

ANIMAL

Effect of dietary gamma-linolenic acid on milk production in cow

Chang-Seok Park¹, Sang-Bouym Kim², Sung-Sik Kang¹, Eung-Gi Kwon¹, Sung-Kwon Park^{3*}

¹Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA, 25340, Pyeongchang, Korea

²National Institute of Animal Science, RDA, 1500, Kongjwipatjwi-ro, Wanju-gun, 55365, Jeollabuk-do, Korea

³Department of Food Science and Technology, Sejong University, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, 05006, Seoul, Korea

*Corresponding author: sungkwonpark@sejong.ac.kr

Abstract

Recently, research has been focusing on high quality and safer animal production by utilizing natural functional materials. The aim of this study was to evaluate the effect of administration of natural Evening Primrose Oil (EPO) on gamma linolenic acid (GLA) levels in milk from Holstein dairy cows. Quality and quantity of milk as well as blood and fatty acids from Holstein cow fed diets supplemented with 2.7-4% calcium-salted EPO coated with palm stearin oil were analyzed. There was no significant difference in yield and composition of milk between control and EPO treatment. However, EPO treatment lowered blood aspartate aminotransferase (AST), somatic cell count (SCC), and cholesterol levels ($p < 0.05$) compared to untreated control. Blood urea nitrogen (BUN) level was decreased ($p < 0.05$) in GLA 1 and GLA 2 group when compared with control group. Non-esterified fatty acids (NEFA) concentration was lower ($p < 0.05$) in GLA 1 and GLA 2 groups than in control group. The level of GLA in milk was increased in EPO group when compared to control. Therefore, results from the present study demonstrate that supplementary EPO has beneficial effects on cow health, showing a decrease in somatic cell count and levels of blood cholesterol, alanine aminotransferase (ALT), and AST. Furthermore, supplementation of EPO improves milk quality with increased amounts of GLA.

Keywords: evening primrose, functional milk, GLA, healthiness

Introduction

우리나라의 경제성장과 더불어 건강을 고려하는 소비자들이 증가하면서 몸에 좋은 지방산 및 다가 불포화지방산의 함량이 높은 우유(Bu et al., 2007)와 식육(Monteiro et al., 2006)을 선호하는 추세이다. 특히, 감마리놀렌산(Gamma-linolenic acid; GLA, 18:3n-6)은 기능성 축산물, 건강보조 식품 등의 다양한 적용을 통해 소비자의 건강과 영양적 측면을 동시에 고려한다는 인식이 증가되고 있다(Nelson et al., 2003; Covar et al., 2010). 이러한 이유로 천연 기능성 물질을 활용한 고품질 안전 축산물을 생산하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 예컨대, 다가 불포화지방산 중 오메가-6 계열인 달맞이꽃 종자유(EPO; evening primerose oil)에 다량 함유되어 있는 GLA는 프로



 OPEN ACCESS

Citation: Park CS, Kim SB, Kang SS, Kwon EG, Park SK. 2016. Effect of dietary gamma-linolenic acid on milk production in cow. Korean Journal of Agricultural Science 43:232-239.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160026>

Editor: Jung Min Heo, Chungnam National University, Korea

Received: January 18, 2016

Revised: June 14, 2016

Accepted: June 22, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

스타글란딘(Prostaglandins)의 전구체이며, 특히 병인적 증상을 가진 환자에게 필수적이고 중요한 불포화지방산 중 하나로 알려져 있다(Lu et al., 2009). 그리고, GLA는 피부노화 방지, 아토피성피부염, 혈행개선, 고혈압방지 및 골다공증, 암예방 등의 다양한 병인적요인을 예방하고 개선하는 효능을 갖는 물질로 알려지고 있다(Bu et al., 2007; Horrobin, 2000; Senapati et al., 2008; Kong et al., 2009). GLA는 주로 식물의 종자를 통해 얻을 수 있으며(Huang and Ziboh, 2001), 보라지 종자유(borage seed oil) 22.8% (Iijima et al., 2000), 까막까치밥(Black current) 15.9%, EPO 12.5% 정도 함유되어 있다(Kapoor and Huang, 2006).

물론, GLA섭취는 필수 지방산으로 알려진 linoleic acid(LA, 18:2n-6)에서 전변(desaturation) 되어 생체 내에서 소량이 합성 되지만, 대사의 속도가 빠르기 때문에 LA가 풍부한 식이 섭취만으로는 체내에서 GLA의 축적량을 높이는 어려운 한계가 있다(Serini et al., 2009; Takai et al., 2009). 동물 실험에서 GLA함유 종자유를 장기간 섭취시 혈소판 세포막의 지방산 조성을 변화시키는 기능(Barre and Holub, 1992; Kang et al., 2007), 콜레스테롤 저감과 혈행 개선의 효과가 있다고 보고되고 있다(Fan et al., 2001). 이것은 세포막의 투과성을 조절하는 기능과 콜레스테롤 이동과 합성을 조절하는 기능 등의 생체 내 다양한 생리 활성과 연관되는 것으로 본다(Brosche and Platt, 2000). 또한, LA에서 GLA의 전변에 관여하는 Delta 6-desaturase (Das, 2007)의 역가가 낮거나, 당뇨병이나 심혈관 질환이 있는 경우 Delta 6-desaturase 역가에 억압을 받는다(Bu et al., 2007). 이러한 경우 Delta 6-desaturase 활성이 현저히 느리게 진행되므로 충분한 GLA 공급이 필요하다(Kong et al., 2009). 그러므로 인간뿐만 아니라 동물의 경우도 LA에서 GLA로 전변이 제한적이므로 GLA가 함유된 종자유 섭취가 필요하며, 이를 통해 체내 함량이 증가된다고 알려져 있다(Takai et al., 2009; Park et al., 2014).

하지만 아직까지 GLA 급여를 통한 젖소에 적용한 연구는 미흡한 실정이며 특히, GLA 함유 우유생산에 관한 연구는 거의 없었다. 반추가축에 GLA 급여를 통해 양질의 기능성 우유 생산 기술을 확보하고 새로운 시장 형성에 따른 소비자 선택의 다양성을 보장함과 동시에 안전하고 건강한 축산물 생산이 절실한 시기이다. 따라서 천연 식물성 지방산인 EPO를 통한 GLA 함유된 반추가축용 사료첨가제를 이용하여 효율적 반추위 이행방법과 사양방법의 기반을 마련하고, GLA 함유 기능성 우유 생산에 적용하고자 하였다.

Materials and Methods

공시동물

본 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원에서 사육된 홀스타인 비유 중, 후기(유기; 141 ± 12.52 일, 체중; 635 ± 49.21 kg)의 젖소 5두씩 3처리의 총 15두를 공시하였다. 그룹간 산차, 비유기간, 체중, BCS, 유량을 고려하여 선발하였다. 모든 공시축은 한국가축사양표준(RDA, 2007)에서 명시된 에너지와 단백질 요구량을 준수하여 사양관리된 것을 이용하였다. 급여 사료는 TMR을 하루에 한번 물과 함께 충분한 자유채식을 하여 3주간 실시였다. 우유샘플은 매일 두 번(05:00와 17:00) 12시간 간격으로 이루어지는 착유 시 채취하였고 매일 유량과 공시축의 상태를 확인하였다. 혈액시료의 경우 실험 개시전과 종료 후 채취하였다. 실험에 이용된 공시축은 실험 전 2주간의 순치 기간을 거쳤다.

실험사료

실험에 사용된 사료는 Table 1과 같으며 Kjeldahl 방법(AOAC, 1995)과 Ankom 200 (Ankom Technology, Fairport, NY)을 이용하여 분석하였다(Van Soest et al., 1991). 또한 사용된 사료는 NRC 2001 사양 표준에 준하여 이용하였다. 실험에 첨가하기 위해 제조된 사료는 GLA함유된 달맞이꽃 종자유에 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)을 첨가하여 칼슘염을 형성시키고 성형과정을 거쳐 펠릿을 0.8-1.2 mm 크기로 절단한 후, 절단된 입자에 경화 팜스테아린유를 스프레이 방식으로 챔버 내에서 분사하여 코팅하였다. 원하는 입자 및 이중코팅처리를 위해 1:1 중량비율로 2차 코팅하는 단계를

거쳤다. 코팅방법에 따른 GLA 1 (Single coating; GLA 4%)와 GLA 2 (Double coating; GLA 2.7%)으로 2차 코팅의 효율적 이행 효과를 기대하기 위해 1차 코팅과 함량 차이를 두어 시행하였다.

Table 1. Chemical composition of experimental diets.

Items	TMR	TMR+GLA
	DM, %	
Moisture	56.75 ± 2.42	62.58 ± 3.28
Ash	6.73 ± 1.24	5.29 ± 0.15
Fat	5.28 ± 0.51	26.85 ± 0.11
Crude protein	12.7 ± 0.51	11.22 ± 0.04
Fiber	15.50 ± 1.56	10.01 ± 0.04
ADF ^y	20.69 ± 4.13	14.93 ± 4.01
NDF ^z	36.59 ± 2.82	16.80 ± 0.48
GLA	0.26 ± 0.34	9.25 ± 0.37

^yADF : Acid detergent fiber.

^zNDF : Neutral detergent fiber.

Values are given as means, n = 3, mean ± SD.

유성분 분석

매일 채취된 우유시료는 아침과 저녁의 우유를 용기에 잘 섞어주고 유성분 분석 전까지 4°C에서 보관하였다. 유성분 분석을 위해 개채별 우유샘플 50 mL를 40°C 항온수조에서 15분간 안정화 시킨 후 Milko-scan 4000 series (Foss Electric Co, Denmark) 장비를 이용하여 분석하였다. 시료당 3반복을 하였으며, 유지방, 유단백, 유당, 체세포수(SCC), milk urea nitrogen (MUN), 무지고형분(TS)을 측정하였다.

혈액분석

공시축 혈액은 실험개시일과 실험종료일에 개채별 경정맥을 통해 사료 급여 1시간 전에 채취하였으며 BD Vacutainer® spray-coated K2EDTA tube (BD Franklin Lakes, NJ, USA)를 이용하여 각각 10 mL을 얻었다. 회수된 혈액은 30분 이내에 실험실로 옮겨 4°C에서 15분간 2,500 rpm 에서 혈청을 분리하였다. 분리된 혈청은 Blood Chemistry Analyzer (Express-plus 550, Ciba coming, USA) 장비를 이용하여 Glucose, Aspartate aminotransferase (AST), Alanine aminotransferase (ALT), 콜레스테롤(T-CHO), 총단백질(T-protein), Blood urea nitrogen (BUN), Non esterified fatty acid (NEFA)를 분석하였다.

지방산 분석

Folch et al. (1957)의 방법을 응용하여 우유 내 지방산을 분석하였다. 우유 50 mL을 용매 내 지방입자를 분산시키기 위해 40°C 항온수조에 15분간 정치한다. 충분히 혼합시킨 후 시료 5 mL과 chloroform/methanol (2:1) 용액 5 mL을 섞어주고 10 µL의 7.2% 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol (BHT) 용액을 시료에 첨가한다. 시료를 1시간 실온에서 정치 후 상층액을 회수한다. 포화된 25% NaCl용액을 첨가 후 3분간 천천히 흔들어주고 하층의 지질층을 회수한 다음 다른 용기에 옮겼다. 이후 6% methanol/sulfuric acid (94:6)용액을 2 mL 첨가하고 질소가스하에서 용매를 건조시켰다. Fatty acid methyl esters (FAMES)를 90°C에서 형성시킨 후 Gas chromatography (Agilent 7890A GC system; GC)를 이용하여 측정하였다. 컬럼은 SPTM-2560 (100 m × 0.25 mm internal diameter, 0.2 µm; Agilent)을 이용하였으며 Agilent사에서 제공하는 프로그램을 이용하여 분석하였다.

통계분석

본 실험에서 얻어진 데이터는 mean \pm S.E.M 또는 mean \pm SD로 표시하였고, SAS 프로그램(Statistical Analysis System software; Cary, NC, USA)의 analysis of variance (ANOVA)와 Tukey 다중비교를 이용하여 분석 하였다. $p < 0.05$ 일 때 유의적인 차이로 간주 하였다.

Results and Discussion

유성분 분석

실험에 이용한 GLA 사료첨가제는 코팅방법에 따라 각각 GLA 1과 GLA 2로 나누어 3주간 급여 하였으며, 그 결과 채취된 우유시료의 유성분은 Table 2와 같다.

Table 2. Effect of dietary GLA supplement for 3 weeks on milk composition and milk yield of dairy cow.

Weeks	Items	Control	Treatments		SEM ²
			GLA ¹ 1	GLA 2	
0	Milk Fat, %	3.33a	2.89a	2.83a	0.18
	Milk Protein, %	3.24b	3.42a	3.12b	0.13
	Milk Lactose, %	5.02a	4.92a	4.66b	0.08
	Total Solids, %	11.99a	11.56a	11.00a	0.13
	SCC ^w , $\times 10^3$ mL	292.3a	212.0a	368.9a	75.85
	MUN ^x , mg/dL	14.11a	13.83a	14.78a	1.27
	Milk yield, kg/d	26.39a	25.39a	25.16a	1.73
3	Milk Fat, %	3.44a	3.40a	2.89b	0.27
	Milk Protein, %	3.30b	3.53a	3.33b	0.14
	Milk Lactose, %	5.00a	5.02a	4.74b	0.08
	Total Solids, %	12.18a	12.10a	11.00a	0.28
	SCC, $\times 10^3$ mL	285.2a	159.4ab	117.1b	33.48
	MUN, mg/dL	17.28a	15.67a	17.06a	1.20
	Milk yield, kg/d	24.13a	25.19a	27.39a	1.98
	Total Milk yield, kg/d	24.90b	25.23b	27.01a	2.31

^wSCC: somatic cell count; $\times 10^3$ cells/mL.

^xMUN: Milk Urea Nitrogen, mg/100 mL.

^yGLA 1: Single coating (GLA 4%), GLA 2: Double coating (GLA 2.7%).

^zSEM, standard error of means.

a, b: Means in the same row with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

유지방은 개시전 유의적인 차이는 없었지만 실험 종료시 대조구(3.44%), GLA 1(3.40%), GLA 2 (2.89%)로 대조구와 GLA 1에 비해 GLA 2가 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$).

유단백의 경우 개시전 GLA 1 (3.42%)에서 대조구(3.24%)와 GLA 2 (3.12%)보다 유의적으로 증가하였으며, 종료시에도 GLA 1 (3.53%)로 대조구(3.30%)과 GLA 2 (3.33%)보다 유의적인 증가를 보였다($p < 0.05$). 유당의 경우 대조구(5.02%)와 GLA 1 (4.92%)이 GLA 2 (4.66%)보다 유의적으로 높았으나 개시와 종료 간의 차이는 없었다. 유단백과 유당의 경우 개시전과 종료시점의 처리구간의 유의성은 같은 양상을 보인 것으로 볼 때 GLA 급여에 따른 유단백과 유당의 효과는 없는 것으로 나타났다.

체세포(SCC)의 경우 개시전 대조구와 처리구간의 유의성은 없었지만($p > 0.05$), 종료시 대조구; 285.2×10^3 /mL,

GLA 1; 159.4×10^3 /mL, GLA 2; 117.1×10^3 /mL로 대조구에 비해 GLA 2가 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$).

MUN의 경우 12-18 mg/dL의 적정범위가 보고되어 있으며(Oltner and Wiktorsson, 1983), 본 실험기간 동안에 GLA 급여를 통한 공시축의 MUN은 정상범위를 유지하였다. 즉, 실험기간 동안 공시축의 영양적 상태는 양호했다는 것을 간접적으로 뒷받침하는 결과로 시사된다.

일일 산유량은 3주간 측정된 결과 처리구간의 유의성은 없었으나, 3주간의 총 유량은 GLA 2 (27.01 kg)로 대조구 (24.90 kg)와 GLA 1 (25.23 kg)에 비해 유의적으로 증가되었다($p < 0.05$).

이러한 결과는 GLA 2에서 유지방은 유의적 감소하였고 총 유량이 증가한 것으로 볼 때 유지방과 유량은 음의 상관관계가 있다는 보고와 일치한다(Yoon et al., 2004). 결론적으로 본 실험에서 GLA 급여를 통해 총 유량의 증가와 체세포수의 감소로 젖소의 유생산 및 유질개선에 도움이 된다는 긍정적인 효과를 나타내었다.

혈액성분

혈액 내 대사산물 변화의 결과는 Table 3에 제시하였다. 혈액 내 glucose는 실험 종료시 대조구(67.53 mg/dL)에 비해 GLA 1 (49.67 mg/dL)와 GLA 2 (47.33 mg/dL)가 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 착유우가 체내 이용하는 혈액내 glucose의 60-80%가 유선조직으로 이동된다(Knowlton et al., 1998). 유선조직으로 이동된 glucose의 50-80%정도가 lactose 합성에 이용된다(Horsfield et al., 1974). 이러한 glucose 대사에서 유선조직에 공급된 glucose 함량이 lactose 합성량과 양의 상관관계로 증가시키지는 않는다(Dhiman et al., 1993). 본 실험의 혈중 glucose 농도와 우유 내 lactose 농도간의 함량(Table 2) 차이가 일관되지 않는 결과를 뒷받침하는 것으로 본다.

Table 3. Effect of dietary GLA supplement for 3 weeks on blood parameters of dairy cow.

Weeks	Items ^x	Control	Treatments		SEM ^z
			GLA ^y 1	GLA 2	
0	Glucose, mg/dL	73.75a	80.75a	80.13a	7.59
	AST, mg/dL	123.75a	113.38a	99.75b	11.00
	ALT, mg/dL	35.25a	38.00a	37.75a	3.85
	T-CHO, mg/dL	207.78a	225.50a	180.63a	24.21
	T-PRO, g/dL	9.61a	6.49b	6.32b	0.55
	BUN, mg/dL	17.83a	18.80a	14.01a	2.82
	NEFA, mEq/dL	58.48a	53.86a	50.79a	10.70
3	Glucose, mg/dL	67.53a	49.67b	47.33b	10.85
	AST, mg/dL	97.01a	73.00b	52.33b	14.75
	ALT, mg/dL	30.33a	25.33b	16.00b	2.17
	T-CHO, mg/dL	203.54a	163.07b	141.67b	18.66
	T-PRO, g/dL	8.81a	6.07b	5.77b	0.55
	BUN, mg/dL	18.73a	13.40b	12.68b	0.98
	NEFA, mEq/dL	58.48a	43.86b	40.79b	4.26

^xAST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase, T-CHO: total cholesterol, T-PRO: total protein, BUN: blood urea nitrogen, NEFA: non-esterified fatty acids.

^yGLA 1: Single coating (GLA 4%), GLA 2: Double coating (GLA 2.7%).

^zSEM: standard error of means.

a, b: Means in the same row with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

혈액 중간 기능 검사 항목인 AST (aspartate aminotransferase)는 실험 개시전 GLA 2 (99.75 ± 5.30 mg/dL)가 대조구(123.75 ± 14.17 mg/dL)와 GLA 1 (113.38 ± 3.36 mg/dL)에 비해 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), 종료시 대조구

(97.01 mg/dL)에 비해 GLA 1 (73.00 mg/dL)와 GLA 2(52.33 mg/dL)가 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). ALT(alanine aminotransferase)의 경우 개시전 그룹간의 유의성은 없었으나($p > 0.05$) 종료시 대조구(30.33 mg/dL)에 비해 GLA 1 (25.33 mg/dL)과 GLA 2 (16.00 mg/dL)가 유의적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$). 콜레스테롤(T-CHO; total cholesterol)의 경우 개시전 대조구(207.78 mg/dL)과 GLA 1 (225.50 mg/dL)에 비해 GLA 2 (180.63 mg/dL)가 유의적인 차이가 없었으나($p > 0.05$), 종료시 대조구(203.54 mg/dL)에 비해 GLA 1 (163.07 mg/dL)과 GLA 2 (141.67 mg/dL)가 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 GLA가 혈액 콜레스테롤 수준을 낮추는데 효과적이라는 보고와 일치하는 것이다(Huang et al., 1984).

혈액 내 요소농도(BUN; Blood urea nitrogen)는 젖소의 단백질과 에너지 이용효율을 평가하기 위한 측도로 이용된다(Tshuma et al., 2014). 본 실험에서 BUN의 경우 개시시 그룹간의 차이는 없었으나 실험 종료시 대조구, GLA 1 과 GLA 2에서 각각 18.73 mg/dL, 13.40 mg/dL과 12.68 mg/dL로 대조구보다 처리구에서 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 그리고 총 단백질(T-PRO; total protein)의 경우 실험 종료시 대조구, GLA 1과 GLA 2에서 각각 8.81 g/dL, 60.7 g/dL과 5.77 g/dL로 대조구에 비해 처리구에서 유의적으로 감소하였다. 이는 BUN은 체내 단백질 대사를 반영한다는 것(Oltner and Berglund, 1983)을 시사하며 GLA 급여로 인한 혈중 단백질 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

NEFA (non-esterified fatty acids)의 경우 개시전 처리간의 차이는 없었으나, 종료시 대조구, GLA 1 및 GLA 2는 각각 58.48 mg/dL, 43.86 mg/dL 및 40.79 mg/dL로 대조구에 비해 처리구가 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 GLA 급여가 NEFA의 농도도 감소시키는 결과를 나타냈다. NEFA농도 감소는 체내 각종 장기와 변식관련 조직 및 간 기능에 긍정적인 효과를 나타낸다는 보고(Jorjong et al., 2014)와 일치하는 결과를 나타내었다.

따라서 GLA 급여가 콜레스테롤 저감된다는 보고(Schirmer and Phinney, 2007)와 일치하며 AST, ALT 저감으로 간기능 개선에 영향을 주는 것으로 사료된다.

우유 내 GLA 함량

우유 내 GLA 함량을 측정을 위해 GC를 이용한 결과는 Table 4와 같다. GLA 1은 561.67 ug/g과 GLA 2는 422.23 ug/g로 대조구의 28.07 ug/g 보다 유의적으로 증가하는 것을 확인하였다($p < 0.05$). 따라서 보호코팅된 GLA첨가제는 우유 내 GLA 함량을 높임으로서 GLA함유 유생산이 가능한 것으로 판단된다.

Table 4. Effect of dietary GLA supplement for 3 weeks on GLA level in milk from dairy cow.

	Control	Treatments		SEM ²
		GLA ¹ 1	GLA 2	
GLA, mg/g	28.07a	561.67b	422.23b	25.42

¹GLA 1: Single coating (GLA 4%), GLA 2: Double coating (GLA 2.7%).

²SEM: standard error of means.

a, b: Means in the same row with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

Conclusion

최근 다가 불포화 지방산을 가축에 적용하는 연구를 통해 고품질의 안전한 축산물 생산하고자 노력하고 있다. 이에 본 연구는 천연 식물성 지방산인 달맞이꽃 종자유를 통한 GLA함유 반추가축용 사료첨가제를 이용하여 효율적으로 반추위 이행을 위해 보호 코팅 처리를 통해 소장 흡수를 돕고자 시행하였다. 3주간의 GLA 종류별 처리를 통해 총 유량이 유의적으로 증가하였으며 우유 내 체세포수도 유의적으로 감소하였다. 혈액 내 콜레스테롤 함량 및 간기능 측도인 ALT, AST의 농도도 유의적으로 감소하였다. 특히, 우유 내 GLA 함량을 유의적으로 증가하는 결과를 도출

하였다.

이러한 결과는 젖소 사양기간동안 사료 내 보호코팅된 GLA를 첨가함으로써 GLA 함유 기능성 우유 생산이 가능하다는 결과를 제시하였다.

Acknowledgements

본 연구는 2016년도 농촌진흥 국립축산과학원 한우연구소 박사후연수과정 지원사업에 의해 이루어진 것임

References

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th edition. Association of Official analytical chemist, Washington DC, USA.
- Barre DE, Holub BJ. 1992. The effect of borage oil consumption on the composition of individual phospholipids in human platelets. *Lipids* 27:315-320.
- Brosche T, Platt D. 2000. Effect of borage oil consumption on fatty acid metabolism, transepidermal water loss and skin parameters in elderly people. *Archives of gerontology and geriatrics* 30:139-150.
- Bu DP, Wang JQ, Dhiman TR, Liu SJ. 2007. Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows. *Journal Dairy Science* 90:998-1007.
- Calder PC. 2001. Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and immunity. *Lipids* 36:1007-1024.
- Covar R, Gleason M, Macomber B, Stewart L, Szeffler P, Engelhardt K, Murphy J, Liu A, Wood S, DeMichele S. 2010. Impact of a novel nutritional formula on asthma control and biomarkers of allergic airway inflammation in children. *Clinical and Experimental Allergy* 40:1163-1174.
- Das UN. 2007. Gamma-linolenic acid therapy of human glioma-a review of in vitro, in vivo, and clinical studies. *Med Science Monitor* 13:119-131.
- Dhiman TR, Cadomiga C, Satter LD. 1993. Protein and energy supplementation of high alfalfa silage diets during early lactation. *Journal of Dairy Science* 76:1945-1959.
- Fan YY, Ramos KS, Chapkin RS. 2001. Dietary gamma-linolenic acid suppresses aortic smooth muscle cell proliferation and modifies atherosclerotic lesions in apolipoprotein E knockout mice. *Journal of Nutrition* 131:1675-1681.
- Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226:497-509.
- Horrobin DF. 2000. Essential fatty acid metabolism and its modification in atopic eczema. *The American Journal Clinical Nutrition* 71:367-372.
- Horsfield S, Infield JM, Annison EF. 1974. Compartmental analysis and model building in the study of glucose kinetics in the lactating cow. *Proceeding of The Nutrition Society* 33:9-15.
- Huang YS, Manku MS, Horrobin DF. 1984. The effects of dietary cholesterol on blood and liver polyunsaturated fatty acids and on plasma cholesterol in rats fed various types of fatty acid diet. *Lipids* 19:664-672.
- Huang YS, Ziboh VA. 2001. *Gamma-Linolenic Acid: Recent Advances in Biotechnology and Clinical Applications*. AOCS Press. p. 256.
- Iijima S, Otsuka F, Kikuchi H, Yamada K, Nakajima T, Yahiro K, Kondo A. 2000. Oral supplementation with gamma-linolenic acid extracted from *Mucor circinelloides* improves the deformability of red blood cells in hemodialysis patients. *Nephron* 86:122-128.
- Jorjong S, van Kneegsel AT, Verwaeren J, Lahoz MV, Bruckmaier RM, De Baets B, Kemp B, Fievez V. 2014. Milk fatty acids as possible biomarkers to early diagnose elevated concentrations of blood plasma nonesterified fatty acids in dairy cows. *Journal of*

- Dairy Science 97:7054-7064.
- Kang HK, Park BS. 2007. Effects of Dietary γ -Fatty Acids on the Fatty Acid Composition of Pork and Plasma Lipids in Swine. Korean Journal Animal Nutrition Feed 16:105-114. [in Korean]
- Kapoor R, Huang YS. 2006. Gamma linolenic acid: an anti-inflammatory omega-6 fatty acid. Current Pharmaceutical Biotechnology 7:531-534.
- Knowlton KF, Dawson TE, Glenn BP, Huntington GB, Erdman RA. 1998. Glucose metabolism and milk yield of cows infused abomasally or ruminally with starch. Journal of Dairy Science 81:3248-3258.
- Kong X, Ge H, Chen L, Liu Z, Yin Z, Li P, Li M. 2009. Gamma-linolenic acid modulates the response of multidrug-resistant K562 leukemic cells to anticancer drugs. Toxicology In Vitro 23:634-639.
- Lu H, Li JN, Chai YR, Zhang XK. 2009. Identification and characterization of a novel delta6-fatty acid desaturase gene from *Rhizopus nigricans*. Molecular Biology Reports 36:2291-2297.
- Monteiro ACG, Santos-Silva J, Bessa RJB, Navas DR, Lemos JPC. 2006. Fatty acid composition of intramuscular fat of bulls and steers. Livestock Science 99:13-19.
- Nelson JL, DeMichele SJ, Pacht ER, Wennberg AK, Grp ENAS. 2003. Effect of enteral feeding with eicosapentaenoic acid, gamma-linolenic acid, and antioxidants on antioxidant status in patients with acute respiratory distress syndrome. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition 27:98-104.
- Oltner R and Wiktorsson H. 1983. Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. Livestock Production Science 10:457-467.
- Park SO, Hwangbo J, Yuh IS, and Park BS. 2014. Gamma-linolenic acid egg production enriched with hemp seed oil and evening primrose oil in diet of laying hens. Journal of Environmental Biology 35:635-640.
- RDA. 2007. Korean Feeding Standard (Swine). Rural Development Administration. [in Korean]
- Schirmer MA, Phinney SD. 2007. Gamma-linolenate reduces weight regain in formerly obese humans. Journal of Nutrition 137:1430-1435.
- Senapati S, Banerjee S, Gangopadhyay DN. 2008. Evening primrose oil is effective in atopic dermatitis: a randomized placebo-controlled trial. Indian Journal of Dermatology Venereology Leprology 74:447-452.
- Serini S, Piccioni E, Merendino N, Calviello G. 2009. Dietary polyunsaturated fatty acids as inducers of apoptosis: implications for cancer. Apoptosis 14:135-152.
- Takai S, Jin D, Kawashima H, Kimura M, Shiraishi-Tateishi A, Tanaka T, Kakutani S, Tanaka K, Kiso Y, Miyazaki M. 2009. Anti-atherosclerotic effects of dihomogamma-linolenic acid in ApoE-deficient mice. Journal of Atherosclerosis and Thrombosis 16:480-489.
- Tshuma T, Holm DE, Fosgate GT, Lourens DC. 2014. Pre-breeding blood urea nitrogen concentration and reproductive performance of Bonsmara heifers within different management systems. Tropical animal health and production 46:1023-1030.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74:3583-3597.
- Yoon JT, Lee H, Kim CK, Chung YC, Kim C-H. 2004 Effects of Milk Production, Season, Parity and Lactation Period on Variations of Milk Urea Nitrogen Concentration and Milk Components of Holstein Dairy Cows. Asian-Australasian Journal of Animal Science 17:479-484.