

Research Article

국내 홀스타인의 우유 내 지방산의 산차 및 비유기간별 유전모수 추정

박찬혁^{1*}, 양신철¹, 김준수¹, 김진형¹, 구양모¹, 이재구², 당창권², 도창희³, 우만다³, 조광현⁴¹한국종축개량협회, ²국립축산과학원 가축개량평가과, ³충남대학교 동물자원과학부, ⁴국립한글농수산대학 대가축학과

Genetic parameters for milk fatty acid composition of Holstein in Korea

Chan-Hyuk Park^{1*}, Shin-Chul Yang¹, Jun-Soo Kim¹, Jin-Hyung Kim, Jae-Gu Lee², Chang-Kwon Dang², Chang-Hee Do³, Umanthi Ranaraja³, Cho Kwang-Hyeon⁴¹Korea Animal Improvement Association, Seocho, 06668, Korea²Animal Genetics & Breeding Division, NIAS, Cheonan, 31000, Korea³Department of Animal Resources Science, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea⁴Department of Beef & Dairy Science, Korea National College of Agriculture & Fisheries

*Corresponding author: Chan-Hyuk Park, Korea Animal Improvement Association, Seocho, 06668, Korea, Tel : +82-2-588-9301, E-mail : juyoo007@naver.com

Abstract

Milk fatty acids in milk are one of the most important factors for humans in terms of marketability and health. The composition of fatty acids has a great influence on the improvement of the functional quality of milk. The purpose of this study is to investigate each influence by estimating the genetic parameters according to the level of fatty acids in milk of Korean Holstein cows. A total of 885,249 milk test records and traits such as saturated fatty acids SFA, single unsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids (PUFA), and fat/protein ratios were analyzed by the CombiFoss FT+ system (Foss Analytical A/S, Denmark) analyzer. The Wombat program based on the iterative model of REML was used for genetic parameter estimation. The composition of fatty acids showed different changes for each non-period, and also showed different energy balances(EB). With the negative EB in early lactation, mobilization of body fat reserves elevates the desirable FA levels. As a result of that, milk quality is increased by means of nutritionally and usability aspects during the early lactation. Moreover, heritability estimates for TUFA, SFA, MUFA and PUFA were 0.41, 0.33, 0.42 and 0.37 respectively. In the case of Herdability of each industry and industry, the SFA was (0.19) in the case of 1 parity, and the level was (0.28) or more in the case of Other parity. It seems that Milk fatty acid is a very important factor in the growth of cows. Genetic parameters indicated that FAs were under stronger genetic control. Therefore, we suggest implementing animal breeding programs towards improving the milk FA profile

Keywords: Heritability, Parity, Energy Balance, Lactation

서론

우유의 지방산(Fatty acid)은 큰 틀에서 4가지 종류로 유래된다. 유선에서의 드 노보합성(De novo), 수소첨가과정, 박테리아 퇴화에 의한 반추과정, 체지방 저장에 따른 직접 방출되는 경우이다.

Received September 19, 2022

Revised September 28, 2022

Accepted September 29, 2022

Copyright © 2022 Journal of Animal Breeding and Genomics.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

우유 지방산 구성을 향상시켜 최종소비자에게 이익이 돌아가도록 하기위한 연구자의 실질적 노력에는 두 가지 이유가 있다. 영양적인 관점과 이용적합에 대한 관점이다. 영양적 측면에서 우유소비자의 우려는 UFA(Unsaturated fatty acid)의 비율이 낮고 SFA(Saturated fatty acid)비율이 높다는 것이다.

이는 고혈압, 당뇨, 고지혈증, 특히 저밀도 단백질 콜레스테롤과 같은 다양한 인체의 심혈관질환을 발생시킨다(Mensink 등, 2003, Rasmussen 등, 2006).

이용적합성 관점에서 우유와 버터의 조직적 특성은 지방산(Fatty acid, FA) 구성의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. UFA의 비율이 높은 우유와 버터는 더 잘 펴지고, 더 부드러우며 점성이 덜 하기 때문이다. 그러나 UFA가 높은 유지방은 안정성이 낮고, 산화 및 감도변화와 같이 수반되는 문제가 있다(Bobe 등, 2003).

지방산의 구성을 수정하려면 유지방 구성에 영향을 미치는 다양한 요소와 이러한 관련 요소가 지방산프로파일(Fatty acid profile)에 영향을 미치는 정도에 대한 철저한 연구가 필요하다.

이전 연구에 따르면 우유의 지방산 구성에 영향을 미치는 요인은 품종, 소의 특성, 우유 생산량, 비유단계(산차), 사료 구성, 관리 및 대사 요소에 있다(Hanus 등, 2018). 하지만 이러한 요인들은 복합적인 영양과 다양한 변이가 존재하기 때문에 지속적인 연구가 필요하다. 일부 연구에서 품종과 급이가 유지방 구성에 미치는 영향을 보고했다(Ferlay 등, 2011, Daley 등, 2010, Rego 등, 2004). 또한 비유단계에 대한 에너지 상태의 변화는 지방산 구성에 영향을 미친다는 연구결과를 확인하였다.(Van Kneegsel 등, 2005, Gross 등, 2011).

비유초기에 있어서 착유우의 음의에너지균형(NEB; Negative Energy Balance)은 흔하게 발생한다. 영양소와 에너지의 결핍의 주요 원인은 지방산 방출과 관련된 지방 조직인 체내 에너지의 동원에 의해 이루어진다.

이와 함께 일부 연구에서는 우유 지방산 구성에 대한 유전적 영향(Bobe 등, 2008, Stoop 등, 2008)과 비유기별 지방산 구성의 유전능력평가, 유전상관 등을 연구했다. 이런 연구는 일반적으로 제한된 검정기록에 기초하였다.

이 연구의 목적은 지방산 함량에 따른 산차, 비유 단계 및 에너지 균형의 영향을 평가하고, 산차에 따라 집단에서의 지방산 구성에 대한 유전모수를 추정하는데 있다. 지방산 구성에서 충분한 유전적 변이가 있는 경우 향상된 지방산 구성에 대한 선발에 용이하리라 판단된다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에 사용된 검정성적은 2012년부터 2018년까지 한국종축개량협회(KAIA; Korea Animal Improvement Association)에서 수집된 885,249건의 검정자료를 이용하였다. 유성분에는 1~305일 착유일수동안 수집된 유량, 지방산성분 MUFA(Monounsaturated fatty acid), PUFA(Polyunsaturated fatty acids), SFA(Saturated fatty), TUFA(Total unstrated fatty acid), 지방단백비(P/F%)가 포함되어 있다.

젖소의 착유는 보통 오전과 오후 1일 2회 착유하며, 유성분 분석은 2회 검정샘플을 토대로 1개월 1회 분석된다. 우유검정샘플은 FOSS사의 FT+시스템을 사용하여 FTIR방식으로 분석되었다.(Foss Analytical A/S, Denmark).

분만계절은 하절기(5~10월), 동절기(11월~4월)로 정의했다. 초산월령으로는 각각 23개월령, 24~25개월, 26~28개월, 29개월이상으로 분류하였다.

모든 기술적 통계분석은 SAS 9.4 패키지(SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)를 사용하였다. 유전(공)분산성분을 포함한 유전모수는 Wombat 프로그램의 반복성 모델에 기초한 최대우도법(REML)으로 추정하였다.

통계모형

선형모델은 전체산차와 개별산차값을 구하기 위해 2개의 통계모형을 설정하여 각각 분석하였다. 단, Parity 경우 전체 산차를 이용한 모형에서만 이용되고 개별 산차 모형에서는 이용되지 않기 때문에 전체 산차에서만 Parity가 고정효과로 이용 되었다.

$$Y_{ijklm} = \mu + DIM + Age_i + Season_j + ampm_k + parity_l + a_m + p_m + e_{ijklm}$$

$$Y_{ijklm} = \mu + DIM + Age_i + Season_j + ampm_k + a_m + p_m + e_{ijklm}$$

여기서,

Y_{ijklm} : SFA, MUFA, PUFA, TUFA의 관측치

μ : 전체 집단의 평균

DIM : 비유일수에 대한 공변이(Covariate)

Age_i : 분만나이(월)에 대한 I번째 고정효과

$Season_j$: 분만계절에 대한 j의 고정효과

$ampm_k$: k번째 착유시점의 고정효과(오전/오후)

$parity_l$: l번째 산차의 고정효과

a_m : m번째 개체의 상가적 유전효과

p_m : m 번째 개체의 영구 환경효과

e_{ijklm} : 각 측정치의 임의오차

설정된 선형모형의 유전력은 다음과 같이 구하였다.

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$$

h^2 는 유전력으로 σ_A^2 는 상가적 유전분산, σ_P^2 는 표현형 분산이다.

EB(Energy Balance)값은 산차, 착유기간(주), 유성분량에 기초하였으며 방정식은 다음과 같다(Heuer 등, 2000, 2004).

$$eEB = 217.8 - wk2 \times 31.9 - wk3 \times 20.6 - wk4 \times 15.6 - wk5 \times 11.5 - wk6 \times 8.0 - wk7 \times 10.6 - wk8 \times 7.2 - wk9 \times 5.3 - wk10 \times 4.0 - wk11 \times 2.7 - wk12 \times 0 - par1 \times 34.9 - par2 \times 7.2 - par3 \times 6.7 - par4 \times 0 - milk \times 2.11 - prot \times 15.36 - FP \times 49.24 \text{ (MJ nel/d)}$$

여기서 wk2, wk3 ... wk12 는 2주~12주의 비유차수, par1~par4는 각 1~4에 해당하는 각 산차, milk는 유량(milk yield(kg/d))

prot는 유단백(%), FP는 지방단백비(F/P)% 이다.

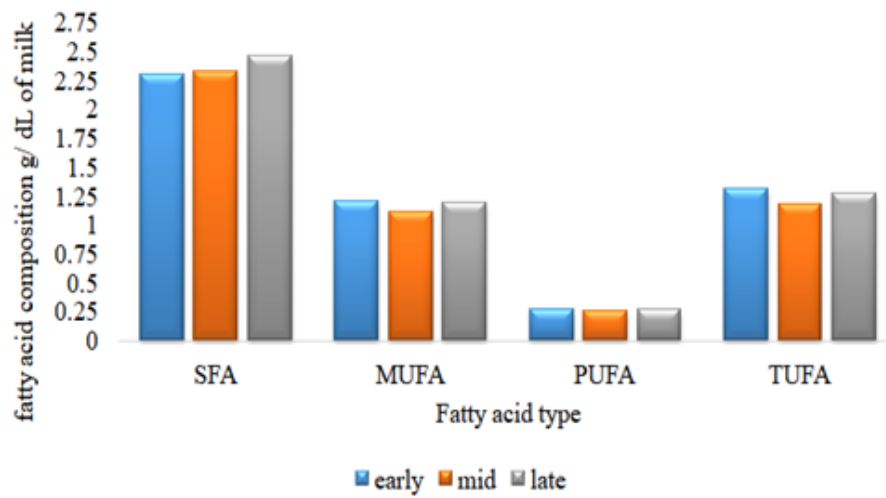
결과 및 고찰

한국종축개량협회에서 수집된 총 885,249건의 유우군검정사업 성적 샘플로 SFA, MUFA, PUFA, TUFA에 대해 평가하였다. SFA 함량은 우유 0.05 g/dL ~ 14.2 g/dL 범위에서 평균 2.43 g/dL이었고, MUFA 함량은 0.01 g/dL ~ 8.03 g/dL의 범위에서 평균 1.29였다. 평균 유량은 17.34 kg/d인 반면 평균 지방과 단백질 비율은 각각 3.83%와 3.24%이었다(Table 1).

이 연구에서 비유단계는 비유초기(1~100일), 비유중기(100~200일), 비유후기(200~305일) 세가지 변수로 구분하였다. SFA는 비유 초기에 2.29 g/dL, 비유중기에 2.32 g/dL, 비유후기 2.45 g/dL로 비유단계에 따라 증가하는 경향을 보였다. MUFA와 TUFA의 패턴은 비유중기에서 최소로 나타나며 비슷한 경향을 보였다. PUFA함량은 유의적인 변화가 관찰되지 않았다(Figure1).

Table 1. Descriptive statistics for the traits including productive traits

Traits	Obs.	Mean	SD	Min	Max
Protein(%)	885,249	3.24	0.32	0.40	12.16
Fat(%)	885,249	3.83	0.97	0.11	18.89
SFA(g/ dL of milk)	885,249	2.43	0.68	0.05	14.20
MUFA(g/ dL of milk)	885,249	1.21	0.27	0.02	6.05
PUFA(g/ dL of milk)	885,249	0.27	0.04	0.01	0.86
TUFA(g/ dL of milk)	885,249	1.29	0.41	0.01	8.03
Milk yield(kg/d)	885,249	17.34	4.74	11.8	98.00

**Figure 1.** Fatty acid composition in different lactation stages

젖소의 에너지 균형과 함께 비유단계는 우유 내 지방산에 영향을 미친다.

착유 시작시 지방산구성의 변화는 식이적 요소, 유선의 드노보 합성, 과산수소, 체지방의 이동에서 비롯된다.

비유기간 동안 체내 축적된 지방의 분해와 지방합성의 주기는 우유 분비에 필요한 암소의 에너지 요구량을 충족시키기 위해 변화하고 있다. 태아발달과 우유 분비의 에너지 수요증가가 주로 비유의 전환기에서 뚜렷하게 나타나기 때문에 젖소는 다른 포유류와 마찬가지로 비유초기 음의 에너지균형(NEB)에 들어가는 경우가 많다.(Nogalski et al., 2012)

Figure 2에서는 에너지밸런스와 지방산구성의 관계를 보여준다. 비유 2주차에서 EB는 -13.18 MJ nel/d 값을 보이면서 비유 12주에 63.40 MJ nel/d 까지 점진적으로 증가했다. 음의(-) EB 단계에서 낮은 수준의 SFA함량이 관찰되었으며 EB와 함께 증가하였다. TUFA 함량은 비유 2주차에 높았으며, 비유가 진행됨에 따라 약간 감소하고, 균일 해졌다.

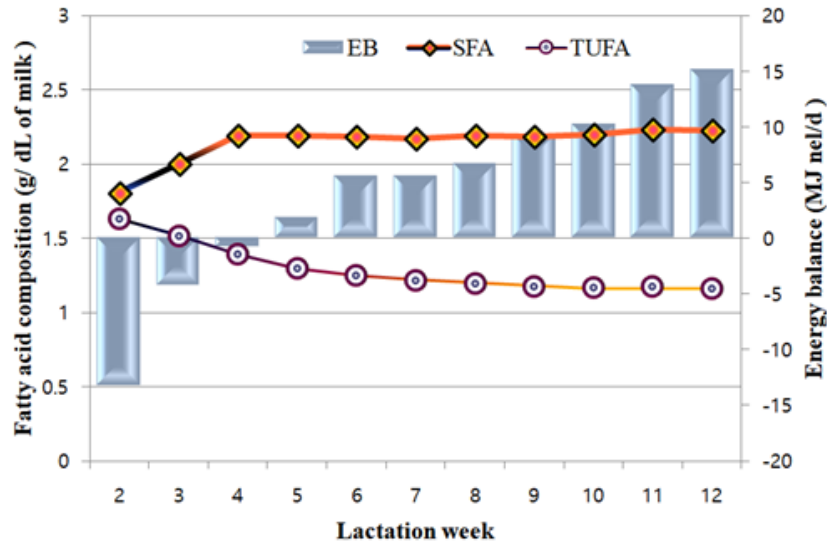
비유초기는 에너지 상태와 가축 관리 측면에서 가장 어려운시기다. 이 기간 동안 비축된 에너지는 주로 지방산 구성과 개별 지방산 그룹 간의 상호 비율에서 유지방 함량에 반영된다. 일반적인 형태는 비유에 의한 장쇄지방산의 높은 흡수가 지방산의 새로운 합성에 영향을 미치는 것으로 설명 될 수 있다. 따라서 SFA는 에너지 균형이 개선됨에 따라 12주까지 증가하면서 두 번째 주에 가장 낮은 비율을 보였고, 이러한 결과는 (Kay 등, 2005)의 결과와 일치했다.

유지방의 지방산 비율에 대한 유전모수의 추정치는 유전적 선발을 하는데 필요하다. 이 연구에서 SFA, MUFA, PUFA, TUFA에 대한 유전 가능성 추정치는 각각 0.33, 0.42, 0.37, 0.41이다. 높은 유전력은 de novo 합성된 지방산이 더 강력한 유전전달력이 있음을 나타내며 지방산 구성의 유전적 변이가 향상된 지방산 프로파일을 가진 개체의 선발이 가능할 것임을 나타낸다.

Table 2. Heritabilities (in bold in the diagonal) and genetic correlations (above the diagonal) and phenotypic correlations (below diagonal)

Source*	SFA	MUFA	PUFA	TUFA
SFA	0.33	0.117	0.015	0.093
MUFA	0.091	0.42	0.171	0.051
PUFA	0.010	0.129	0.37	0.128
TUFA	0.073	0.056	0.097	0.41

*SFA: saturated fatty acid, MUFA: monounsaturated fatty acid, UFA: polyunsaturated fatty acid, TUFA: Total unsaturated fatty acid.

**Figure 2.** The relationship between milk SFA and TUFA concentration with energy balance along with lactation week (SFA, Saturated Fatty Acid; TUFA, Total Unsaturated Fatty Acid; EB, Energy Balance).

Stoop 등(2008)은 초산차의 네덜란드 홀스타인에서 유지방의 C4 : 0 ~ C18 : 3 지방산 비율에 대해 0.09 ~ 0.54 범위의 유전력 추정치를 보고했다. Bastin 등(2011)은 또한 벨기에의 초산차 홀스타인 젖소의 우유에서 12 개의 개별 지방산 (g/dL)에 대해 더 높은 범위의 유전능력 추정치 (0.18 ~ 0.44)를 보고했다.

Karijor 등(1982)은 Sire 모델을 이용하여 유지방과 지방산 간의 표현형 및 유전 상관 추정치를 보고했으며, 단쇄 지방산 간의 큰 양성 표현형 및 유전상관 추정치를 발견했다. 이 연구에서도 모든 유전적 및 표현형상관관계에서 양(+)의 상관관계로 나타났다.

지방산 조성의 동등성의 영향에 대한 연구결과에는 상충되는 증거가 있다. 산차별 유전력 분석에 따르면, 초산차 젖소는 SFA에서 0.19의 유전력을 보여 2산차, 3산차, 4산차의 0.29, 0.29 및 0.28에 비해 더 낮은 유전력을 보였다(Table 3). 다른 산차에서 유전력에는 큰 차이가 없었다. 캐나다 홀스타인 집단에서 우유의 지방산 구성은 산차에 따라 다르지 않다고 보고되어 있다. (Kgwatalala 등, 2009). 대조적으로, 미국 홀스타인 및 Brown Swiss 젖소의 우유에서 산차는 지방산 (리놀레산) 함량에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Kelsey 등, 2003).

초산차 젖소는 후기 산차에 비해 상대적으로 양의(+) 바람직한 지방산의 비율을 가졌으며, 이는 포화 지방산과 불포화지방산 비율이 후기 산차 젖소에 비해 초산차 젖소에서 더 낮았음을 시사한다. (Bilal 등, 2014).

초산 젖소는 후기의 산차 젖소에 비해 여전히 성장하고 있기 때문에 젖소의 우유 지방산 합성에 영향을 미칠 수 있다. Miller 등 (2006)은 초산차 젖소의 유선이 이후 산차 젖소보다 대사적으로 덜 활동적이며 비유초기에 초산 젖소의 유선에서 지방산 합성 효소 발현 비율이 낮음을 입증한 바 있다.

Table 3. Heritabilities (in bold in the diagonal) and genetic correlations (above the diagonal) and phenotypic correlations (below diagonal) according to the parity1

Source*	SFA	MUFA	PUFA	TUFA
parity1				
SFA	0.19	0.01	0.29	0.00
MUFA	0.00	0.40	0.26	0.51
PUFA	0.19	0.21	0.44	0.41
TUFA	0.00	0.00	0.18	0.41
parity2				
SFA	0.29	0.00	0.23	0.00
MUFA	0.00	0.40	0.22	0.00
PUFA	0.20	0.21	0.46	0.19
TUFA	0.00	0.00	0.19	0.41
parity3				
SFA	0.29	0.00	0.21	0.00
MUFA	0.00	0.39	0.19	0.00
PUFA	0.17	0.18	0.46	0.16
TUFA	0.00	0.00	0.16	0.40
parity4				
SFA	0.28	0.00	0.16	0.00
MUFA	0.00	0.38	0.14	0.00
PUFA	0.13	0.13	0.47	0.11
TUFA	0.00	0.00	0.11	0.39

*SFA, saturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid; TUFA, Total unsaturated fatty acid.

언급된 내용과 관계는 한국 홀스타인 젖소의 고품질과 경제적 효과와 관련하여 젖소의 지방산 조성 유지의 중요성을 확인시켜 준다. 이 연구는 비유 단계와 에너지 균형, 분만 모두 유지방 구성의 변화에 크게 기여하고, 여러 지방산 조성의 활동변경을 나타낸다.

따라서 UFA 농도를 높이고 SFA 농도를 낮추어 유지방의 지방산 프로파일을 개선하기 위해 향후 육종 프로그램에서 연구할 필요가 있다고 사료된다.

결론

이 연구는 유지방 내 지방산의 산차 및 비유단계, 에너지균형에 대한 영향을 보여주고 있다. 지방산의 성분구성은 잠재적으로 건강과 밀접한 관계를 보이기 때문에 낙농가에서는 데이터를 활용하여 우유의 품질을 향상시킬 필요가 있다. 초산차 젖소의 지방산 성분은 다른산차에 비해 포화지방함량에 대한 유전력이 낮게 형성되어있고, 불포화지방산의 유전력이 포화지방산의 유전력보다 높은 수준을 보였다. 이는 젖소의 성장에 있어서 지방산합성이 영향을 미친다고 볼 수 있다.

본 연구의 얻은 자료를 기초하여, 낙농가 및 유업체는 품질의 고도화 전략으로 초산차 생산 우유에 대한 라벨을 표시할 수 있고, 초산우 우유의 낮은 포화지방산 유전력을 바탕으로 지속적인 선발도태를 통하여 보다 낮은 포화지방산함량과 높은 불포화지방산 비율로 향상시킬 근거를 마련할 수 있다. 또한 유업체에서는 낮은 산차에서 착유한 유제품을 생산함으로써 고품질우유의 마케팅 전략으로도 사용할 수 있겠다. 본 연구 결과는 젖소의 지방산 성분이 유전적 선발에 의해서도 결정지을 수 있다는 기초자료로 활용할 수 있다.

Acknowledgement

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421011-03).

References

- Chilliard Y, Ferlay A, Faulconnier Y, Bonnet M, Rouel J, Bocquier F. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proc Nutr Soc* 2000;59:127-34. <https://doi.org/10.1017/S002966510000015X>.
- Mansson HL. Fatty acids in bovine milk fat. *Food Nutr Res* 2008;52:1821. <https://doi.org/10.3402/fnr.v52i0.1821>.
- Mensink RP, Zock PL, Kester AD, Katan MB. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:1146-55. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146>
- Rasmussen BM, Vessby B, Uusitupa M, et al. Effects of dietary saturated, monounsaturated, and n-3 fatty acids on blood pressure in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 2006;83:221-6. <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.2.221>
- Bobé G, Minick Bormann JA, Lindberg GL, Freeman AE, Beitz DC. Short Communication: estimates of genetic variation of milk fatty acids in US Holstein cows. *J Dairy Sci* 2008; 91:1209-13. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0252>
- Hanus O, Samkova E, Krizova L, Hasonova L, Kala R. Role of fatty acids in milk fat and the influence of selected factors on their variability—a review. *Molecules* 2018;23:1636. <https://doi.org/10.3390/molecules23071636>
- Daley CA, Abbott A, Doyle PS, Nader GA, Larson S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutr J* 2010;9:10. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-10>
- Rego OA, Portugal PV, Sousa MB et al. Effect of diet on the fatty acid pattern of milk from dairy cows. *Anim Res* 2004; 53:213-20. <https://doi.org/10.1051/animres:2004010>
- Ferlay A, Glasser F, Martin B, Andueza D, Chilliard Y. Effects of feeding factors and breed on cow milk fatty acid composition: recent data. *Bull Univ Agric Sci Vet Med Cluj-Napoca* 2011;68:137-45.
- Van Knegsel ATM, van den Brand H, Dijkstra J, Tamminga S, Kemp B. Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle. *Reprod Nutr Dev* 2005;45:665-88. <https://doi.org/10.1051/rnd:2005059>
- Bobé G, Minick Bormann JA, Lindberg GL, Freeman AE, Beitz DC. Short communication: estimates of genetic variation of milk fatty acids in US Holstein cows. *J Dairy Sci* 2008; 91:1209-13. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0252>
- Stoop WM, Bovenhuis H, Heck JML, van Arendonk JAM. Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci* 2009;92:1469-78. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1468>
- Soyeurt H, Gillon A, Vanderick S, Mayeres P, Bertozzi C, Gengler N. Estimation of heritability and genetic correlations for the major fatty acids in bovine milk. *J Dairy Sci* 2007;90: 4435-42. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0054>
- Heuer C, Van Straalen WM, Schukken YH, Dirkwager A, Noordhuizen JPTM. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: Model development and precision. *Livest Prod Sci* 2000;65:91-105. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00177-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00177-3)
- Heuer C. The use of test day information to predict energy intake of dairy cows in early lactation. *J Dairy Sci* 2004;87: 593-601. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73201-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73201-4)
- Nogalski Z, Wronski M, Sobczuk-Szul M, Mochol M, Pogorzelska P. The effect of body energy reserve mobilization on the fatty acid profile of milk in high-yielding cows. *Asian-Australas J Anim Sci* 2012;25:1712-20. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12279>
- Kay JK, Weber WJ, Moore CE, et al. Effects of week of lactation 1578 www.ajas.info and genetic selection for milk yield on milk fatty acid composition in Holstein cows. *J Dairy Sci* 2005;88:3886-93. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73074-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73074-5)
- Bastin C, Gengler N, Soyeurt H. Phenotypic and genetic variability of production traits and milk fatty acid contents across days in milk for Walloon Holstein first-parity cows. *J Dairy Sci* 2011;94:4152-63. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4108>
- Karijord O, Standal N, Syrstad O. Sources of variation in composition of milk fat. *Ann Genet Sel Anim* 1982;99:81-93. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1982.tb00367.x>
- Kgwatalala PM, Ibeagha-Awemu EM, Mustafa AF, Zhao X. Influence of stearoyl-coenzyme A desaturase 1 genotype and stage of lactation on fatty

- acid composition of Canadian Jersey cows. *J Dairy Sci* 2009;92:1220-8. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1471>
- Kelsey JA, Corl BA, Collier RJ, Bauman DE. The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *J Dairy Sci* 2003;86: 2588-97. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73854-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73854-5)
- Bilal G, Cue RI, Mustafa AF, Hayes JF. Effects of parity, age at calving and stage of lactation on fatty acid composition of milk in Canadian Holsteins. *Can J Anim Sci* 2014;94:401-10. <https://doi.org/10.4141/cjas2013-172>
- Miller N, Delbecchi L, Petitclerc D, Wagner GF, Talbot BG, Lacasse P. Effect of stage of lactation and parity on mammary gland cell renewal. *J Dairy Sci* 2006;89:4669-77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72517-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72517-6)