

ТРАНС-ІЗОМЕРИ ЖИРНИХ КИСЛОТ ЛІПІДІВ КРОВІ ТА МОЛОКА ПРИ ЗГОДОВУВАННІ КОРОВАМ НАСІННЯ РІПАКУ

О. Й. Цісарик¹, І. В. Вудмаска²

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

²Інститут біології тварин НААН

У статті подані результати дослідження ізомерного складу жирних кислот плазми крові та молока при включенні до раціонів корів подрібненого насіння ріпаку (1,2 кг/добу) замість частини концентрованих кормів (адекватної за протеїном). Показано, що ліпідний комплекс насіння ріпаку викликає підвищення частки транс-ізомерів жирних кислот у плазмі крові та молоці за рахунок транс-11 ізомерів, при цьому рівень транс-10 ізомерів не зазнає змін. Згодовування насіння ріпаку сприяє підвищенню біологічної цінності молочного жиру завдяки зростанню рівня вакценової кислоти та цис-9, транс-11 кон'югованої лінолевої кислоти, підвищенню ступеня ненасиченості, зниженню вмісту середньоланцюгових насичених жирних кислот і підвищенню співвідношення між жирними кислотами n-3 і n-6 родин.

Ключові слова: КОРОВИ, НАСІННЯ РІПАКУ, ПЛАЗМА КРОВІ, МОЛОКО, ЖИРНІ КИСЛОТИ, ІЗОМЕРИ, БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ

Актуальним і важливим напрямом молочної індустрії є виробництво молока вищої біологічної цінності завдяки модифікації його складу. Цей напрям є кроком назустріч вимогам стратегії здорового харчування та ринку, зокрема сегменту, який розвивається найстрімкіше — виробництву продуктів функціонального призначення. Наприкінці минулого століття основна увага науковців фокусувалась на молочних протеїнах, а з початком нового — на молочних ліпідах. До цього спонукало з'ясування регуляторної ролі жирних кислот на найтоншому рівні (геному клітини) [1] і відкриття різносторонніх біологічних впливів цис-9, транс-11 кон'югованої лінолевої кислоти (КЛК) — антимуtagenного [2], антиатерогенного [3], імуномодулювального [4], антиліпогенного [5]. Тому нині актуальний аспект досліджень — пошук шляхів збагачення молока КЛК, а також її попередником транс-11 C18:1 (вакценовою кислотою — ВК), зокрема вивчення механізмів її утворення в рубці, дослідження факторів, що зумовлюють максимальне надходження до тонкої кишки і всмоктування, поглинання тканиною молочної залози, десатурацію ВК і включення в молочні ліпіди [6–11].

Вміст і склад ліпідів раціону є чинниками, від яких найбільшою мірою залежить кількість і позиційність утворених у рубці транс-ізомерів, як проміжних продуктів під час біогідрогенування ненасичених жирних кислот [12–14]. У свою чергу, від рівня утворення транс-11 ізомерів у рубці залежить їх перехід у молочний жир, і саме транс-11 ізомеризація цис-12 подвійного зв'язку є першим кроком головних біогідрогенізаційних шляхів лінолевої і ліноленової кислот [15, 16].

Крім головних, існують додаткові шляхи гідрогенізації, у яких утворюються мінорні транс-ізомери, насамперед транс-10, як наслідок транс-ізомеризації цис-9 подвійного зв'язку [17] або конвертування транс-11 зв'язку [18] і розташування його в 10 можливих положеннях — від 4 до 16 Карбону [19]. Зсув головних біогідрогенізаційних шляхів настає за порушення нормальних умов у рубці, який полягає у зниженні утворення транс-11 ізомерів і збільшенні — транс-10 ізомерів [20]. Зокрема, високий вміст транс-10 ізомерів акумулюється у вмісті рубця при високому рівні концентратів і поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) у раціоні [19, 21]. Наявність транс-10 подвійного зв'язку у КЛК, як і в C18:1 зумовлює значне пригнічення синтезу молочного жиру [22].

Важливим завданням дослідників є пошук компромісу між зростанням в рубцевій рідині рівня транс-11 ізомерів та інших проміжних сполук біогідрогенування. Одним із способів досягнення цього є згодовування подрібненого насіння олійних, оскільки порівняно з оліями ПНЖК при цьому вивільняються повільніше і зменшується їх токсичний вплив на популяцію рубця [6]. На відміну від насіння більшості олійних культур, в яких домінує лінолева або ліноленова кислота, ліпідний комплекс насіння ріпаку відзначається збалансованістю між олеїною, лінолевою та ліноленовою кислотами що сприяє зсуву біогідрогенізаційних шляхів, до того ж, олеїнова кислота поряд з ПНЖК є також джерелом транс-11 C18:1 [23].

КЛК молочного жиру походить із двох джерел: з крові та внаслідок ендогенного синтезу у молочній залозі через десатурування транс-11 C18:1 за дії Δ -9 стеаройл-КоА десатурази [10, 11]. У тканинах людини транс-11 C18:1 також десатурується до цис-9, транс-11 КЛК [24], причому у КЛК перетворюється до 50 % ВК [25]. У зв'язку з цим, важливо попереджувати пригнічення десатураційної активності в тканині молочної залози, яке часто викликають ліпідні добавки [26]. Найновіші повідомлення свідчать, що згодовування

ріпакової олії не спричиняє інгібування десатуразної активності у тканині молочної залози, на відміну від соєвої [27].

Усі ці питання, пов'язані із використанням для підвищення рівня транс-11 ізомерів у молочному жирі насіння ріпаку, потребують подальшого вивчення, оскільки основна увага дослідників концентрується на використанні насіння сої [6, 7] або соняшника [28] для цієї мети.

Матеріали і методи

Дослід провели в агроторговій фірмі «Оршівська» Кіцманського району Чернівецької області на коровах української червоно-рябої молочної породи, розділених на дві групи (по 6 голів), з середньою продуктивністю за попередню лактацію 5600 кг молока. Утримання тварин стійлове. Дослід провели методом періодів, тривалість підготовчого періоду 20 днів. У дослідному періоді (60 днів) коровам дослідної групи частину концентрованих кормів заміняли адекватною за протеїном (12 % від загальної кількості протеїну в раціоні) насінням ріпаку (1,2 кг/добу). Частка концентрованих кормів у структурі раціону становила біля 40 %, частка протеїну — 14,4 %, частка клітковини — біля 20 %. У контрольному раціоні концентрація енергії становила 9,64 МДж/кг СР, вміст жиру — 3,2 %, в дослідному раціоні — 10,10 МДж/кг СР, а вміст жиру — 5,8 %.

Насіння ріпаку розмелювали (розмір частинок біля 1 мм) раз на два тижні, подрібнене насіння зберігали в темному, прохолодному приміщенні. Проводили хімічний аналіз насіння ріпаку, в тому числі склад жирних кислот на хроматографі Chrom-4.

Зразки крові і молока для досліджень брали один раз у підготовчому та двічі у дослідному періодах — через три та шість тижнів згодовування насіння для дослідження динаміки змін. Екстракцію ліпідів плазми крові для дослідження жирнокислотного складу проводили методом Блайя і Дайєра. Хроматографію метилових ефірів жирних кислот проводили на газовому хроматографі Hewlett Packard HP-6890 (колонка 100 m x 0,25 mm x 0,2 μ m [SP2560] 95 % biscyanopropyl/5 % cyanopropylphenyl polysiloxane, Supelco). Для ідентифікації хроматографічних піків та обрахунку хроматограм використовували стандарти окремих жирних кислот (Supelco).

Результати й обговорення

Додаткове споживання жирних кислот за рахунок включення насіння ріпаку до раціонів зросло на 76 % у корів дослідної групи порівняно з контрольними, і становило 344,2 г/добу (табл. 1). У тому числі споживання ПНЖК було на 143,8 г/добу (на 62,7 %) більшим, ніж у контролі. Співвідношення олеїнова : лінолева : ліноленова кислоти у ліпідному комплексі насіння ріпаку (сорт Дангал) становило 2,8 : 1,5 : 1, за рахунок чого змінилось співвідношення між жирними кислотами корму. У складі раціону корів дослідної групи зросла концентрація усіх С18 кислот, однак найвагомніше — С18:1 (майже втричі) та ліноленової (майже вдвічі). Змінилось співвідношення між ліноленовою та лінолевою кислотами — до 0,54 у складі корму дослідного раціону проти 0,47 — у контролі. Індекс насиченості ліпідів корму в раціонах знизився від 0,30 у контролі до 0,16 у дослідному.

Таблиця 1

Споживання жирних кислот коровами

Код жирних кислот	Контрольна група			Дослідна група		
	споживання, г/добу	вміст, г/кг СР корму	у %	споживання, г/добу	вміст, г/кг СР корму	у %
12:0	1,1	0,06	0,2	1,1	0,06	0,1
14:0	3,3	0,18	0,7	3,1	0,17	0,4
15:0	2,4	0,13	0,5	2,2	0,13	0,3
16:0	82,4	4,55	18,3	87,4	5,05	11,0
16:1	3,7	0,20	0,8	4,2	0,24	0,5
18:0	11,3	0,62	2,5	15,4	0,89	1,9
18:1	105,8	5,84	23,5	280,0	16,2	35,3
18:2	156,4	8,63	34,7	241,5	13,96	30,4
18:3	72,9	4,03	16,2	131,4	7,60	16,6
20:0	4,6	0,26	1,1	4,2	0,24	0,5
20:1	6,3	0,34	1,4	19,2	1,11	2,4
22:1	—	—	—	4,6	0,26	0,6
Сума	450,0	24,86	100	794,2	45,91	100
НЖК	105,1	5,81	23,3	113,3	6,55	14,2
МНЖК	115,7	6,39	25,7	307,9	17,78	38,8
ПНЖК	229,2	12,66	50,9	373,0	21,56	47,0
n-3/n-6 ЖК	0,47			0,54		
ІН	0,30			0,16		

Примітки: СР — суха речовина; НЖК — насичені жирні кислоти; МНЖК — мононенасичені жирні кислоти; ПНЖК — поліненасичені жирні кислоти; ІН — індекс насичення

Незважаючи на істотно вищий рівень споживання ПНЖК коровами дослідної групи, частка ПНЖК у плазмі їх крові не демонструвала відповідного підвищення, а на першому етапі згодовування, навпаки, була нижчою (табл. 2), що свідчить про ефективне біогідрогенування ПНЖК мікрофлорою рубця. Через низьку $\Delta 9$ -десатуразну активність інтестинальної мукози у жуйних склад жирних кислот плазми крові відображає активність рубцевого біогідрогенування [29]. Однак, згодовування насіння ріпаку викликало зміну співвідношення між кислотами n-3 і n-6 рядів у складі ліпідів плазми крові; воно зросло на 35,1 і 27,5 % у корів дослідної групи на першому і другому етапі згодовування порівняно з контролем відповідно, тоді як у складі корму дослідних корів перевага зазначеного співвідношення становила лише 14,9 %. Це зумовлено гальмуванням біогідрогенування ліноленової кислоти порівняно з лінолевою при згодовуванні канолової олії [30] і демонструє виняток з правила преференційності біогідрогенування із збільшенням кількості подвійних зв'язків.

На фоні згодовування насіння ріпаку в плазмі крові зменшилась ($P < 0,05$) частка насичених середньоланцюгових жирних кислот, які проявляють атерогенні і тромбогенні впливи [31]. Рівень непарних жирних кислот засвідчує про відсутність істотного інгібувального впливу на екосистему рубця при згодовуванні насіння ріпаку. Безпечною дозою ПНЖК для мікрофлори рубця є 4 % від СР корму, що підтверджено експериментально [32]. У раціоні корів контрольної групи вміст жирних кислот становив 2,2, дослідної — 4,2 % у СР корму.

Загальна кількість транс-ізомерів в плазмі крові корів, яким згодовували насіння ріпаку, істотно зросла — на 50,7 і 44,4 % на першому та другому етапі згодовування порівняно з контролем.

Таблиця 2

Характеристика складу жирних кислот ліпідів плазми крові корів при згодовуванні насіння сорту Дангал, % загальної кількості жирних кислот ($M \pm m$, $n=6$)

Показники	Періоди досліджу					
	Підготовчий		Дослідний			
			3 тижні згодовування		6 тижнів згодовування	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
Ненас./Насич	1,744 $\pm$ 0,03	1,810 $\pm$ 0,03	1,906 $\pm$ 0,04	1,933 $\pm$ 0,003	1,567 $\pm$ 0,08	1,860 $\pm$ 0,04*
Сума C12:0-C16:0	17,21 $\pm$ 0,46	16,49 $\pm$ 0,34	15,24 $\pm$ 0,24	14,46 $\pm$ 0,16*	18,52 $\pm$ 1,55	14,55 $\pm$ 0,26*
Сума C18	71,78 $\pm$ 0,55	72,82 $\pm$ 0,29	74,34 $\pm$ 0,63	75,41 $\pm$ 0,84	70,83 $\pm$ 1,36	75,85 $\pm$ 0,30**
ПНЖК	45,98 $\pm$ 0,56	45,66 $\pm$ 1,37	50,01 $\pm$ 0,83	46,39 $\pm$ 2,13	45,32 $\pm$ 2,02	48,64 $\pm$ 1,72
n-3/n-6	0,07 $\pm$ 0,004	0,07 $\pm$ 0,002	0,05 $\pm$ 0,002	0,07 $\pm$ 0,002***	0,05 $\pm$ 0,002	0,07 $\pm$ 0,004**
Сума непарних	2,87 $\pm$ 0,11	3,0 $\pm$ 0,21	2,53 $\pm$ 0,27	2,65 $\pm$ 0,13	3,26 $\pm$ 0,12	2,80 $\pm$ 0,19
Сума 3n	4,92 $\pm$ 0,12	4,41 $\pm$ 0,27	5,31 $\pm$ 0,23	4,73 $\pm$ 0,11*	5,42 $\pm$ 0,35	5,18 $\pm$ 0,23
Сума 5n	1,14 $\pm$ 0,11	1,08 $\pm$ 0,10	0,85 $\pm$ 0,04	1,00 $\pm$ 0,04*	0,59 $\pm$ 0,02	0,68 $\pm$ 0,03*
Сума транс-ізомерів	0,746 $\pm$ 0,04	0,726 $\pm$ 0,05	0,67 $\pm$ 0,11	1,01 $\pm$ 0,04*	0,72 $\pm$ 0,01	1,04 $\pm$ 0,02***

Згодовування ріпакового насіння спричинило зростання частки ненасичених жирних кислот у молочних ліпідах (табл. 3), що підвищує біологічну цінність жиру, однак вагомішим у впливі на здоров'я споживачів є зниження частки середньоланцюгових насичених жирних кислот, щодо яких встановлено істотне зменшення їх вмісту. Це узгоджується з результатами інших авторів при згодовуванні ліпідів ріпаку [33], в тому числі й насіння [34]. Вказані кислоти в складі ліпідів молока можуть бути двоякого походження — гуморального та синтезуватися *de novo*. Зареєстроване зниження їх вмісту в молочному жирі є закономірним, оскільки в крові підвищується вміст довголанцюгових жирних кислот, які інгібують синтез *de novo* жирних кислот у тканині молочної залози шляхом впливу на ацетил-КоА карбоксилазну активність та преференційно включаються у молочні ТАГ [26]. У складі середньоланцюгових жирних кислот істотно знижується частка C14:0, що узгоджується зі змінами у складі ліпідів плазми крові.

У наших експериментах зареєстровано істотне зростання вмісту цис-9 C18:1 у складі молочного жиру — на 23,1 % у середньому за дослідний період, що узгоджується із даними літератури. Так, у огляді Глессера наводяться дані, що згодовування ріпакового насіння зумовлює підвищення вмісту цис-9 C18:1 у молоці корів в середньому на 35 % [35]. Звертає на себе увагу залежність: підвищення частки C18:1 відбувається майже паралельно із зниженням частки середньоланцюгових жирних кислот.

Щодо частки лінолевої кислоти (цис, цис-9,12 C18:2), то на першому етапі дослідного періоду зареєстровано деяке її зниження, а на другому — незначне підвищення порівняно з контролем. Вміст

вказаної кислоти в молоці корелює із вмістом у ліпідах плазми. У огляді Глессера повідомляється про зниження вмісту загальної цис-9, цис-12 C18:2 при згодовуванні насіння ріпаку, а також ріпакової олії (у середньому в усіх експериментах), а при згодовуванні захищеного жиру канолі — досить істотне зростання [35]. У дослідженнях з використанням співмірних з нашою кількістю канолового насіння, не зареєстровано змін щодо вмісту лінолевої кислоти [33].

Якщо дані про вміст цис-9, цис-12 C1:2 на тлі згодовування ліпідних добавок суперечливі, то щодо цис-9, цис-12, цис-15 C18:3 вони більш узгоджені. Наші результати вказують на тенденцію до зростання її вмісту в молоці корів на першому етапі та вірогідно вищий вміст на другому етапі згодовування ріпакового насіння. Про збільшення частки лінолевої кислоти, приблизно в таких самих межах при згодовуванні насіння ріпаку, повідомляється й іншими дослідниками [33, 36].

Зростання вмісту n-3 лінолевої кислоти в молочних ліпідах спричинило зміну відношення між кислотами n-3 та n-6 ряду, яке на першому етапі дослідного періоду було на 17,9 %, а на другому — на 29,4 % ($p < 0,01$) вищим порівняно з контролем, що знайшло підтвердження в літературі [34].

Вміст загальних транс-ізомерів у складі жирних кислот молочного жиру істотно зріс у корів дослідної групи. Слід зазначити, що це зростання було більш вираженим порівняно з плазмою крові, що засвідчує інтенсивніше поглинання транс-ізомерів тканиною молочної залози. Важливим є те, що десатуразний індекс для КЛК у молочному жирі зріс у тварин дослідної групи, і це підтверджує дані про відсутність інгібування стеароїл десатуразної активності у тканині молочної залози при згодовуванні ріпакової ліпідної добавки на відміну від соєвої [27].

Таблиця 3

Характеристика складу жирних кислот ліпідів молока корів при згодовуванні насіння ріпаку, % загальної кількості жирних кислот ($M \pm m$, $n=6$)

Показники	Періоди досліджу					
	Підготовчий		Дослідний			
			3 тижні згодовування		6 тижнів згодовування	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
Ненас./насих	$0,46 \pm 0,07$	$0,45 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,02^{**}$	$0,37 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,003^{*}$
Сума C4-C10	$11,0 \pm 0,71$	$10,6 \pm 0,57$	$10,8 \pm 0,34$	$9,9 \pm 0,68$	$11,6 \pm 0,32$	$11,3 \pm 0,17$
Сума C12:0-C16:0	$48,5 \pm 3,44$	$45,2 \pm 2,30$	$48,5 \pm 1,58$	$41,8 \pm 1,60^{*}$	$52,6 \pm 0,60$	$41,3 \pm 0,71^{**}$
n-3/n-6	$0,10 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,005$	$0,13 \pm 0,01^{**}$
Сума транс C18:1	$1,77 \pm 0,19$	$2,34 \pm 0,12^{*}$	$1,83 \pm 0,07$	$2,97 \pm 0,12^{**}$	$1,53 \pm 0,12$	$2,99 \pm 0,06^{**}$
Дес. C18:1 ¹	$0,7 \pm 0,02$	$0,6 \pm 0,01^{**}$	$0,7 \pm 0,007$	$0,7 \pm 0,02$	$0,7 \pm 0,01$	$0,6 \pm 0,01^{*}$
Дес. КЛК ²	$0,12 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01^{*}$	$0,08 \pm 0,008$	$0,13 \pm 0,01^{*}$	$0,11 \pm 0,004$	$0,13 \pm 0,006^{*}$

Примітки: ¹ — десатуразний індекс: цис C18:1/(цис C18:1+C18:0); ² — десатуразний індекс цис-9, транс-11 C18:2/(цис-9, транс-11 C18:2+транс-11 C18:1).

Щодо окремих просторових і позиційних ізомерів C18 ненасичених жирних кислот у плазмі крові, то, насамперед, звертає на себе увагу істотне підвищення частки транс-11 ізомерів порівняно з іншими позиційними транс-ізомерами, межі коливань зростання рівня транс-6 і транс-9 становлять 15–50 %, тоді як частка транс-11 зросла на 74 і 126 % через три та шість тижнів згодовування насіння ріпаку відповідно (табл. 4).

Таблиця 4

Склад C 18 жирних кислот ліпідів плазми крові корів при згодовуванні насіння сорту Дангал, % загальної кількості жирних кислот ($M \pm m$, $n=6$)

Код жирних кислот	Періоди досліджу					
	Підготовчий		Дослідний			
			3 тижні згодовування		6 тижнів згодовування	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
18:0	$16,7 \pm 0,49$	$16,42 \pm 0,46$	$16,85 \pm 0,44$	$17,25 \pm 0,48$	$17,38 \pm 0,56$	$17,83 \pm 0,53$
цис-6 C18:1	$0,23 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,006$	$0,24 \pm 0,009^{***}$	$0,21 \pm 0,007$	$0,29 \pm 0,008^{***}$
транс-9 C18:1	$0,14 \pm 0,07$	$0,11 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,003$	$0,15 \pm 0,05$	$0,13 \pm 0,004$	$0,15 \pm 0,013$
транс-10 C18:1	$0,13 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,003$	$0,096 \pm 0,002$	$0,095 \pm 0,005$	$0,12 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,01$
транс-11 C18:1	$0,260,02$	$0,270,005$	$0,2980,006$	$0,520,03^{***}$	$0,260,06$	$0,590,01^{***}$
цис-6 C18:1	$0,830,02$	$0,750,06$	$0,750,03$	$0,570,006^{***}$	$0,790,01$	$0,670,03^{**}$
цис-9 C18:1	$11,180,14$	$12,120,89$	$9,820,38$	$13,480,63^{***}$	$10,300,58$	$10,841,10$
цис-11 C18:1	$1,690,27$	$1,730,21$	$1,450,26$	$1,400,15$	$1,310,22$	$1,190,21$
цис-12 C18:1	$0,790,05$	$0,960,05$	$0,930,14$	$0,810,14$	$0,710,09$	$0,800,14$
C18:2	$37,170,60$	$37,401,45$	$41,470,69$	$38,042,26^{**}$	$37,101,75$	$40,321,78$

18:3 n-6	0,910,12	0,870,13	1,070,15	0,860,09	0,870,16	0,820,11
18:3 n-3	1,760,16	1,840,24	1,560,09	1,980,08***	1,660,11	2,220,05***

Важливо підкреслити, що частка транс-10 ізомерів майже не зазнала змін. 11- транс-ізомеризація здійснюється в рубці за участі мікроорганізмів виду *B. fibrisolvens*, який відноситься до целюлозолітичної мікрофлори [37], натомість транс-10 — за участі *M. elshdenii* [38], яка не чутлива до підвищеного вмісту лінолевої кислоти і зниження рН у рубці.

Ріпакове насіння, на нашу думку, може слугувати компромісним варіантом серед рослинних джерел ненасичених жирних кислот щодо рівня утворення транс-11 ізомеру. Це зумовлено балансом ненасичених жирних кислот, що забезпечує комфортні умови для *B. fibrisolvens*, більшим забезпеченням субстратами для транс-11 ізомеризації, а також високим вмістом токоферолів у складі насіння ріпаку, що також сприяє розвитку *B. fibrisolvens*. Форма ліпідної добавки, яку ми пропонуємо — грубо розмелене насіння, забезпечує повільне вивільнення жирних кислот, а часточки насіння сприяють прикріпленню бактерій, що особливо важливо для целюлозолітичної мікрофлори, до якої належить *B. fibrisolvens*.

Серед транс-ізомерів C18:1 у молочному жирі корів, які отримували насіння ріпаку, домінує транс-11, його частка зросла на 92 і 150 % порівняно з контролем, зростання транс-6 і транс-9 у середньому становить 0,5 раза, рівень транс-10 залишався майже без змін (табл. 5).

Частка цис-9, транс-11 КЛК була майже втричі вищою у складі молочного жиру корів дослідної групи порівняно з контролем, у них вищою була також частка цис-9, транс-12, цис-15 C18:3. Дані літератури щодо ізомерних форм жирних кислот у складі молочного жиру за згодовування насіння чи олії ріпаку дуже обмежені, так у огляді Глессера, датованому 2008 р. [35], на жаль, вони відсутні.

Таблиця 5

Склад C18 жирних кислот ліпідів молока при згодовуванні коровам насіння ріпаку сорту Дангал, % загальної кількості жирних кислот ($M \pm m$, n=6)

Код жирних кислот	Періоди дослідів					
	Підготовчий		Дослідний			
			3 тижні згодовування		6 тижнів згодовування	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
C18:0	8,82 ± 0,87	12,67 ± 1,16*	10,55 ± 0,44	12,49 ± 1,81	8,78 ± 0,33	13,77 ± 0,87**
6t C18:1	0,23 ± 0,002	0,37 ± 0,04*	0,25 ± 0,01	0,37 ± 0,03*	0,22 ± 0,008	0,40 ± 0,01***
9t C18:1	0,22 ± 0,02	0,27 ± 0,03	0,21 ± 0,01	0,32 ± 0,02*	0,19 ± 0,01	0,30 ± 0,01***
10t C18:1	0,31 ± 0,02	0,40 ± 0,06	0,36 ± 0,03	0,36 ± 0,06	0,31 ± 0,02	0,29 ± 0,03
11t C18:1	1,0 ± 0,15	1,3 ± 0,08	1,0 ± 0,08	1,92 ± 0,13**	0,80 ± 0,08	2,0 ± 0,04***
6c C18:1	0,34 ± 0,03	0,42 ± 0,03	0,33 ± 0,03	0,45 ± 0,03*	0,33 ± 0,02	0,45 ± 0,03*
9c C18:1	21,40 ± 2,32	21,80 ± 1,27	20,55 ± 1,0	24,32 ± 1,0*	18,40 ± 0,44	23,46 ± 0,29***
11c C18:1	1,110,27	0,870,06	0,810,06	1,090,09*	0,760,07	0,810,07
12c C18:1	0,410,07	0,390,06	0,380,05	0,460,09	0,370,06	0,410,07
10t,12c C18:2	0,070,03	0,010,002	0,0300,009	0,0380,014	ND	ND
9c,12c C18:2	2,230,22	1,860,29	2,170,99	1,970,35	1,740,04	1,870,26
9c,12t,15c C18:3	0,080,001	0,110,02*	0,120,009	0,140,019	0,100,01	0,140,005**
C20:1	0,070,01	0,050,01	0,020,001	0,060,002*	0,030,0003	0,060,003***
9c,12c,15c C18:3	0,230,02	0,170,02	0,140,01	0,150,02	0,140,002	0,180,01**
9c,11t C18:2	0,130,006	0,110,023	0,100,001	0,290,02***	0,100,004	0,290,010***

Таким чином, включення насіння ріпаку до раціонів дійних корів забезпечує зміни вмісту транс-ізомерів жирних кислот у плазмі крові і молоці. Ці зміни сприяють підвищенню біологічної цінності молочного жиру і забезпечують надання молочним продуктам із високою концентрацією молочного жиру функціональних властивостей.

Висновки

Включення до раціонів дійних корів насіння ріпаку сприяє зміні ізомерного складу жирних кислот плазми крові та молока в напрямі підвищення загальної кількості транс-ізомерів, з-посеред яких найбільше транс-11. Згодовування коровам насіння ріпаку зумовлює підвищення біологічної цінності молочного жиру, що проявляється в істотному зростанні частки вакценової та цис-9, транс-11 кон'югованої лінолевої кислот. Рівень транс-10 ізомерів ненасичених жирних кислот не зазнає змін при включенні до раціонів корів насіння ріпаку.

Перспективи подальших досліджень. Детальнішого вивчення вимагає питання регуляції процесів ізомеризації жирних кислот під час рубцевого біогідрогенування за включення до раціонів корів ліпідних добавок, зокрема насіння олійних, які повинні стати енергетичним компонентом раціонів для високопродуктивних корів. Подальші дослідження плануються також спрямувати на вивчення

процесів поглинання довголанцюгових жирних кислот, синтезу жирних кислот *de novo* тканиною молочної залози, а також десатуразної активності в молочній залозі екзогенних жирних кислот.

O. Y. Tsisaryk, I. V. Vudmaska

TRANS-ISOMERS OF FATTY ACID IN PLASMA AND MILK LIPIDS OF RAPESEED FED COWS

S u m m a r y

The results of the plasma and milk fatty acid isomer composition when the ground rapeseed was included to cows' diet (1,2 kg per day) in replace of part grain concentrates (in quantity adequate by protein) are presented. The study demonstrates that the lipids of rapeseed increase plasma and milk fatty acid trans-isomers levels, especially trans-11, however trans-10 isomers does not change. Feeding cows with rapeseed results in increased biological value of milk fat due to the growth of vaccenic and cis-9, trans-11 conjugated linoleic acids, increased unsaturation degree, declined medium-chain saturated fatty acids content and increased n-3 and n-6 fatty acids ratio.

О. Й. Цисарык, И. В. Вудмаска

ТРАНС-ИЗОМЕРЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ЛИПИДОВ КРОВИ И МОЛОКА ПРИ СКАРМЛИВАНИИ КОРОВАМ СЕМЯН РАПСА

А н н о т а ц и я

В статье представлены результаты исследования изомерного состава жирных кислот плазмы крови и молока при включении в рационы коров измельченных семян рапса (1, 2 кг/сутки) вместо части концентрированных кормов (адекватной по протеину). Показано, что липидный комплекс семян рапса влечет повышение содержания транс-изомеров жирных кислот в плазме крови и молоке за счет транс-11 изомеров, однако уровень транс-10 изомеров не изменяется. Скармливание семян рапса содействует повышению биологической ценности молочного жира благодаря существенному повышению уровня вакценовой кислоты и цис-9, транс-11 конъюгированной линолевой кислоты, повышению степени ненасыщенности, снижению содержания среднецепочечных насыщенных жирных кислот и повышению соотношения между жирными кислотами n-3 и n-6 рядов.

1. Гула Н. І. Жирні кислоти та їх похідні при патологічних станах / Н. І. Гула, В. М. Маргітич. — К. : Наукова думка, 2009. — 336 с.
2. Pariza M. W. Effects of temperature and time on mutagen formation in pan-fried hamburger / M. W. Pariza [et al.] // Cancer Lett. — 1979. — 7. — P. 63–69.
3. Kritchevsky D. Conjugated linoleic acid isomer effects in atherosclerosis: Growth and regression of lesions / D. Kritchevsky [et al.] // Lipids. — 2004. — 39. — P. 611–616.
4. Tricon S. Effects of trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid on immune cell function in healthy humans / S. Tricon [et al.] // Am. J. Clin. Nutr. — 2004. — 80. — P. 1626–1633.
5. Tsuboyama-Kasaoka N. Conjugated linoleic acid supplementation reduces adipose tissue by apoptosis and develops lipodystrophy in mice / N. Tsuboyama-Kasaoka [et al.] // Diabets. — 2000. — 49. — P. 1534–1542.
6. Dhiman T. R. Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic acid / T. R. Dhiman [et al.] // J. Dairy Sci. — 2000. — 83. — P. 1016–1027.
7. Chouinard P. Y. Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentration in milk fat / P. Y. Chouinard [et al.] // J. Dairy Sci. — 2001. — 84. — P. 680–690.
8. Bauman D. E. Conjugated linoleic acid: Biosynthesis and nutritional significance / D. E. Bauman, A. L. Lock / In Advanced Dairy Chemistry Vol. 2: Lipids. — New York: Springer, 2006. — P. 93–136.
9. Abu Ghazaleh A. A. Diet supplementation with fish oil and sunflower oil to increase conjugated linoleic acid levels in milk fat of partially grazing dairy cows / A. A. Abu Ghazaleh, L. D. Holmes / J. Dairy Sci. — 2007. — 90. — P. 2897–2904.
10. Corl B. A. Trans-7, cis-9 CLA is synthesized endogenously by Δ^9 -desaturase in dairy cows / B. A. Corl [et al.] // Lipids. — 2002. — 37. — P. 681–688.
11. Ntambi J. M. Regulation of stearoyl-CoA desaturases and role in metabolism / J. M. Ntambi, M. Miyazaki // Prog. Lipid Res. — 2004. — 43. — P. 91–104.
12. Piperova L. S. Duodenal and milk trans octadecanoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows / L. S. Piperova [et al.] // J. Nutr. — 2002. — 132. — P. 1235–1241.
13. Duckett S. K. Effect of high-oil corn or added corn oil on ruminal bihydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets / S. K. Duckett, J. G. Andrae, F. N. Owens // J. Anim. Sci. — 2002. — 81. — P. 1251–1261.

14. *Vlaeminck B.* Effect of in vitro DHA supplementation to adapted and non-adapted rumen inoculum on the biohydrogenation of linolenic and linoleic acid / B. Vlaeminck [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2007. — 90 (Suppl.). — P. 659(Abstr.).
15. *Pariza M. W.* The biological activities of conjugated linoleic acid / M. W. Pariza // In *Advances in Conjugated Linoleic Acid Res.* Vol 1. — Champaign : AOCS Press, 1999. — P. 12–20.
16. *Bauman D. E.* The biology of conjugated linoleic acid (CLA) and the dairy cow / D. E. Bauman, B. A. Corl, D. G. Peterson. // In *Advances in Conjugated Linoleic Acid research.* Vol 2. — IL : Press, 2003. — P. 146–173.
17. *Peterson D. G.* Diet-induced milk fat depression in dairy cows results in increased trans-10, cis-12 CLA in milk fat synthesis / D. G. Peterson, E. A. Matiashvili, D. E. Bauman // *J. Nutr.* — 2003. — 133. — P. 3098–3102.
18. *Proell J. M.* Isomerization of stable isotopically labeled elaidic acid to cis- and trans- monoens by ruminal microbes / J. M. Proell [et al.] // *J. Lipid Res.* — 2002. — 43. — P. 2072–2076.
19. *Loor J. J.* Biohydrogenation, duodenal flow, and intestinal digestibility of trans fatty acids and conjugated linoleic acids (CLA) in response to dietary forage:concentrate ratio and linseed oil in dairy cows / J. J. Loor [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2004. — 87. — 2472–2485.
20. *Griinari J. M.* Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk of ruminants / J. M. Griinari, D. E. Bauman // In *Advances in Conjugated Linoleic Acid.* Vol.1. — Champaign : AOCS Press, 1999. — P. 180–200.
21. *Kim Y. J.* The enrichment of a ruminal bacterium (*Megasphaera elsdenii* YJ-4) that produces the trans-10,cis-12 isomer of conjugated linoleic acid / Y. J. Kim [et al.] // *J. Appl. Microbiol.* — 2002. — 92. — P. 976–982.
22. *Loor J. J.* Reduced fatty acid synthesis and desaturation due to exogenous trans-10,cis-12 CLA in cows fed oleic or linoleic oil / J. J. Loor, J. H. Herbein // *J. Dairy Sci.* — 2003. — 86. — P. 1354–1369.
23. *AbuGhazaleh A. A.* Dilution rate and pH effects on the conversion of oleic acid to trans C_{18:1} positional isomers in continuous culture / A. A. AbuGhazaleh [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2005. — 88. — P. 4334–4341.
24. *Lock A. L.* The anticancer effects of vaccenic acid in milk fat are due to its conversion to conjugated linoleic acid via Δ^9 -desaturase / A. L. Lock [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2004. — 87. — (Suppl. 1). — P. 425.
25. *Santora J. E.* Transvaccenic acid is desaturated to conjugated linoleic acid in mice / J. E. Santora, D. L. Palmquist, K. L. Roebrig // *J. Nutr.* — 2000. — 130. — P. 208–215.
26. *Ahnadi C. E.* Addition of fish oil to diets for dairy cows. II: Effects on milk fat and gene expression of mammary lipogenic enzymes / C. E. Ahnadi [et al.] // *J. Dairy Res.* — 2002. — 69. — P. 521–531.
27. *Jacobs A. A. A.* Effects of feeding rapeseed oil, soybean oil, or linseed oil on stearoyl-CoA desaturase expression in the mammary gland of dairy cows / A. A. A. Jacobs [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2011 — 94. — P. 874–887.
28. *Kalsheur K. F.* Milk fatty acid composition and lactation performance of cows fed linseed oil or fish oil in combination with sunflower seeds / K. F. Kalsheur, A. R. Hippen, D. J. Schingoethe // *J. Dairy Sci.* — 2004. — 87. — (Suppl.1). — P. 337.
29. *Sol Morales M.* Effects of fat source and copper on unsaturation of blood and milk triacylglycerol fatty acids in Holstein and Jersey cows / M. Sol Morales, D. L. Palmquist, W. P. Weiss // *J. Dairy Sci.* — 2000. — 83. — P. 2105–2111.
30. *Loor J. J.* Characterization of 18:1 and 18:2 isomers produced during microbial biohydrogenation of unsaturated fatty acids from canola or soybean oil in the rumen of lactating cows / J. J. Loor, A. B. P. A. Bandara, J. H. Herbein // *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berlin).* — 2002. — 86. — P. 422–432.
31. *Ulbricht T. L. V.* Coronary heart disease: Seven dietary factors / T. L. V. Ulbricht, D. A. T. Southgate // *Lancet.* — 1991. — 338. — P. 985–992.
32. *Qiu X.* Effects of source and level of dietary of conjugated linoleic acid and trans vaccenic acid / X. Qiu [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2004a. — 87 (suppl.1). — P. 307.
33. *Bayourthe C.* Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meal on milk composition and physical properties of butter / C. Bayourthe, F. Enjalbert, R. Moncoulon // *J. Dairy Sci.* — 2000. — 83. — P. 690–696.
34. *Chichlowski M. W.* Altering the fatty acids in milk fat by including canola seed in dairy cattle diets / M. W. Chichlowski [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2005. — 88. — P. 3084–3094.
35. *Glasser F.* Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: A meta-analysis / F. Glasser, A. Ferlay, Y. Chilliard // *J. Dairy Sci.* — 2008. — 91. — P. 4687–4703.
36. *Delbecchi L.* Milk fatty acid composition and mammary lipid metabolism in Holstein cows fed protected or unprotected canola seeds / L. Delbecchi [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2001. — 84. — P. 1375–1381.
37. *Kepler C. R.* Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. IV. Substrate specificity and inhibition of linoleate Δ^{12} -cis, Δ^{11} -trans isomerase from *Butyrivibrio fibrisolvens* / C. R. Kepler, W. P. Tucker, S. B. Tove // *J. Biol. Chem.* — 1970. — 245. — P. 3612–3620.

38. *Palmonari A.* pH dynamics and bacterial community composition in the rumen of lactating dairy cows / A. Palmonari [et al.] // J. Dairy Sci. — 2010. — 93. — P. 279–287.

Рецензент: завідувач сектору інтелектуальної власності та маркетингу інновацій, кандидат біологічних наук, с. н. с. Грабовська О. С.