

미역부산물 첨가가 *In Vitro* 발효성상과 젖소의 산유량 및 유성분에 미치는 영향

백인규* · 맹원재* · 이성훈* · 이흥구** · 이상락* · 하종규** · 이성실*** · 황주환****
건국대학교 동물생명과학부*, 서울대학교 농생명공학부**, 경상대학교 낙농학과***,
상주대학교 축산학과****

Effects of the Brown Seaweed Residues Supplementation on *In Vitro* Fermentation and Milk Production and Composition of Lactating Dairy Cows

I. K. Baek*, W. J. Maeng*, S. H. Lee*, H. G. Lee**, S. R. Lee*, J. K. Ha**,
S. S. Lee*** and J. H. Hwang****

Faculty of Animal Life Science, Konkuk University*, School of Agricultural Biotechnology,
Seoul National University**, Department of Dairy Science, Gyeongsang National University***,
Department of Animal Sciences, Sangju National University****

ABSTRACT

This study was conducted to investigate effects of the brown seaweed residues supplementation on *in vitro* fermentation, and milk yield and milk composition of dairy cows. Therefore, two experiments consisting of an *in vitro* and an *in vivo* growth trial were used.

In *in vitro* experiment, brown seaweed residues(BSR) was supplemented in basal diet with 0, 1, 2 and 4% respectively, and incubated for 3, 6, 9, 12, and 24 h. The pH value, ammonia-N and VFA were investigated. The pH value tended to increase with increasing BSR during the incubation. Particularly, pH was significantly higher in BSR treatments compared with control at 9 h($p < 0.05$). While, ammonia-N concentration was not significantly different across treatments during the whole incubation. BSR supplementation did not affect total VFA production, but acetate was linearly increased in BSR treatments compared with control at 12 h($p < 0.05$), and its concentration was highest(92.70 mM) in 4% BSR among treatments. The concentration of *iso*-butyrate tended to increase in BSR treatments in comparison to control during the incubation. In addition, the concentration of *iso*-valerate was higher in BSR treatments compared with control at 12 and 24 h.

In growth trial, BSR was added(800 g/d/animal) to diets of dairy cow. Dry matter intake was not affected by BSR supplementation, but daily milk yield(kg) significantly increased in BSR treatment compared with control($p < 0.05$). However, milk composition(%) and milk yield(kg) were not significantly different between treatments. Milk fat(% and kg/d) tended to slightly decrease in BSR treatment compared with control(3.59% and 1.06 kg/d vs. 3.32% and 1.01 kg/d). The contents of C16:0 and C20:4 in milk significantly increased in BSR treatment compared with control reflecting from dietary fatty acid composition. The content of C18:0 in milk which is end product of biohydrogenation of C18 unsaturated fatty acids in the rumen significantly increased in BSR treatment compared with control($p < 0.05$). C18:2 content in milk tended to decrease, but tended to increase *trans*-11 C18:1 and CLA contents in milk in BSR treatment compared with control.

In conclusion, it could be summarized that BSR may stabilize rumen pH, and it could improve milk yield and CLA content in milk with more than 4% of diet. Therefore, BSR could be beneficially used in dairy diets as a feed additive.

(**Key words** : Brown seaweed residues, *In vitro* fermentation, pH, Milk yield, CLA, Dairy cows)

Corresponding author : J. H. Hwang, Department of Animal Sciences, Sangju National University, Tel : 054-530-5225.
E-mail : jhhwang@sangju.ac.kr

I 서 론

오늘날 축산업은 과거와는 달리 그 사육호수가 점점 감소하는 반면에 사육규모는 대형화되었고, 사료원료의 90% 이상을 외국 수입에 의존하고 있는 국내 축산현실에 비추어 볼 때, 농가 경영수지의 대부분을 사료비에 지출하고 있고 농가의 부담 또한 상당히 가중된 상태에 있으며 이로 인하여 축산농가의 경쟁력의 약화를 초래하고 있는 실정이다. 따라서 국내에서는 저비용의 고품질 축산물을 생산하기 위해 각종 부산물을 부존 사료자원으로서 재활용을 활발히 시도하고 있으며, 이 시도는 사료자원 확보차원 뿐만 아니라 환경오염 감소 차원 등 다양한 측면에서 바람직한 것으로 보고되고 있다(곽과 윤, 2003). 그러나 실제적으로 부산물의 이용은 저 영양적 가치, 불균일한 화학적 조성 및 지역적·절적 특이성 등으로 인하여 지극히 한정되어 있고, 수분 함량에 따른 저장성 등의 문제로 사료로 이용하기보다는 농업용 퇴비로 이용하는 것이 보편화되어 있어서 사료로 이용하기 위한 보다 적극적인 활용방법이 모색되어야 하겠다.

부산물원들을 살펴보면 볏짚, 왕겨 및 곡류 찌꺼기, 도축 폐기물 등의 농·수산 부산물, 식료품 및 주정제조 부산물 등의 산업 부산물 등 다양하게 존재하고 있다. 반면에 수산자원 부산물은 어유를 제외하고는 축산 농가에서의 이용성은 극히 희박하다. 따라서 본 연구에서는 인체에 다양하게 이로운 효과를 나타내고 있는 미역(*Undaria pinnatifida*)에 대한 최근의 관심에 부응하여 미역의 사료적 가치를 평가하려고 하였다. 미역은 양식과정에서 가식부위인 엽체부위만을 취하므로 상당량의 부산물(줄기 및 뿌리)이 발생하고, 채취한 엽체는 식품으로서 가공공정을 거쳐서 부산물이 발생하고 있다. 이들 부산물은 전체 미역생산량의 약 40~60%에 육박하고, 매년 14~21만 톤이 양식장 및 바다에 폐기되어 해양 환경오염을 야기시키고 있어서(박

등, 2001), 이들에 대한 가축 사료 및 기타 방법으로의 재활용이 요구된다. 미역 및 그 부산물을 포함한 해조류(marine algae) 내에는 각종 기능성 다당류(alginic acids, fucoidan, laminaran 등)를 포함한 섬유질, 무기질(칼슘 및 요오드 등) 및 단백질 그리고 불포화지방산($n-3$ 및 $n-6$)이 풍부하게 함유되어 있어 인체 내에서는 비만방지, 항혈액응고작용, 항염증효과, 중금속 흡착을 통한 해독작용 및 항종양효과가 있는 것으로 이미 알려져 있고(Murata 등, 1999; Murata 등, 2002), 특히 국내의 한의학계에서는 산모에게 산후 조리료 미역국을 복용시킴으로서 젖 분비가 원활해지고 혈액순환이 개선된다고 알려져 있다. 이와 같은 인체 건강에 이로운 장점을 고려하여 미역부산물을 가축의 사료로 이용할 경우 가축의 건강뿐만 아니라 기능성 축산물 생산이 가능하여 이를 통한 축산농가의 수익증대와 해양오염방지에 공헌할 수 있을 것으로 기대된다.

반추동물에 대한 해조류의 효과를 살펴보면, Hansen 등(2003)은 해조류(*Ulva lactuca*)를 면양에 급여하였을 때, 건물과 유기물 소화율이 각각 71.7%와 79.6%로 양호한 결과를 나타내었다고 보고하였고, Ventura와 Castanon(1998)은 *in sacco*와 *in vitro* 배양을 통해 중간정도 품질의 조사료 가치를 갖는다고 하여 해조류가 반추동물에 대한 잠재적 사료 가치가 있는 것으로 보고되고 있다. 하지만, 지금까지 미역을 포함한 해조류에 대한 광범위한 동물연구가 충분히 이루어지지 않았고, 미역의 세포벽을 구성하고 있는 해조류만의 점성 다당류(alginic acids)에 대한 동물체내 흡수 및 대사에 대하여 잘 알려져 있지 않은 실정이다. 또한 미역의 생산은 매년 2월에서 4월에 집중적으로 이루어지는 한시적 생산특성을 가지고 있는 것이 문제점으로 제기되고 있다.

따라서 본 연구는 미역부산물을 착유용 젖소사료로 활용하기 위하여 미역부산물의 반추위내 발효성상을 조사하여 그 사료적 가치를 평가하고(실험 1), 착유우에 사료원으로 급여

하였을 때, 산유성적 및 유지방산 조성에 미치는 영향(실험 2)을 알아보기 위하여 *in vitro*와 사양실험을 실시하였다.

II 재료 및 방법

본 연구는 부존 해양사료자원으로서 미역부산물물의 반추동물에 대한 사료적 가치평가와 착유우의 산유특성을 조사하기 위하여 두 개의 실험으로 나누어 실시하였고, 실험1은 기초사료에 미역부산물을 수준별로 첨가한 후 *in vitro* 반추위발효성상을 조사하였고, 실험 2는 실험 1에서 얻어진 첨가수준에 근거한 착유우의 기초사료에 미역부산물을 급여하였을 때 산유특성 및 유지방산 조성에 미치는 영향을 조사하였다.

1. 실험설계 및 실험사료

실험 1은 미역부산물을 수준별로 첨가하여 *in vitro* 반추위 발효성상을 조사한 것으로, 처리구는 대조구(0%), 1%, 2%, 4%의 네 수준의 실험구로 설정하였다. 실험 2는 실험 1의 미역부산물의 첨가수준에 따른 결과를 토대로 실제 착유우 사료에 top-dressing하여 무첨가군의 대조구와 비교하였다. 실험 2의 미역부산물 첨가수준은 사료섭취량을 20kg 기준으로 하여 4%(800g)을 급여하였다. 실험에 사용된 착유우 두수는 처리구당 각각 7두씩 총 14두를 공시하여 실시하였다.

실험 1 및 2의 기초사료는 농가관행 완전혼합사료(total mixed ration)와 착유우용 배합사료(농협)를 각각 7:3의 비율로 혼합하여 배양기질(실험 1) 및 착유우 사양시험의 기초사료(실험 2)로 동일하게 사용하였고, 미역부산물(BSR: brown seaweed residues)과 기초사료의 화학적 조성은 Table 1에 나타내었다.

2. Rumen Inoculum 준비와 배양방법(실험 1)

실험 1에서 배양에 사용된 rumen inoculum은 반추위 cannulae가 장착된 Holstein cow로부터

Table 1. Chemical composition of the brown seaweed residues(BSR) and basal diet

Item	BSR	Basal diet
	Chemical composition ¹⁾ (%, DM basis)	
Dry matter	89.55	76.66
Crude protein	11.66	16.40
Acid detergent fiber	12.50	22.03
Neutral detergent fiber	22.71	34.32
Non-fibrous carbohydrate ²⁾	26.38	38.22
Ether extract	1.54	3.65
Crude ash	37.71	7.41
Ca	0.99	0.95
P	0.46	0.54

¹⁾ All figures are analysed values; ²⁾ value calculated as follows: 100 - (crude protein + neutral detergent fiber + ether extract + crude ash).

터 얻어 실험실로 운반하였다. 운반하는 동안은 39℃ . 유지된 보온병에 잘 보관하였고, 운반 후 즉시 반추위 내용물(ruminal content)은 사료입자를 제거하기 위해 2겹 cheesecloth에 여과하였고 20ℓ 용량의 Pyrex병에 39℃ . 유지하여 보관하였다. 여과된 반추위내용물은 CO₂로 bubbling한 rumen buffer 용액과 1:1로 혼합하여 이를 rumen inoculum으로 사용하였다. Rumen buffer 용액은 Maeng 등(1976)의 방법으로 제조하여 사용하였다. 배양은 Tilley와 Terry(1963)의 방법을 개량한 Maeng 등(1976)의 방법에 따라 실시하였으며, 1ℓ용 narrow-mouth bottle(Nalgen Co. U.S.A)에 500ml의 rumen inoculum을 천천히 주입시키며 39℃ ±0.5로 설정된 항온 교반기(Sangwoo Co.)에서 100rpm으로 교반하면서 배양하였으며, 배양시간은 3, 6, 9, 12, 24시간으로 하였고, 기질은 배합된 기초사료를 60℃ 48시간동안 건조하여 1mm sieve가 장착된 wiley mill로 분쇄한 후, ruminal fluid volume(300ml)의 2%를 투입하고, 대조구를 제외한 처리구는 미역부산물을 기초사료 투입량의 1%, 2% 및 4%로 추가 공급하

였다. 각 배양시간이 끝나면 배양병 각각의 배양액을 시료로 채취하고 rumen parameter인 pH, 암모니아태 질소농도 및 휘발성지방산농도를 분석하여 미역부산물의 반추위내 발효성을 평가하였다.

3. 착유우의 사양관리 및 조사항목(실험 2)

착유우는 경북 의성소재 착유우 농장에서 산차수, 유량, 비유일수가 비슷한 젖소 14두를 공시하여 대조군과 처리군(미역부산물 급여군)의 2처리군으로 나누어 실험군을 배치하였고, 예비시험기간을 14일간 설정하여 실험사료에 적응시켰고, 본 실험기간은 8주간 지속되었다. 실험사료는 일일 2회(04:30 a.m., 15:30 p.m.) 급여하였고, 물은 자유로이 음수할 수 있도록 하였으며, 사료섭취량은 본 실험기간동안 매일 잔여량을 수거하여 계산하였다. 착유는 개체별로 아침(05:30 a.m.), 저녁(17:30 p.m.)으로 일일 2회 착유하였으며, 일일 산유량은 개체별로 아침 착유량과 저녁 착유량을 합하여 기록하였다.

그리고 대조군과 미역부산물 급여군 간의 유성분 및 유지방산 조성을 비교하기 위하여 각 개체별로 분실험 실시 후 2주, 4주, 6주 및 8주째에 아침과 저녁 착유한 우유를 동량으로 pooling하여 채취하였으며 분석 시까지 냉동고(-20°C)에 보관하였다. 각 개체의 유성분 및 지방산 조성의 결과는 2주, 4주, 6주, 8주의 결과를 평균값으로 환산하여 각 개체의 대표값을 산출하였다.

4. 분석방법

실험 1과 2에 이용된 기초사료 및 미역부산물의 영양성분은 AOAC(1995)의 방법에 따라 건물, 조단백질, 에테르추출물, 조회분, 칼슘 및 인 함량을 분석하였고, ADF(acid detergent fiber)와 NDF(neutral detergent fiber)는 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 분석하였으며, 미역부산물의 지방산 조성(Table 2)은 Sukhija와 Palmquist(1988)의 방법에 따라 분석하였다. 배양한 후에 각 배양물은 pH meter(WTW Co.,

Table 2. Fatty acid composition in brown seaweed residues

Fatty Acids ¹⁾	BSR g/100 g total fat
14:0 myristic	3.69
16:0 palmitic	22.44
16:1(n-7) palmitoleic	2.36
18:0 stearic	2.27
18:1(n-9) oleic	11.48
18:2(n-6) linoleic	9.02
18:3(n-3) α-linolenic	6.60
20:0 arachidic	1.00
20:3(n-6)	0.69
20:4(n-6) arachidonic	8.56
SFA ²⁾	29.40
MUFA ³⁾	13.84
PUFA ⁴⁾	24.87
n-3	6.60
n-6	18.27

¹⁾ expressed as number of carbons:number of double bonds; ²⁾ saturated fatty acid; ³⁾ monounsaturated fatty acid; ⁴⁾ polyunsaturated fatty acid.

Germany)를 사용하여 pH를 측정된 후 시료를 -20°C 서 분석시까지 냉동 보관하였고, rumen parameter의 측정시 냉동 보관해 두었던 시료를 5°C 녹인 즉시 약 10mL의 위액을 취하여 1,500×g로 15분간 원심분리하여 상층액(supernatant)과 pellet으로 분리한 후 상층액으로 ammonia-N 농도와 휘발성지방산(volatile fatty acids) 분석에 사용하였다. Ammonia-N의 분석은 Chaney와 Marbach(1962)의 방법에 따라 phenol과 alkali를 동량으로 발색시킨 후 spectrophotometer를 이용하여 630nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다. 휘발성지방산은 Erwin 등(1961)의 방법에 따라 상층액 1ml에 25% metaphosphoric acid 100μl를 첨가한 후 3,000 rpm에서 15분간 원심분리한 후 상층액을 gas chromatography(Hewlett packard 6890, Hewlett packard Co.)에 주입하여 분석하였다.

한편, 사양시험 기간동안 채취한 우유의 성분 분석은 Milkoscan 4,000 Series(FOSS Electric Co.)를 이용하여 총 고형물, 무지고형분, 유지

방, 유단백질, 유당, 체세포 수 및 요소태질소 (MUN: milk urea nitrogen) 함량을 조사하였고, 지질은 Folch 등(1957)의 방법으로 시료 50g을 Folch 용액(CHCl₃:CH₃OH=2:1) 250mℓ과 BHT 100μℓ를 넣고 25,000rpm에서 균질화시킨 후 여과하여 3,000rpm에서 10분간 원심 분리하였다. 원심분리 후 상층액은 aspirator로 제거하고 하층은 sodium sulfate를 첨가하여 여과한 다음 농축시켜 질소 가스로 남은 용매를 제거하였다. Methylation은 Folch 등(1957)의 방법으로 추출한 지질 80mg을 teflon-lined screw-cap tube (20mℓ)에 넣고 4% H₂SO₄ 2mℓ 첨가한 후 90℃ waterbath에서 10분간 methylation 하였으며 상온에서 냉각 후 hexane 1mℓ와 증류수 1mℓ을 넣고 혼합한 다음 층 분리가 일어나면 상층액 1mℓ을 회수하여 GLC(Gas Liquid Chromatography, Agilent 6890 + USA)로 분석하였다.

5. 통계분석

실험 1과 2에서 얻어진 결과는 SAS package program(2000, release. 8.1 version)을 이용하여 통계 분석하였으며, 실험 1은 GLM(general linear model) procedure의 Duncan 다중검정에

의해 그리고 실험 2는 T-test procedure를 이용하여 처리구간의 유의성(p < 0.05)을 검정하였다(Steel과 Torrie, 1980).

III 결과 및 고찰

미역부산물의 화학적 조성은 Table 1에 나타난 바와 같이, 조회분 함량이 건물기준으로 각각 37.71%로 비교적 높게 나타났고, 탄수화물 또한 NDF 22.71% 및 NFC 26.38%로서 충분히 함유되어 있어 반추동물사료자원으로서 잠재적인 가치가 있는 것으로 나타났다. 하지만, 에테르추출물 함량은 1.54%로 상대적으로 낮은 함량을 나타내었다.

1. 실험 1

실험 1에서는 완전혼합사료와 착유우용 배합사료를 7:3으로 배합한 기초사료에 미역부산물을 *in vitro* 배양장치에서 수준별(0, 1, 2 및 4%)로 첨가했을 때 반추위내 발효특성을 조사하여 반추동물에 대한 미역부산물의 영양적 가치를 평가하였다. Table 3은 미역부산물이 반추위내 pH 및 암모니아태 질소농도에 미

Table 3. Effects of dietary BSR supplementation on *in vitro* pH and ammonia-N concentration

Incubation time(h)	Treatments ¹⁾				SEM ²⁾	p value
	Control	BSR 1%	BSR 2%	BSR 4%		
..... pH						
3	5.63	5.64	5.64	5.63	0.039	0.9878
6	5.49	5.49	5.49	5.47	0.017	0.3708
9	5.39 ^{b3)}	5.42 ^a	5.42 ^a	5.41 ^{ab}	0.012	0.0495
12	5.38	5.40	5.40	5.40	0.009	0.0631
24	5.37	5.39	5.39	5.39	0.011	0.2357
..... NH ₃ -N(mg/dℓ)						
3	28.12	28.43	30.04	29.52	1.197	0.2429
6	37.74	38.18	37.92	38.32	1.750	0.9760
9	48.14	48.25	49.46	50.65	1.842	0.3622
12	57.63	59.70	56.11	55.49	2.754	0.3632
24	64.02	62.73	63.64	63.27	1.767	0.8311

¹⁾ All values represent the mean of triplicates; ²⁾ standard error of mean; ^{3)a,b} means in the same row with different superscripts differ(p < 0.05).

치는 영향을 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 반추위내 pH는 발효가 6.36(0시간)에 개시되어 3시간 이후에 모든 처리구에서 6 이하로 낮아졌다. 그리고 미역부산물의 첨가 비율의 증가는 배양시간이 지속됨에 따라 pH가 대조군에 비하여 다소 높아지는 경향을 나타내었으며, 특히 배양 9시간에 대조군(5.39)에 비하여 처리구에서 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 하지만 배양 9시간 이외의 시간대에서, 미역부산물에 의한 반추위내 pH는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 반추위내 pH는 일반적으로 가축이 섭취하는 사료의 영양적 조성, 급여방식, 사료의 물리적인 형태, 가공방법 등 여러 가지에 의해 영향을 받으나 그 중에서 영양적 조성이 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있고(Bargo 등, 2001; Holden 등, 1994; Rearte와 Santini, 1993), 특히 생산성이 높은 고능력우의 사료에는 분해속도가 빠른 곡류가 높은 비율로 함유하고 있어 반추위내 pH가 일시적으로 감소하여 산중독증을 유발하는 것으로 보고되고 있다(Slyter, 1976). 본 실험에서 나타난 6 이하의 낮은 pH는 곡류사료의 비율이 높은 착유우용 완전혼합사료와 배합사료로 혼합된 기초사료의 영양적 및 원료적 특성으로 인하여 발효가 지극히 빠른 속도로 진행되어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다. 또한 미역부산물에 다량으로 함유된 광물질(조회분)이 반추위내에서 완충능력(buffering capacity, BC)으로 나타나 대조군보다 pH가 다소 높아진 것으로 사료된다. 일반적으로 반추위내 산-염기상태를 나타내는 환경은 사료에 의해 영향을 받고 Jasaitis 등(1987)은 조사료와 고단백질 사료가 전분 함량이 높은 농후사료에 비해 사료본래의 반추위내 완충능력이 3~4배 정도 높은 것으로 보고하였고, 특히 사료 중 양이온 농도와 조회분 비율이 완충능력과 깊은 상관관계가 있다고 하였다. Rupérez(2002)는 해조류의 조회분 함량이 본 실험의 미역부산물에 존재하는 37.7%와 유사한 수치인 갈조류와 홍조류에서 각각 30.1~39.3%와 20.6~21.1% 함유하고, Na, K, Ca 및 Mg를 포함하는 양이온이 최대 건물기준 17% 이상 함유한다고 보

고하여 본 실험의 미역부산물 내 높은 조회분 함량에 의한 완충능력으로 인하여 pH 증가 가능성을 시사해 준다.

한편, 미역부산물이 반추위내 암모니아태 질소농도에는 전 배양시간에 걸쳐 유의한 효과가 나타나지 않았지만, 발효개시 3시간에서 9시간까지는 미역부산물의 첨가로 대조군에 비하여 다소 증가하는 경향을 나타내었고, 12시간 이후부터는 대조군에 비하여 다소 낮아지는 경향을 나타내었으며, 배양시간이 증가함에 따라 각 처리구에서 지속적으로 암모니아태 질소농도의 증가 경향을 보였다. 반추위내 생성되는 암모니아의 대부분은 사료단백질의 분해로 생성되는 대사산물이고 이들은 반추위내 미생물의 성장에 필요한 질소원을 공급하여 미생물체 단백질을 합성의 원료가 되고 이후 소장으로 이행하여 숙주동물이 필요로 하는 대부분의 아미노산을 공급하며, 미생물이 생성된 암모니아를 체내로 유입시키기 위해서는 충분한 양의 에너지를 필요로 한다(Hoover와 Stokes, 1991). 그러므로, 사료단백질의 분해로 생성된 암모니아가 미생물체내로 단백질 합성시 반추위내 분해성 탄수화물이 부족하면 반추위내에서 암모니아가 축적되고, 이는 반추위벽을 통하여 흡수되며, 흡수된 암모니아는 간을 거쳐 최종적으로 요소로 전환되어 뇨로 배출되는 영양소의 낭비를 초래하게 된다(Russell과 Sniffen, 1984). 미역부산물 내 존재하는 단백질은 반추위내에서 비교적 분해가 빠르게 일어나는 것으로 나타났고, 특히 배양 초기에 단백질의 상당량이 분해되어 다소 높은 양의 암모니아가 생성되는 것으로 나타났으며 암모니아 축적으로 인한 영양소의 손실을 방지하기 위해 기타 분해성 탄수화물의 공급이 필요할 것으로 사료된다. 이와 반대로 배양 12시간 이후에서는 대조군에 비해 처리군에서 암모니아태 질소농도가 다소 감소하는 결과를 나타내었는데, 이는 미역부산물에 존재하는 에너지기질 부분(섬유질 및 특이다당류)의 분해가 반추위내에서 천천히 일어나 탄수화물-단백질의 분해동조화(synchrony)에 의한 미생물단백 질합성으로 다소 감소한 것으로 사료된다.

미역에 다량 함유되어 있는 다당류는 alginic acid, fucoidan, laminaran 등 화학적으로 견고한 결합형태로 존재하고 그 중 alginic acid는 분자량이 5만 ~ 20만의 고분자 섬유질로서 D-mannuronic acid와 L-guluronic acid의 이질다당류(heteropolysaccharide)로 이루어져 있고, 이들은 미역을 포함한 갈조류 세포벽의 대부분을 차지하며(Beresford 등, 2000; Klinkenberg 등, 2001), 반추동물에서는 구조성 탄수화물로서 작용하여 반추위 미생물에 의해 발효가 일어나면서 숙주동물에게 에너지를 공급한다(Greenwood 등, 1983a; Greenwood 등, 1983b; Beresford 등, 1999). 따라서 본 실험의 배양 12시간 이후의 암모니아태 질소의 감소현상은 분자량이 높은 해조류 특이 다당류의 분해속도에 따른 동조화로 설명할 수 있다.

미역부산물의 첨가가 반추위내 휘발성지방산 농도에 미치는 영향은 Table 4에 나타난 바와 같다. 전반적으로 미역부산물의 첨가로 휘발성지방산 생성에 유의한 영향을 미치지 않았다. 그러나, acetate 생성량은 배양 12시간에서 대조군(87.29mM)에 비하여 처리군에서 유의하게 직선적으로 증가하였고, 미역부산물 4% 첨가군에서 92.70mM로서 가장 높게 나타났다. 휘발성지방산 중 acetate의 농도는 사료 중 섬유질 사료로부터 섬유소 분해박테리아에 의한 작용으로 생성되는 발효 최종산물이고, 섬유소 분해박테리아의 활력을 나타내는 적정 pH는 6.0 ~ 6.8로서 본 실험에서 나타난 pH 범위는 이들 미생물이 주로 작용하는 환경이 아니었다(Hutjens, 1998). 그러나, 반추위 내 산성환경에서도 내성을 나타내는 섬유소 분해박테리아가 일부(*butyrivibrio fibrisolvens*, *prevotella ruminicola*) 존재하여(Russell과 Wilson, 1996; Russell 등, 1992) 이들 미생물이 분비하는 cellulase, CMCase 및 xylanase와 같은 섬유소 분해효소에 의해 미역부산물 내 존재하는 구조성 탄수화물 또는 섬유소 구성화합물(carboxymethylcellulose, xylan)을 분해하여 acetate가 유의하게 증가한 것으로 생각된다. 실질적으로 미역부산물 내 존재하는 대부분의 탄수화물은 주로 alginic acids의 복합다당류로서 이들 탄수화물은 반추

위내에서 주로 섬유소 분해박테리아에 의해 acetate 생성경로를 거치는 것으로 나타났다.

한편, 분지 지방산인 iso-butyrate는 미역부산물의 첨가수준이 증가함에 따라 전반적으로 대조구에 비해 증가하는 경향을 나타내었고, iso-valerate 역시 배양 12시간과 24시간에 첨가군에서 증가하였다($p > 0.05$). 반추위내 분지 지방산(branched-chain fatty acids)은 사료단백질 특히 분지아미노산(leucine, isoleucine 및 valine)이 미생물에 의한 분해로 생성되며 이들은 반추위내 미생물이 분지아미노산을 합성하도록 탄소골격을 제공할 뿐만 아니라(Allison 등, 1962a, 1962b), 대다수의 섬유소 분해 미생물중에 영양분을 제공하여 반추위내 섬유소의 분해를 향상시키는 역할을 한다(Van Gylswyk, 1970; Soofi 등, 1982; Gorosito 등, 1985). 본 실험에 이용된 미역부산물의 아미노산 조성은 분석하지 않았지만, 일반적으로 해조류의 아미노산 조성은 지리적, 계절적, 해수의 염도 및 해조류의 종에 의하여 영향을 받는다. Norziah와 Ching(2000)의 보고에서는 주로 glycine, arginine, alanine 및 glutamic acid가 많이 함유한다고 하였고, Munda(1977)는 glutamic acid, aspartic acid 뿐만 아니라 leucine, isoleucine 및 valine을 포함한 필수 아미노산이 골고루 분포한다고 보고하였다. 이에 따라 본 연구에 이용된 미역부산물 내에도 상당량의 필수아미노산(분지아미노산 포함)이 존재할 것으로 사료되고, 이들은 반추위내에서 분해되어 분지 지방산을 증가시켜 섬유소 분해균의 활성 및 섬유소의 소화율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 미역부산물의 급여로 증가된 acetate의 생성과 유기적으로 연결된 결과라고 할 수 있다.

이상과 같이 실험 1의 결과에서 미역부산물은 높은 비율의 가용성 단백질과 조회분으로 인하여 고능력 반추동물의 사료로 이용할 시 지극히 낮아질 수 있는 반추위내 pH를 다소 증가시켰고, 미역부산물에 존재하는 다당류는 휘발성 지방산의 acetate와 분지 지방산의 농도를 증가시켰다.

Table 4. Effects of dietary BSR supplementation on *in vitro* VFA production

Incubation time(h)	Treatments ¹⁾				SEM ²⁾	p value
	Control	BSR 1%	BSR 2%	BSR 4%		
..... Acetate, mM						
3	77.18	78.46	77.06	79.68	1.156	0.0728
6	80.71	78.42	84.30	84.82	3.956	0.2309
9	88.30	88.25	83.16	85.29	3.788	0.3396
12	87.29 ^{b3)}	89.31 ^{ab}	90.56 ^{ab}	92.70 ^a	2.537	0.0439
24	97.83	95.96	95.42	97.05	4.214	0.6312
..... Propionate, mM						
3	31.23	31.37	30.56	31.50	0.498	0.1775
6	33.97	32.19	32.05	34.90	1.865	0.2890
9	35.40	35.71	33.55	35.17	2.131	0.5857
12	39.49	37.74	39.21	40.35	1.607	0.3204
24	44.46	43.48	43.92	44.01	2.321	0.8347
..... Butyrate, mM						
3	20.87	21.03	20.48	21.03	0.561	0.6087
6	23.03	21.73	22.50	23.20	1.433	0.4817
9	23.33	24.05	23.51	23.01	1.700	0.7324
12	27.63	26.52	27.44	28.58	1.529	0.4734
24	28.01	28.31	28.47	28.36	1.701	0.8138
..... Valerate, mM						
3	2.82	2.71	2.68	2.68	0.071	0.1266
6	3.09	2.77	2.97	2.90	0.182	0.2679
9	3.20	3.24	3.07	3.12	0.256	0.8477
12	4.15	3.88	4.03	4.20	0.256	0.4689
24	4.78	4.81	4.89	4.81	0.286	0.7734
..... iso-butyrate, mM						
3	1.42	1.44	1.45	1.49	0.040	0.2930
6	1.35	1.43	1.45	1.46	0.090	0.4605
9	1.70	1.76	1.77	1.75	0.125	0.8752
12	2.15	2.23	2.20	2.27	0.147	0.8135
24	2.66	2.70	2.70	2.68	0.140	0.6685
..... iso-valerate, mM						
3	3.41	3.34	3.33	3.33	0.116	0.8037
6	3.50	3.78	3.69	3.64	0.204	0.4470
9	3.92	3.97	3.79	3.87	0.344	0.9281
12	4.98	5.30	5.17	5.41	0.359	0.5254
24	6.08	6.25	6.24	6.17	0.357	0.6486
..... Total volatile fatty acids, mM						
3	136.94	138.35	135.56	139.71	2.003	0.1444
6	145.65	140.32	146.96	150.91	7.664	0.3143
9	155.85	156.99	148.85	152.21	8.211	0.5214
12	165.69	164.98	168.62	173.51	6.314	0.2846
24	183.82	181.51	181.64	183.08	8.842	0.7593

¹⁾ All values represent the mean of triplicates; ²⁾ standard error of mean; ^{3)a,b} means in the same row with different superscripts differ (p < 0.05).

2. 실험 2

실험 2는 미역부산물을 착유우의 사료로 이용할시 산유성적과 유지방산 조성에 미치는 영향을 조사한 것으로서, 기초사료에 1일 두당 사료섭취량(건물 20kg기준) 기준 4%(두당 800g)에 해당하는 양을 top-dressing하여 대조구와 비교하였다.

미역부산물 급여가 사료섭취량 및 산유성적에 미치는 영향은 Table 5에 나타난 바와 같다. 착유우에 미역부산물의 급여는 건물섭취량에 유의한 영향을 미치지 않았고, 두 처리구 공히 22kg 이상 섭취하여 미역부산물이 착유우의 사료섭취량을 제한하지 않았다. 일반적으로 해조류의 세포벽을 구성하는 alginic acids는 점성 겔(viscous gel)을 형성하는 특성이 있어 반추동물에서는 기호성을 떨어뜨리고 사료섭취량이 지극히 감소하는 현상이 나타나는 것으로 보고된 바 있고(Beresford 등, 2000), Franklin 등(1999) 또한 착유우에 해조류를 급여한 결과 건물섭취량이 유의하게 감소한다고 보고하였으나, 본 실험에서의 급여수준에서는 건물섭취량을 제한하지 않는 것으로 나타났다. 다른 연구자들의 급여수준(910g 이상)에 비하여 본 실험의 급여수준(800g)이 상대적으로 낮았으므로, 미역부산물의 물리화학적 성질에 의한 기호성 감소현상이 나타나지 않았던 것으로 사료된다. 그리고 1일 산유량은 대조구의 29.27kg에 비하여 미역부산물 급여군에서 31.02kg으로 유의하게 증가하였으나($p < 0.05$), 유성분 조성 및 1일 유성분 생산량에는 처리구간 유의차가 나타나지 않았다. 일반적으로 산유량은 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받으며, 특히 섭취되는 사료의 영양적 조성, 생리적 단계(산차), 비유 일수 및 각종 내분비 호르몬에 의하여 산유량이 영향을 받는다(Kahl 등, 1995; Quevedo-Corona 등, 2000). 특히 비유에 관여하는 호르몬은 prolactin, insulin, glucocorticoids 및 갑상선호르몬 등이 있으며, 이 중 갑상선호르몬은 정상적인 비유 유지에 중요한 역할을 한다(Tucker, 1981). 갑상선호르몬은 구조적으로 요오드(I; T₃ 및 T₄)를 가지고 있어 사료 및

Table 5. Effects of dietary BSR supplementation on DMI, milk yield and composition in dairy cows

Variables	Treatments ¹⁾		SEM ²⁾	p value
	Control	BSR		
Cows, n	7	7	-	-
DMI ³⁾ , kg/d	22.84	22.61	0.5429	0.7863
Milk yield, kg/d	29.27	31.02	0.3710	0.0484
Milk fat				
%	3.59	3.32	0.2499	0.2755
Yield, kg/d	1.06	1.01	0.1037	0.6094
Milk protein				
%	3.14	3.13	0.0923	0.8536
Yield, kg/d	0.92	0.96	0.0779	0.5655
Milk lactose				
%	4.88	4.72	0.0796	0.0644
Yield, kg/d	1.43	1.46	0.1351	0.8255
Total solids				
%	12.18	12.05	0.3439	0.6946
Yield, kg/d	3.58	3.71	0.3151	0.6748
Solid-not-fat				
%	8.64	8.48	0.1259	0.1779
Yield, kg/d	2.53	2.62	0.2257	0.6963
SCC ⁴⁾ , × 1000	184.00	302.43	123.61	0.3087
MUN ⁵⁾ , mg/dl	15.85	14.23	0.8350	0.0688

¹⁾ All figures represent the mean of 7 cows; ²⁾ standard error of mean; ³⁾ dry matter intake; ⁴⁾ somatic cell counts; ⁵⁾ milk urea nitrogen.

식이로 섭취하는 요오드의 섭취량에 따라 이 호르몬의 발현이 증가한다(Swanson 등, 1990). 이러한 관점에서 미역 및 해조류 내에는 다량의 광물질(조회분)이 존재할 뿐만 아니라, 육상식물에 비하여 요오드를 풍부하게 함유하는 것으로 보고되고 있어(Hou 등, 1997), 본 실험에서도 미역부산물의 착유우에 대한 급여가 산유량을 증가시킨 것으로 사료된다. 이와 같이 산유량의 증가는 우유 내 존재하는 유성분을 상대적으로 희석시키는 결과를 가져왔고 유지방을 제외한 조성(%)은 대조구에 비하여 감소하는 경향을 나타내나 1일 산유량 기준으로 유성분 생산량(kg)은 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 유지방은 조성(%)과 생산량(kg)에 있어서 대조군의 3.59%와 1.06kg에 비하여 처리군에서 각각 3.32%와 1.01kg으로 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 착유우에 있어 유지방을 감소(milk fat depression, MFD)는 사료 내 지방 함량과 밀접한 관계가 있으며(NRC, 2001), 최근에는 종실을 포함한 불포화지방산이 다량 함유된 사료를 반추동물이 섭취하면서 반추위 내 미생물에 의한 C18계 불포화지방산의 불완전한 수소 첨가현상으로 생성된 CLA 및 *trans*-C18:1 지방산에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다(Perfield 등, 2002; Griinari 등, 1998). 이에 따라 해조류를 착유우에 급여하는 Franklin 등(1999)의 연구보고에서 유지방 및 유지방 생산량이 대조군에 비하여 유의하게 감소하였고, 이는 우유 내 CLA 및 *trans*-C18:1 지방산의 증가로 나타난 것으로 생각되며 본 실험결과에서도 유사한 영향을 나타내었다. 한편 우유내 체세포 수와 사료내 단백질-에너지 균형을 나타내는 우유 중 요소태 질소농도는 처리구 간에 유의한 영향을 나타내지 않았다.

미역부산물인 우유의 지방산 조성에 미치는 영향은 Table 6에 나타난 바와 같다. 미역부산물내 지방산 조성은 Table 2에서 보는 바와 같이 C16:0, C18:1, C18:2 및 20:4 함량이 총지방 100g당 각각 22.44, 11.48, 9.02 및 8.56g으로 나타났으며, 불포화지방산 중 *n*-6 지방산이 *n*-3 지방산보다 비교적 높은 비율을 차지하였다. 일반적으로 해조류 내에는 C16:0, C18:1(*n*-9), C20:4(*n*-6) 및 C20:5가 가장 많이 존재하는 것으로 알려져 있으며(Sánchez-Machado 등, 2004), 본 연구에 이용된 미역부산물 내에도 이들 지방산이 풍부하게 존재하였다. 이들 지방산으로 구성된 미역부산물을 착유우에 급여한 결과 우유 내에는 C16:0 및 C20:4 지방산이 대조군에 비하여 처리군에서 유의하게 증가하였고($p < 0.05$), 이는 미역부산물의 지방산 조성을 그대로 반영해 주었다. 그리고 사료 중 C18계 불포화지방산은 반추위내 미생물에 의한 C18계 불포화지방산의 수소 첨가현상(biohydrogenation)으로 대부분이 C18:0로 전변되고(Harfoot과 Hazlewood, 1988), C18:2 (*n*-6) 지방산은 반추위내에서 그 중간대사산물

Table 6. Effects of dietary BSR supplementation on fatty acid profile in the milk of dairy cows

Fatty acids ¹⁾	Treatments ²⁾		SEM ³⁾	p value
	Control	BSR		
 g/100 g total fat			
14:0 myristic	11.71	11.83	0.2008	0.5548
16:0 palmitic	35.66	37.02	0.6205	0.0361
16:1(<i>n</i> -7) palmitoleic	1.64	1.75	0.1235	0.3341
18:0 stearic	11.29	12.73	0.5762	0.0250
18:1(<i>n</i> -9) oleic	22.35	21.73	0.4348	0.1467
18:1 <i>trans</i> -11 vaccenic	3.23	3.48	0.3526	0.4416
18:2(<i>n</i> -6) linoleic	2.62	2.55	0.0939	0.4929
18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 CLA	0.43	0.46	0.0328	0.3460
18:3(<i>n</i> -3) α -linolenic	ND ⁴⁾	ND	-	-
20:0 arachidic	0.45	0.40	0.0557	0.4389
20:3(<i>n</i> -6)	0.23	0.25	0.0440	0.7095
20:4(<i>n</i> -6) arachidonic	0.15	0.18	0.0143	0.0414

¹⁾ expressed as number of carbons:number of double bonds; ²⁾ all figures represent the mean of 7 cows; ³⁾ standard error of mean; ⁴⁾ not detectable.

로서 CLA(*cis*-9, *trans*-11 C18:2) 및 *trans*-11 C18:1 지방산을 생성한다(Kepler와 Tove, 1967). 사료 중 C18:3(*n*-3) 또한 C18:2와 유사한 경로를 거쳐 최종적으로 *trans*-11 C18:1 및 C18:0로 전환되는 대사적 특성을 가진다(Wilde와 Dawson, 1966).

본 연구에서도 미역부산물의 급여는 우유 중 수소 첨가현상의 최종산물인 C18:0가 총 지방 100g당 대조군의 11.29g에 비하여 처리군에서 12.73g으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그리고 우유 중 C18:2 함량은 대조군에 비하여 처리군에서 감소하는 대신 C18계 불포화지방산의 불완전한 수소 첨가현상으로 생성되는 *trans*-11 C18:1과 CLA 함량이 다소 증가하는 경향을 나타내었다. *Trans*-11 C18:1 및 CLA는 유성분 중 유지방 함량을 감소시키는 원인이 되는 것으로 보고되고 있고(Gaynor 등, 1994; Selner와 Schultz, 1980), 이 같은 사실은 본 실험의 유지방 결과와 일치한다. 인체에서 항암작용(Ip 등, 1994)을 나타내는 기능성 지방산인 CLA 함량이 본 실험에서 통계적 유의차를 나타내지 않았지만, Franklin 등(1999)의 연구에서는 우유 내 CLA 함량이 총지방 100g당 대조군(0.37g)에 비해 처리군에서 각 2.31 및 2.62g을 나타내어 유의하게 증가하였다. 이는 본 실험에서 급여한 미역부산물의 양이 CLA를 증가시킬 정도로 충분한 양은 아니었던 것으로 판단되고, 급여수준을 그 이상으로 증가시킨다면 보다 많은 CLA가 생성할 것으로 기대된다.

IV 요 약

본 연구는 해양부존사료자원으로서 미역부산물의 사료적 가치와 착유우의 산유특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 *in vitro* 반추위 발효성상(실험 1)과 산유성적 및 유지방산 조성(실험 2)을 조사하였다.

실험 1에서는 기초사료에 미역부산물(BSR; brown seaweed residues)을 0, 1, 2, 4% 수준으로 첨가하여 *in vitro* 배양장치에서 3, 6, 9, 12 및 24시간동안 배양한 후, rumen parameter(pH,

암모니아태 질소 및 휘발성지방산)를 조사하였다. 미역부산물의 첨가 비율의 증가는 배양 시간이 지속됨에 따라 pH가 대조군에 비하여 다소 높아지는 경향을 나타내었으며, 특히 배양 9시간에 대조군(5.39)에 비하여 처리군에서 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그리고, 미역부산물이 반추위내 암모니아태 질소농도에도 전 배양시간에 걸쳐 유의한 효과가 나타나지 않았다. 미역부산물의 첨가는 휘발성지방산생성에 유의한 영향을 미치지 않았으나, acetate 생산량은 배양 12시간에서 대조군(87.29mM)에 비하여 처리군에서 유의하게 직선적으로 증가하였고($p < 0.05$), 미역부산물 4% 첨가군에서 92.70mM로서 가장 높게 나타났다. *iso*-butyrate는 미역부산물의 첨가수준이 증가함에 따라 전반적으로 대조군에 비해 증가하는 경향을 나타내었고, *iso*-valerate 역시 배양 12시간과 24시간에 첨가군에서 증가하는 경향을 나타내었다($p > 0.05$).

실험 2에서는 미역부산물의 착유우에 대한 산유특성을 조사한 것으로 급여량은 1일 두당 800g의 수준으로 급여하여 대조군과 비교하였다. 사료건물섭취량은 처리군에 의해 영향을 받지 않았고, 1일 산유량은 대조군에 비하여 처리군에서 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 하지만, 유성분율과 생산량은 처리군간에 유의한 차이가 나타나지 않았고, 유지방은 조성(%)과 생산량(kg)에 있어서 대조군의 3.59%와 1.06kg에 비하여 처리군에서 각각 3.32%와 1.01kg으로 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 우유 내에는 C16:0 및 C20:4 지방산이 대조군에 비하여 처리군에서 유의하게 증가하였고, 이는 미역부산물의 지방산 조성을 그대로 반영해주었으며, C18계 불포화지방산의 수소 첨가현상의 최종산물인 C18:0의 비율 또한 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 우유 중 C18:2 함량은 대조군에 비하여 처리군에서 감소하는 대신 불완전한 C18계 불포화지방산의 수소 첨가현상으로 생성되는 *trans*-11 C18:1과 CLA 함량이 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

이와 같이 미역부산물은 반추위내 pH를 안정시킬 뿐만 아니라 산유량 증대, 그리고 사료

내 4% 이상으로 첨가시 우유 내 CLA 함량을 증가시킬 것으로 사료되므로, 부존사료자원으로서의 잠재적 가치가 충분하다고 판단된다.

V 인 용 문 헌

- Allison, M. J., Bryant, M. P. and Doestch, R. N. 1962a. Studies on the metabolic function of branched-chain volatile fatty acids, growth factors for ruminococci. I. Incorporation of isovalerate into leucine. *J. Bacteriol.* 83:523-532.
- Allison, M. J., Bryant, M. P., Katz, I. and Keeney, M. 1962b. Metabolic function of branched-chain volatile fatty acids, growth factors for ruminococci. II. Biosynthesis of higher branched-chain volatile fatty acids and aldehydes. *J. Bacteriol.* 83:1084-1093.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Bargo, F., Rearte, D. H., Santini, F. J. and Muller, L. D. 2001. Ruminant digestion by dairy cows grazing winter oats pasture supplemented with different levels and sources of protein. *J. Dairy Sci.* 84: 2260-2272.
- Beresford, N. A., Mayes, R. W., Colgrove, P. M., Barnett, C. L., Bryce, L., Dodd, B. A. and Lamb, C. S. 2000. A comparative assessment of the potential use of alginates and dietary calcium manipulation as countermeasures to reduce the transfer of radiostrontium to the milk of dairy animals. *J. Environ. Radioactivity* 51:321-334.
- Beresford, N. A., Mayes, R. W., MacEachern, P. J., Dodd, B. A. and Lamb, C. S. 1999. The effectiveness of Ca-alginate to reduce the transfer of radiostrontium to goats milk. *J. Environ. Radioactivity* 44:43-54.
- Chaney, A. L. and Marbach, E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Biochem.* 8:130-132.
- Erwin, E. S., Marco, S. J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44: 1768-1771.
- Folch, J., Lees, M. and Sloane Stanley G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226(1):497-509.
- Franklin, S. T., Martin, K. R., Baer, R. J., Schingoethe, D. J. and Hippen, A. R. 1999. Dietary marine algae(*Schizochytrium sp.*) increases concentrations of conjugated linoleic, docosaheptaenoic and transvaccenic acids in milk of dairy cows. *J. Nutr.* 129:2048-2052.
- Gaynor, P. J., Erdman, R. A., Teter, B. B., Sampugna, J., Capuco, A. V., Waldo, D. R. and Hamosh, M. 1994. Milk fat yield and composition during abomasal infusion of *cis* or *trans* octanodecenoates in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77:157-165.
- Gorosito, A. R., Russell, J. B. and Van Soest, P. J. 1985. Effect of carbon-4 and carbon-5 volatile fatty acids on digestion of plant cell wall *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 68:840-847.
- Greenwood, Y., Orpen, C. G. and Paterson, I. W. 1983a. Digestibility of seaweeds in Orkney sheep. *Proc. Physiol. Soc.* 343:120.
- Greenwood, Y., Hall, F. J., Orpen, C. G. and Paterson, I. W. 1983b. Microbiology of seaweed digestion in Orkney sheep. *Proc. Physiol. Soc.* 343:121.
- Grünari, J. M., Dwyer, D. A., McGuire, M. A., Bauman, D. E., Palmquist, D. L. and Nurmela, K. V. V. 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:1251-1261.
- Hansen, H. R., Hector, B. L. and Feldmann, J. 2003. A qualitative and quantitative evaluation of the seaweed diet of North Ronaldsay sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 105:21-28.
- Harfoot, C. G. and Hazlewood, G. P. 1988. lipid metabolism in the rumen. In: *The Rumen Microbial Ecosystem* (Hobson, P. N., ed.), pp. 285-322. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands.
- Holden, L. A., Muller, L. D., Varga, G. A. and Hillard, P. J. 1994. Ruminant digestion and duodenal nutrient flows in dairy cows consuming grass as pasture, hay, or silage. *J. Dairy Sci.* 77:3034-3042.
- Hoover, W. H. and Stokes, S. R. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.* 74:3630-3644.
- Hou, X., Chai, C., Qian, Q., Yan, X. and Fan, X. 1997. Determination of chemical species of iodine in some seaweeds (I). *Science of the Total Environment* 204:215-221.
- Hutjens, M. 1998. Feeding guide. Hoard's dairyman. W. D. Hoards & Sons Co.
- Ip, C., Scimeca, J. A. and Thompson, H. J. 1994. Conjugated linoleic acid: a powerful anticarcinogen from animal fat sources. *Cancer* 74:1050-1054.
- Jasaitis, D. K., Wohlt, J. E. and Evans, J. L. 1987. Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 70: 1391.

24. Kahl, S., Capuco, A. V., Binelli, M., Vanderkooi, W. K., Tucker, H. A. and Moseley, W. M. 1995. Comparison of growth hormone-releasing factor and somatotropin: Thyroid status of lactating, primiparous cows. *J. Dairy Sci.* 78:2150-2158.
25. Kepler, C. R. and Tove, S. B. 1967. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. III. Purification and properties of a linoleate delta-12-*cis*, delta 11-*trans*-isomerase from *Butyrivibrio fibrisolvens*. *J. Biol. Chem.* 242:5686-5692.
26. Klinkenberg, G., Lystad, K. Q., Levine, D. W. and Dyrset, N. 2001. Cell release from alginate immobilized *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* in chitosan and alginate coated beads. *J. Dairy Sci.* 84:1118-1127.
27. Maeng, W. J., Van Nevel, C. J., Baldwin, R. L. and Morris, J. G. 1976. Rumen microbial growth rates and yields : Effect of amino acids and protein. *J. Dairy Sci.* 59:68-79.
28. Munda, I. M. 1977. Differences in amino acid composition of estuarine and marine fucoids. *Aquat. Bot.* 3:273-280.
29. Murata, M., Ishihara, K. and Saito, H. 1999. Hepatic fatty acid oxidation enzyme activities are stimulated in rats fed the brown seaweed, *Undaria pinnatifida*(wakame). *J. Nutr.* 129:146-151.
30. Murata, M., Sano, Y., Ishihara, K. and Uchida, M. 2002. Dietary fish oil and *Undaria pinnatifida* (wakame) synergistically decrease rat serum and liver triacylglycerol. *J. Nutr.* 132:742-747.
31. Norziah, M. H. and Ching, C. Y. 2000. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. *Food Chem.* 68:69-76.
32. NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised edition. National academy press, Washington, D.C.
33. Perfield II, J. W., Bernal-Santos, G., Overton, T. R. and Bauman, D. E. 2002. Effects of dietary supplementation of rumen-protected conjugated linoleic acid in dairy cows during established lactation. *J. Dairy Sci.* 85:2609-2617.
34. Quevedo-Corona, L., Franco-Colín, M., Caudillo-Romero, M., Pacheco-Rosado, J., Zamudio-Hernández, S. and Racotta, R. 2000. 3,5,3'-triiodothyronine administered to rat dams during lactation increases milk yield and triglyceride concentration and hastens pups growth. *Life Sci.* 66(21):2013-2021.
35. Rearte, D. H. and Santini, F. J. 1993. Rumen digestion of temperate pasture: effects on milk yield and composition. Page 562 in Proc. XVII Int. Grassl. Congr. N. Z.
36. Rupérez, P. 2002. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chem.* 79:23-26.
37. Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J. and Sniffen, C. J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J. Anim. Sci.* 70:3551-3561.
38. Russell, J. B. and Sniffen, C. J. 1984. Effect of carbon-4 and carbon-5 volatile fatty acids on growth of mixed rumen bacteria *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 67:987.
39. Russell, J. B. and Wilson, D. B. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *J. Dairy Sci.* 79:1503-1509.
40. Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., López-Hernández, J. and Paseiro-Losada, P. 2004. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chem.* 85:439-444.
41. SAS. 2000. SAS/STAT[®] User's guide (Release 8.1 ed.). Statistics, SAS Inst, Inc., Cary, NC.
42. Selner, D. R. and Schultz, L. H. 1980. Effect of feeding oleic acid or hydrogenated vegetable oils to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 63:1235-1241.
43. Slyter, L. L. 1976. Influence of acidosis on rumen function. *J. Anim. Sci.* 43:910-929.
44. Soofi, R., Fahey, Jr, G. C., Berger, L. L. and Hinds, F. C. 1982. Effect of branched chain volatile fatty acids, Trypticase[®], urea, and starch on *in vitro* dry matter disappearance of soybean stover. *J. Dairy Sci.* 65:1748-1753.
45. Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical approach (2nd eds.). McGraw-Hill, Inc.
46. Sukhija, P. S. and Palmquist, D. L. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202-1206.
47. Swanson, E. W., Miller, J. K., Mueller, F. J., Patton, C. S., Bacon, J. A. and Ramsey, N. 1990. Iodine in milk and meat of dairy cows fed different amounts of potassium iodide or ethylenediamine dihydroiodide. *J. Dairy Sci.* 73:398-405.
48. Tilley, J. M. A. and Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104-111.
49. Tucker, H. A. 1981. Physiological control of mammary growth, lactogenesis, and lactation. *J. Dairy Sci.* 64:1403.
50. Van Gylswyk, N. O. 1970. The effect of supplementing a low-protein hay on the cellulolytic bacteria in the rumen of sheep and on the digestibility of cellulose and hemicellulose. *J. Agric. Sci.* 74:169-174.
51. Van Soest, P. J., Roberts, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.

52. Ventura, M. R. and Castanon, J. I. R. 1998. The nutritive value of seaweed(*Ulva rigida*) for goats. *Small Rumin. Res.* 29:325-327.
53. Wilde, P. F. and Dawson, R. M. C. 1966. The biohydrogenation of alpha-linolenic acid and oleic acid by rumen microorganisms. *Biochem. J.* 98:469-475.
54. 곽완섭, 윤정식. 2003. 농산업부산물들에 대한 배출 현장 조사 및 사료적 가치 평가. *한국동물자원과학회지.* 45(2):251-264.
55. 박권필, 김태희, 김영숙, 차왕석, 우명우. 2001. 미역 폐기물 및 미역폐기물 유도체에 의한 중금속 이온의 생물흡착. *한국환경과학회지* 10(2):153-158.
(접수일자 : 2004. 2. 3. / 채택일자 : 2004. 4. 12.)