	r=0,70, P < 0,01	r=0,44, P < 0,05
Стеаринова кислота (C18:0)		r=0,42, P < 0,05	r=0,41, P < 0,05	r=0,76, P < 0,01
Олеїнова кислота (C18:1)		r=0,33, P < 0,05	r=0,35, P < 0,01	r=0,24, P < 0,01
Пальмітоолеїнова кислота (C16:1)		r=0,26, P < 0,05	r=0,42, P < 0,05	r=0,42, P < 0,05
Лінолева кислота (C18:2)		r=0,37, P < 0,05	r=0,42, P < 0,05	r=0,28, P < 0,05
Арахідонова кислота (C20:4)		r=0,34, P < 0,05	r=0,77, P < 0,01	r=0,43, P < 0,05

ві. Процеси статевого і фізіологічного дозрівання, які відбуваються у телиць у період після відлучення, зумовлені досягненням критичної маси тіла та накопиченням певної кількості жирових резервів [16]. Таким чином, віковий приріст маси тіла супроводжується відповідними змінами активності ліпідного метаболізму.

У організмі жуйних тварин ТГ, як джерело ЖК, є основним енергетичним субстратом, що використовується клітинами для отримання енергії. Згідно з літературними даними, вони активно вилучаються з крові клітинами печінки, жирової та м'язової тканин [17]. Отже, попри зменшення вмісту ЗЛ у крові, активність ліпідного метаболізму в організмі телиць із віком змінюється.

ЗХ у складі ЛПВП відображає активність синтезу статевих гормонів і швидкість виведення його надлишку з організму через жовчні кислоти в печінці або проникнення через ендотеліальний бар'єр. Ліпідний метаболізм у телиць був спрямований на забезпечення процесів статевого і фізіологічного дозрівання, які тісно пов'язані з синтезом статевих гормонів і використанням холестерину для стероїдогенезу.

Збільшення вмісту ХС ЛПВЩ супроводжувалося одночасним підвищенням вмісту ХС ЛПНЩ. У складі останніх холестерин і ЖК здатні проникати в стінку судин і використовуватися для потреб ендотеліальних клітин, забезпечуючи підтримання кровотоку та реалізацію функцій крові [18]. Зменшення вмісту ЗХ у крові тварин з віком свідчить про його активне використання в процесах життєдіяльності організму в онтогенезі. Таким чином, ефекти тиреоїдних гормонів в організмі телиць визначалися здатністю Т3 регулювати активність ферментів, що каталізують реакції ліпідного обміну.

Основний контроль метаболізму гормонів ЩЗ у печінці опосередковується експресією ферментів родини дейодиназ (D1, D2, D3). D1 експресується в печінці, де забезпечує плазматичний гомеостаз Т3 і

кліренс реверсного Т3 з кровообігу. Висока чутливість експресії D1 до вмісту Т3 дає змогу розглядати її як індикатор тиреоїдного стану печінки [19]. Водночас внутрішньоклітинний вміст Т3 у гепатоцитах значною мірою визначається активністю D2 [20]. За умов дії низьких температур зовнішнього середовища симпатична нервова система індукує експресію D2 в адипоцитах бурої жирової тканини, що сприяє локальному перетворенню Т4 у Т3 та активації транскрипції генів, залучених до термогенезу [21].

Тиреоїдні гормони стимулюють процеси ліполізу у білій жировій тканині та використання жирів харчового походження для утворення циркулюючих ЖК, які є основним джерелом ліпідів для печінки. Поглинання ЖК із ліпопротеїнів, багатих на ТГ, змінюється залежно від тиреоїдного статусу: за умов гіпертиреозу зростає поглинання в печінці та м'язах, тоді як за гіпотиреозу – у білій жировій тканині.

ЖК також беруть участь у регуляції синтезу жовчних кислот і обміну холестерину. При обстеженні людей і у дослідженнях на тваринах показано, що збільшення вмісту ЖК супроводжується зменшенням вмісту холестерину в плазмі крові, який синтезується з ацетил-КоА через складний метаболічний шлях за участю 3-гідрокси-3-метилглютарил-КоА-редуктази [22].

Мобілізація, деградація та β -окиснення ЖК сприяють прискоренню метаболізму тиреоїдних гормонів. Це відбувається завдяки збільшенню активності печінкових ліпаз, ліпофагії та мітохондріального окиснення. Поліненасичені ЖК, входячи до складу клітинних і цитоплазматичних мембран, а також ліпопротеїдів-переносників, визначають їхні фізико-хімічні й функціональні властивості. Зростання вмісту арахідонової та лінолевої кислот у сироватці крові тварин може бути пов'язане зі змінами у синтезі ейкозаноїдів і простагландинів, а також із особливостями адаптаційних реакцій орга-

нізму. Разом із гормонально-метаболическими механізмами, тиреоїдні гормони беруть участь у функціонуванні імунної системи, що проявляється у взаємозв'язку ендокринної регуляції та неспецифічної резистентності організму [23]. У цьому контексті комплексна оцінка метаболічного статусу тварин, доповнена сучасними неінвазивними підходами [24], може значно розширити можливості дослідження адаптаційних процесів у великої рогатої худоби.

ВИСНОВКИ

1. Вміст гормонів ЩЗ у телиць залежав від віку, що підтверджувалося динамікою Т4 і Т3. Мінімальний вміст Т4 був у віці 18 міс, що на 31,1% менше, ніж у 8 міс. Мінімальний вміст Т3 відмічався у віці 15 міс, максимальний – у 18 міс. Найвище співвідношення Т4/Т3 відмічалось у віці 8 місяців, що було на 76,7% більшим, ніж у 18 міс.

2. Ліпідний обмін тісно корелював із віком тварин. Вміст ТГ, ХС ЛПВЩ і ХС ЛПНЩ з віком мали відмінності: у 8-місячних тварин він був на 46,2, 22,5 та 15,0% меншим порівняно з 15-місячними та на 53,3, 31,2 та 19,3% порівняно з 18-місячними тваринами.

3. Роль тиреоїдних гормонів у регуляції ліпідного обміну в організмі телиць підтверджена достовірними кореляціями, встановленими для Т3 з основними ліпідними параметрами крові. Зокрема, Т3 позитивно корелював із вмістом ЗХ ($r = 0,76-0,98$) і був пов'язаний із вмістом ХС ЛПВЩ та ХС ЛПНЩ.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

N. Fedak¹, L. Piddubna², O. Lesnovska³,
L. Mykolaichuk³, D. Mylostyva⁴, A. Babchenko⁴,
R. Mylostyvyi³

THE INFLUENCE OF THYROID HORMONES ON THE BLOOD LIPID PROFILE IN HEIFERS DEPENDING ON AGE

¹Institute of Agriculture of the Carpathian region of NAAS, Obroshyne village, Lviv region;

²Polissia National University, Zhytomyr;

³Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro;

⁴Dnepropetrovsk Scientific Research Institute of Forensic Expertise of the Ministry of Justice of Ukraine, Dnipro;
e-mail: mylostivad@i.ua

The secretory activity of the thyroid gland (TG) and the effects of thyroid hormones in the bodies of heifers of the Volyn beef breed were assessed according to age. Age-related changes in lipid metabolism and free fatty acids (FFA) synthesis were observed under the influence of thyroid hormones. It was established that the effects of the hormones are mediated primarily by triiodothyronine (T3), the concentration of which is associated with key parameters of lipid metabolism. In the animals, the maximum thyroxine (T4) content was observed at 8 months of age and subsequently decreased gradually by 21.8% and 45.2% at 15 and 18 months of age, respectively. The lowest T3 levels were observed at 15 months, and the highest at 18 months. Age also influenced lipid metabolism parameters. Total lipid (TL) levels at 15 and 18 months were 16.61% and 66.35% lower, respectively, compared to 8-month-old animals. Compared to 8-month-old animals, total cholesterol (TC) levels in 15- and 18-month-old animals were also lower by 14.9% and 21.1%, respectively. The influence of thyroid hormones on FFA synthesis, depending on age, was also observed. The most pronounced correlations at 8 months of age were observed between T3 levels and palmitic acid and oleic acid, as well as T4 and capric acid; in 15-month-old animals-between T3 and oleic acid and T4 and arachidonic acid; in 18-month-old animals-between T3 and palmitic acid and T4 and stearic acid. The results obtained allow the use of indicators of hormonal-metabolic relationships to assess the physiological state of animals of different ages.

Key words: metabolism; lipid metabolism; thyroid hormones; age-related differences; fatty acids.

REFERENCES

1. Mullur R, Liu YY, Brent GA. Thyroid hormone regulation of metabolism. *Physiol Rev.* 2014;94(2):355-82. doi: 10.1152/physrev.00030.2013.
2. Sinha RA, Yen PM. Metabolic messengers: Thyroid hormones. *Nat Metab.* 2024;6(4):639-50. doi: 10.1038/s42255-024-00986-0.
3. Sinha RA, Singh BK, Yen PM. Direct effects of thyroid hormones on hepatic lipid metabolism. *Nat Rev Endocrinol.* 2018;14(5):259-69. doi: 10.1038/nrendo.2018.10.
4. Mashek DG. Hepatic fatty acid trafficking: multiple forks

- in the road. *Adv Nutr.* 2013;4(6):697-710. doi: 10.3945/an.113.004648.
5. Steinhoff L, Jung K, Meyerholz MM, Heidekorn-Dettmer J, Hoedemaker M, Schmicke M. Thyroid hormone profiles and TSH evaluation during early pregnancy and the transition period in dairy cows. *Theriogenology.* 2019;129:23-8. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.01.023.
 6. Fazio E, Bionda A, Chiofalo V, Crepaldi P, Lopreiato V, Medica P, Liotta L. Adaptive responses of thyroid hormones, insulin, and glucose during pregnancy and lactation in dairy cows. *Animals (Basel).* 2022; 12(11):1395. doi: 10.3390/ani12111395.
 7. Animal and vegetable fats and oils. Gas chromatography analysis of methyl esters of fatty acids. National standard of Ukraine ISO 5508–2001(ISO 5508:1990). Kyiv. State Owned enterprise Ukrainian research and educational center for problems of standardization, certification and quality, 2003:15. (National Standard of Ukraine). https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_5508-2001.pdf
 8. Carreau JP, Dubacq JP. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extract. *J Chromatogr A.* 1978; 151(3):384-90.
 9. Ostan R, Monti D, Mari D, Arosio B, Gentilini D, Ferri E, Passarino G, De Rango F, D'Aquila P, Mariotti S, Pasquali R, Fanelli F, Bucci L, Franceschi C, Vitale G. Heterogeneity of Thyroid function and impact of peripheral thyroxine deiodination in centenarians and semi-supercentenarians: Association with functional status and mortality. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2019;74(6):802-10. doi: 10.1093/gerona/gly194.
 10. Jang D, Morgan SJ, Klubo-Gwiezdzinska J, Banga JP, Neumann S, Gershengorn MC. Thyrotropin, but not thyroid-stimulating antibodies, induces biphasic regulation of gene expression in human thyrocytes. *Thyroid.* 2020;30(2):270-6. doi: 10.1089/thy.2019.0418.
 11. Sinha RA, Bruinstroop E, Singh BK, Yen PM. Nonalcoholic fatty liver disease and hypercholesterolemia: Roles of thyroid hormones, metabolites, and agonists. *Thyroid.* 2019;29(9):1173-91. doi: 10.1089/thy.2018.0664.
 12. Tomczyńska M, Saluk-Bijak J. The mutual cooperation of blood platelets and lymphocytes in the development of autoimmune thyroid diseases. *Acta Biochim Pol.* 2018;65(1):17-24. doi: 10.18388/abp.2017_2321.
 13. Simitzis P, Alexopoulou G, Karampekos E, Linardopoulou K, Rigakis A, Stamelou N, Goliomytis M, Bizelis I, Bossis I. The effects of artificial vs. natural rearing on growth performance, thyroid hormone levels, locomotor activity, carcass traits and meat quality characteristics in chios lambs. *Animals (Basel).* 2024;15(1):54. doi: 10.3390/ani15010054.
 14. Wang X, Wu Z, Liu Y, Wu C, Jiang J, Hashimoto K, Zhou X. The role of thyroid-stimulating hormone in regulating lipid metabolism: Implications for body-brain communication. *Neurobiol Dis.* 2024;201:106658. doi: 10.1016/j.nbd.2024.106658.
 15. Lishchuk OZ, Kikhtyak OP, Moskva KhA. Peculiarities of correlation between insulin resistance, carbohydrate and lipid metabolism in patients with Graves' disease. *EUREKA: Health Sci.* 2017;10, 3-9.
 16. Momani MS, Zayed AA, Alhawari HH, Salim EA, Ghazali AM, Dalahmeh OA, Halaweh ASA, Khader YS. Effect of age gender on fasting and food-stimulated levels of calcitonin, parathyroid, and gastrin hormones in healthy adults. *Endocrinol Pract.* 2019;25(6):526-33. doi: 10.4158/EP-2018-0501.
 17. Bashir B, Schofield J, Downie P, France M, Ashcroft DM, Wright AK, Romeo S, Gouni-Berthold I, Maan A, Durrington PN, Soran H. Beyond LDL-C: unravelling the residual atherosclerotic cardiovascular disease risk landscape-focus on hypertriglyceridaemia. *Front Cardiovascul Med.* 2024;11:1389106. doi: 10.3389/fcvm.2024.1389106.
 18. Arnaut PR, da Silva Viana G, da Fonseca L, Alves WJ, Muniz JCL, Pettigrew JE, E Silva FF, Rostagno HS, Hannas MI. Selenium source and level on performance, selenium retention and biochemical responses of young broiler chicks. *BMC Vet Res.* 2021;17(1):151. doi: 10.1186/s12917-021-02855-4.
 19. Schneider MJ, Fiering SN, Thai B, Wu SY, St Germain E, Parlow AF, et al. Targeted disruption of the type 1 selenodeiodinase gene (Dio1) results in marked changes in thyroid hormone economy in mice. *Endocrinology.* 2006; 147:580-9. doi: 10.1210/en.2005-073.
 20. Christoffolete MA, Doleschall M, Egri P, Liposits Z, Zavacki AM, Bianco AC, Gereben B. Regulation of thyroid hormone activation via the liver X-receptor/retinoid X-receptor pathway. *J Endocrinol.* 2010;205(2):179-86. doi: 10.1677/JOE-09-0448.
 21. Yau WW, Singh BK, Lesmana R, Zhou J, Sinha RA, Wong KA, Wu Y, Bay BH, Sugii S, Sun L, Yen PM. Thyroid hormone (T₃) stimulates brown adipose tissue activation via mitochondrial biogenesis and MTOR-mediated mitophagy. *Autophagy.* 2019;15(1):131-50. doi: 10.1080/15548627.2018.1511263.
 22. den Besten G, van Eunen K, Groen AK, Venema K, Reijngoud DJ, Bakker BM. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *J Lipid Res.* 2013;54(9):2325-40. doi: 10.1194/jlr.R036012.
 23. Mylostyva D, Gutyj B, Borshenko V, Marenkov O, Yaremko O, Lesnovska O, Izhboldina O, Mylostyvyi R, Farafonov S, Levyskyi T, Kushnir H, Ryvak H. The levels of fatty acid and lipid peroxidation products in the blood serum of young Ukrainian beef breed under the action of effect of copper, selenium and manganese. *Fiziol Zh.* 2023;69(6):60-8. doi: 10.15407/fz69.06.060.
 24. Farafonov S, Yaremko O, Verkholiuk M, Muzyka L, Gutyj B, Marenkov O, Lykhach V, Nemova T, Khmelova O, Mylostyvyi R. Determining trace elements in the hair of beef cattle as a non-invasive method for assessing mineral metabolism. *J Anim Health Prod.* 2024;12(s1):332-7. doi: 10.17582/journal.jahp/2024/12.s1.332.337.
 15. Lishchuk OZ, Kikhtyak OP, Moskva KhA. Peculiarities

Received 07.07.2025