

저분자화알긴산이 콜레스테롤식이 흰쥐의 혈청과 간장지질의 콜레스테롤 수준 및 지방산 조성에 미치는 영향

이동수 · 남택정 · 변재형
부경대학교 식품생명과학과

Effect of Low Molecular Alginates on Cholesterol Levels and Fatty Acid Compositions of Serum and Liver Lipids in Cholesterol-Fed Rats

Dong-Soo LEE, Taek-Jeong NAM and Jae-Hyeung PYEUN

Department of Food and Life Science, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

The effect of low molecular alginates feeding on the cholesterol levels and fatty acid compositions of rat serum and liver lipid were investigated. After one week basal diet feeding, four week old Sprague-Dawley male rats were fed with water soluble and acid · alkali soluble alginate extracted from sea mustard (*Undaria pinnatifida*) and giant kelp (*Macrocystis pyrifera*), and their low molecular alginates prepared by the HCl partial hydrolysis. The feeding efficiency of the alginate fed group was ranged in 0.37~0.44, which was 0.03~0.05 lower than that of the basal diet group. Also, there was much less increase of liver weight in the alginate fed group. The water soluble alginate showed more significant effect in reducing the total cholesterol, free cholesterol, LDL-cholesterol, triglyceride and phospholipid of serum and liver lipid than the acid · alkali soluble alginate. The effect was much better with low molecular alginate (reducing effect by the low-molecularization: Water soluble alginate - serum lipid; total cholesterol 59%, free cholesterol 65%, LDL-cholesterol 96%, triglyceride 50%, and phospholipid 36%. Liver lipid; total cholesterol 42%, free cholesterol 62%, LDL-cholesterol 44%, triglyceride 33%, and phospholipid 44%. Acid · alkali soluble alginate - serum lipid; total cholesterol 52%, free cholesterol 97%, LDL-cholesterol 78%, triglyceride 32%, and phospholipid 64%. Liver lipid; total cholesterol 11%, free cholesterol 12%, LDL-cholesterol 10%, triglyceride 27%, and phospholipid 21%). The effect of low molecular alginate feeding on the fatty acid composition of serum and liver lipid reflects the remarkable increase of polyenoic acid, over 44% in serum lipid and about 70% in liver lipid, comparing to the cholesterol fed group. The overall results indicated that feeding of low molecular alginates improves physiological function of rats by changing the serum and liver lipid composition.

Key words: low molecular alginate, cholesterol level, fatty acid compositions, serum and liver lipids, cholesterol-fed rats

서 론

갈조류 알긴산은 혈청 지질 조성의 개선효과 등 기능성과 관련하여 많은 보고들이 있다. 흰쥐에 대한 급이실험에서 Tsuji 등 (1968, 1974, 1975)은 알긴산이 혈청 및 간장 지질의 콜레스테롤 농도를 현저히 감소시킨다고 하였고, Ikegami 등 (1990)은 알긴산의 급이는 소장내 담즙 분비량의 증가와 소화기관의 증대 및 사료의 소화율의 감소를 초래한다고 보고하였다. Kimura 등 (1993)은 알긴산을 흰쥐에 급이시킨 결과 변분중의 나트륨의 배설을 월등히 증가시킨다고 하였고, Suzuki 등 (1993a)은 건조다시마 (*Laminaria angustata*) 분말을 흰쥐에 급이한 결과 체중과 사료의 소화율이 감소하고, 소장, 대장 및 맹장 등의 소화기관이 증대한다고 하였다. 또, Suzuki 등 (1993b)은 D-mannuronic acid의 함량이 높은 알긴산을 흰쥐에 급이한 결과 혈청 및 간장 콜레스테롤의 저하와 혈청

지방산 중 polyenoic acid의 비율을 높이는 등 지질조성의 개선에 효과가 있다고 하였고, 이 등 (1998)은 염산으로 부분가수분해하여 얻은 저분자화 알긴산은 용해도, 유화능 및 담즙산 결합능을 현저히 증가시킨다고 하였다. 본 연구는 전보 (이 등, 1998)에 이어 미역과 큰다시마에서 추출 · 조제한 저분자화 알긴산의 급이가 생리적 기능성에 미치는 효과를 밝힐 목적으로 각각의 저분자화 알긴산을 함유하는 콜레스테롤 식이를 흰쥐에 급이한 후에, 혈청 및 간장지질 콜레스테롤 수준 및 지방산 조성을 분석한 결과, 알긴산의 저분자화는 알긴산의 생리적 기능성의 증진에 유의적인 효과가 있는 것으로 판단되었기에 보고한다.

재료 및 방법

실험식이의 조제: 기초식이, 콜레스테롤식이 및 실

험식이의 조성은 Table 1과 같다. 콜레스테롤식은 기초식이에 콜레스테롤 1%를 첨가한 양만큼 sucrose의 양을 줄여 조제하였고, 실험식은 기초식이의 sucrose의 양에서 콜레스테롤 1%와 각 알긴산 및 저분자화 알긴산 5%에 해당하는 양만큼을 줄인 수준에서 각각 조제하였다.

실험동물의 사육: 실험동물의 급이실험은 미역에서 추출한 산·알칼리가용성 및 수용성알긴산과 그 각각의 저분자화 알긴산에 대한 실험동물군을 제 1군(그룹 1)으

로, 그리고 큰 다시마에서 추출한 산·알칼리가용성 알긴산과 그 저분자화 알긴산에 대한 실험동물군을 제 2군(그룹 2)으로 각각 구분하여 실시하였다. 먼저 그룹 1에 대한 사육실험은 한국화학연구소에서 분양받은 4주령 Sprague-Dawley (SD)계 숫쥐(평균체중 48 g)를 실험동물로 하여 각 5마리씩 6개군으로 나누어 기초식이로서 7일간 순치 예비사육한 후에 기초식이와 콜레스테롤 식이 및 각각의 저분자화 알긴산을 함유하는 실험식이를 급이하였다. 예비사육 및 본 사육 기간 중의 물과 식이는 자

Table 1. Formulation of experimental diets

(g/kg)

| Constituents | Test animal group ¹ | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|---------------|-----|-----|-----|---------------|--------|--------|
| | B ² | CHOL | Group 1 (n=6) | | | | Group 2 (n=5) | | |
| | | | ASA | ASH | WSA | WSH | GAS | GAS-10 | GAS-30 |
| Casein | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Lard | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Corn oil | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Mineral mixture ³ | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Vitamin mixture ⁴ | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 |
| Choline chloride | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.5 | 2 |
| Cholesterol | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Sodium cholate | 0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| ASA | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ASH | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| WSA | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| WSH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| GAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 |
| GAS-10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 |
| GAS-30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sucrose | 669.5 | 657 | 607 | 607 | 607 | 607 | 607 | 607 | 607 |

¹Test animal: Strain, Sprague Dawley; age, 4 weeks; average body weight; 48 g in group 1, 62 g in group 2; feeding period, 4 weeks by experimental diets after a week of basal diet.

²Codes of experimental diets:

B, fed the basal diet.

CHOL, fed the cholesterol diet.

ASA, fed the experimental diet containing the acid and alkali-soluble alginate from sea mustard.

ASH, fed the experimental diet containing the 50 min hydrolysed acid and alkali-soluble alginate from sea mustard.

WSA, fed the experimental diet containing the water-soluble alginate from sea mustard.

WSH, fed the experimental diet containing the 50 min hydrolysed water-soluble alginate from sea mustard.

GAS, fed the experimental diet containing the acid and alkali-soluble alginate from giant kelp.

GAS-10, fed the experimental diet containing the 10 min hydrolysed acid and alkali-soluble alginate from giant kelp.

GAS-30, fed the experimental diet containing the 30 min hydrolysed acid and alkali-soluble alginate from giant kelp.

³AIN mineral mixture 76:

Mineral amount per kg mixture; CaHPO₄ 500 g, NaCl 74 g, K₂C₆H₅O₇ · H₂O 220 g, K₂SO₄ 52 g, MgO 24 g, MnCO₃ · nH₂O 3.5 g, FeC₆H₅O₇ · nH₂O 6 g, ZnCO₃ 1.6 g, Cu (OH)₂ · H₂O 0.3 g, KIO₃ 0.01 g, Na₂SeO₃ · 5H₂O 0.01 g, and CrK (SO₄)₂ · 12H₂O 0.55 g.

⁴AIN vitamin mixture 76:

Vitamin amount per kg mixture; thiamine · HCl 0.6 g, riboflavin 0.6 g, pyridoxine · HCl 0.7 g, nicotinic acid 3 g, calcium pantothenate 1.6 g, folic acid 0.2 g, biotin 20 mg, cyanocobalamin 1 mg, retinol acetate 400,000 IU, cholecalciferol 100,000 IU, D₃-α-tocopherol 5,000 IU, and menadione 5 mg.

유급이시켰으며, 사육기간 중에는 매일 일정시간에 체중과 섭이량을 칭량 급이하였다. 그리고, 그룹 2에 대한 사육실험은 대한실험동물연구소 (충청북도 음성군 소재)에서 분양받은 4주령 SD계 숫쥐 (평균체중 62 g)를 각 6마리씩 5개군으로 나누어 앞의 제 1군에서와 같은 조건으로 사육하였다.

그리고 각각의 사육실은 온도 ($22 \pm 1^\circ\text{C}$), 습도 ($50 \pm 10\%$) 및 명암 (12시간, 07:00~19:00 주기로 조명)을 엄격히 조절하였다.

실험동물의 처리: 실험사육 4주간 후 10시간 동안 절식시킨 다음 그룹 1은 단두하여 채혈하였고, 그룹 2는 하대정맥과 경부동맥에서 각각 채혈하였으며, 각 혈액시료는 빙수 중에서 약 1시간 보관한 후에 원심분리 (3,000 rpm, 15 min)하여 취한 혈청을 냉동고 (-75°C)에 보관하면서 실험에 사용하였다. 그리고, 간장, 신장, 심장, 맹장, 소장 및 대장 등은 별도로 적출하여 그 무게를 칭량하였다.

지질 분석용 시료의 추출: 중성지질, 인지질, 총콜레스테롤, 유리콜레스테롤, HDL- 및 LDL-콜레스테롤의 분석시료 중, 혈청시료는 저온보관 중의 시료를 그대로 분석용으로 하였고, 간장시료는 간장 1.0 g을 취하여 chloroform-methanol 혼액 (2:1, v/v)으로 지질을 추출하고 이를 같은 용매로써 50 ml로 정용한 다음, 그 10 ml를 취하여 용매를 유거한 후에 분석용 시료로 하였다.

지방산 분석시료의 전처리: 사료용 유지의 검화물 함량은 1 N KOH-ethanol로서 환류가열하여 검화시킨 후 회전진공증발기 (EYELA rotary vacuum evaporator N-N series, Japan)로서 에탄올을 제거한 후 중량을 칭량하여 측정하였고, 사료용 유지와 혈청, 간장 및 심장조직 중의 지질성분은 Bligh와 Dyer (1959)의 방법에 따라 chloroform-methanol 혼액 (2:1, v/v)으로 추출한 후에 methanolic-HCl kit (Alltech, 18053A, U.S.A.)시약으로 메칠 에스테르화한 다음, 지방산 분석용 시료로 사용하였다.

실험동물시료의 분석

총콜레스테롤과 유리콜레스테롤: 혈청과 간장 추출시료 중의 총콜레스테롤과 유리콜레스테롤은 혈청과 추출시료 각 $100 \mu\text{l}$ 를 취하여 총콜레스테롤 측정용 cholesterol CII-test kit시약과 유리콜레스테롤 측정용 free cholesterol C-test kit시약을 써서 콜레스테롤 옥시데이즈·p-클로로페놀법으로 반응시켜 분광광도계 (Shimadzu, UV 140-02)로서 각각 측정하였다.

총콜레스테롤, 유리콜레스테롤, HDL-콜레스테롤,

LDL-콜레스테롤, triglyceride (TG) 및 인지질의 측정을 위한 kit 시약은 각각 일본 Wako사 제품을 사용하였다.

TG 및 인지질: TG의 농도는 혈청과 간장 추출시료 각 $100 \mu\text{l}$ 를 취하여 triglyceride G-test kit 시약을 써서 GPO·p-클로로페놀법으로, 그리고, 인지질의 농도는 혈청과 간장 추출시료 각 $100 \mu\text{l}$ 를 취하여 phospholipid C-test kit 시약을 써서 콜린옥시데이즈·DAOS법으로 반응시켜 분광광도계 (Shimadzu, UV 140-02)로서 각각 측정하였다.

HDL- 및 LDL- 콜레스테롤: 혈청과 간장 중의 HDL-콜레스테롤의 농도는 혈청과 간장 추출시료 각 $100 \mu\text{l}$ 를 취하여 HDL-cholesterol C-test kit시약을 써서 헤파린·망간결합침전법으로 반응시켜 분광광도계 (Shimadzu, UV 140-02)로서 측정하였으며, LDL-콜레스테롤은 총콜레스테롤의 농도에서 HDL-콜레스테롤의 농도를 감한 값으로 나타내었다.

지방산 조성: 각 지질시료 중의 지방산 조성은 gas chromatography (Shimadzu GC-14B; column, Supelcowax-10)로서 분석하였다. 그리고 표준 지방산은 21종의 지방산 표준품 (Sigma사제)을 사용하였다.

혈당: 金井 (1983)에 의한 glucose oxidase와 peroxidase법에 따라 제조된 혈당측정용 GL ZYME (Eiken Chem. Co. Ltd., Japan) 시약을 써서 분광광도계 (Shimadzu, UV 140-02)로서 측정하였다.

Glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) 및 glutamic pyruvic transaminase (GPT) 활성: 金井 (1983)에 의한 Reitman-Frankel의 방법에 따라 제조된 GOT 및 GPT 활성측정용 혈청 transaminase 측정시약세트 (Eiken Chem. Co. Ltd., Japan)를 써서 분광광도계 (Shimadzu, UV 140-02)로서 측정하였다.

실험결과의 통계처리: 실험 결과는 통계처리에 의하여, 실험군당 평균치와 표준편차를 계산하였고, $p < 0.01$ 수준에서 Duncan's multiple test로 각 실험군간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

식이효율 및 장기의 중량

식이효율: 기초식이 및 실험식을 급이한 흰쥐의 사육 최종일의 체중증가량과 사육기간 중의 사료섭취량 및 식이효율을 Table 2에 나타내었다. 먼저 그룹 1에서는 사육기간 중의 체중증가는 기초식이군이 가장 높았고, 콜레스테롤급이군이 낮았다. 그리고 저분자화 알긴산급이군은 체중증가량이 낮았으며, 특히 저분자화 수용성

Table 2. Weight gain, feed intake and feed efficiency ratio in the rats fed the experimental diets (Mean \pm S.E.)

| Test group* | Weight gain (g/4weeks) | Feed intake (g/day) | Feed efficiency |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Group 1 | | | |
| B | 206.70 \pm 9.65 ^a | 12.01 \pm 0.54 ^b | 0.45 \pm 0.004 ^{b,c} |
| CHOL | 167.96 \pm 5.00 ^c | 10.43 \pm 0.28 ^c | 0.45 \pm 0.003 ^{a,b} |
| ASA | 200.22 \pm 2.46 ^a | 12.71 \pm 0.45 ^a | 0.44 \pm 0.013 ^{b,c} |
| ASH | 190.62 \pm 5.01 ^{ab} | 11.06 \pm 0.98 ^c | 0.40 \pm 0.014 ^c |
| WSA | 196.09 \pm 16.25 ^{ab} | 12.32 \pm 0.24 ^{ab} | 0.44 \pm 0.016 ^a |
| WSH | 184.76 \pm 6.06 ^{b,c} | 12.00 \pm 0.45 ^b | 0.40 \pm 0.007 ^c |
| Group 2 | | | |
| B | 252.31 \pm 8.41 ^a | 13.14 \pm 0.76 ^a | 0.40 \pm 0.003 ^a |
| CHOL | 236.14 \pm 4.62 ^c | 13.14 \pm 0.49 ^a | 0.37 \pm 0.003 ^b |
| GAS | 240.78 \pm 3.74 ^{bc} | 13.20 \pm 0.51 ^a | 0.38 \pm 0.005 ^b |
| GAS-10 | 243.01 \pm 4.16 ^b | 14.07 \pm 0.44 ^a | 0.37 \pm 0.002 ^b |
| GAS-30 | 249.47 \pm 4.52 ^{ab} | 14.09 \pm 0.34 ^a | 0.37 \pm 0.003 ^b |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different ($p < 0.01$).

알긴산급이군에서 가장 낮았다. 사료섭취량은 기초식이군에 비해 콜레스테롤급이군과 수용성 알긴산급이군에서 유의적으로 낮았으며, 다른 식이급이군은 큰 차이가 없었다. 식이효율은 기초식이군과 콜레스테롤급이군 및 알긴산급이군은 큰 차이가 없었고, 저분자화 알긴산급이군은 유의적으로 낮았다. 또, 그룹 2에서 체중증가량은 그룹 1과 마찬가지로 콜레스테롤급이군에서 약간 낮았고, 다른 알긴산급이군에서는 유의적인 차이가 없었다. 식이효율은 기초식이군에 비하여 콜레스테롤급이군과 모든 알긴산 급이군에서 낮았고, 알긴산급이군과 콜레스테롤급이군 사이에는 차이가 없었다. Tsuji 등 (1968)의 연구에서도 흰쥐에 5% 알긴산을 급이한 실험군에서 성장의 지연을 확인하였고, Suzuki 등 (1993b)도 흰쥐에 5% 알긴산을 급이한 군의 체중증가가 기초식이군에 비해 저하하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 알긴산의 급이로 인한 체중의 감소가 확인되었으며, 이것은 저분자화 수용성알긴산이 식이 중의 지방흡수를 억제하는 것 등의 영향으로 생각된다.

장기의 중량: 각 실험군의 간장, 소장, 대장 및 맹장의 중량을 Table 3에 나타내었다. 먼저 그룹 1에서 간장은 콜레스테롤급이군에서 현저하게 높았고, 각 알긴산급이군에서도 기초식이군에 비하여 간장중량의 증대가 관찰되었으며, 이는 콜레스테롤의 섭취에 의한 영향으로 판단된다. 그러나 각 알긴산급이군의 간장중량은 콜레스테롤급이군에 비해 작았으며, 이는 알긴산의 급이가 콜레스테롤 급이로 인한 간장중량의 증대를 다소 억제한 것

Table 3. Weight of the organs in the rats fed the experimental diets (Mean \pm S.E.)

| Test group* | Liver (g) | Small intestine (g) | Large intestine (g) | Cecum (g) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Group 1 | | | | |
| B | 7.71 \pm 1.06 ^c | 7.67 \pm 1.01 ^a | 2.37 \pm 0.53 ^a | 3.57 \pm 0.92 ^b |
| CHOL | 13.60 \pm 0.95 ^a | 7.83 \pm 0.37 ^a | 2.05 \pm 0.53 ^a | 1.96 \pm 0.20 ^c |
| ASA | 11.45 \pm 0.54 ^b | 7.74 \pm 1.02 ^a | 2.39 \pm 0.91 ^a | 4.35 \pm 1.28 ^a |
| ASH | 12.68 \pm 1.15 ^a | 6.72 \pm 0.99 ^{ab} | 1.36 \pm 0.31 ^{b,c} | 3.93 \pm 0.81 ^{ab} |
| WSA | 11.23 \pm 1.89 ^b | 7.20 \pm 0.52 ^a | 1.78 \pm 0.14 ^b | 4.48 \pm 0.69 ^a |
| WSH | 12.74 \pm 0.65 ^a | 6.52 \pm 0.86 ^{ab} | 1.48 \pm 0.25 ^b | 3.93 \pm 0.35 ^{ab} |
| Group 2 | | | | |
| B | 8.73 \pm 0.33 ^d | 6.78 \pm 0.45 ^{ab} | 2.41 \pm 0.32 ^a | 2.95 \pm 0.26 ^b |
| CHOL | 13.43 \pm 0.31 ^a | 7.15 \pm 0.18 ^a | 2.23 \pm 0.26 ^a | 1.87 \pm 0.14 ^c |
| GAS | 11.09 \pm 0.68 ^c | 7.64 \pm 0.32 ^a | 2.41 \pm 0.25 ^a | 4.27 \pm 0.32 ^a |
| GAS-10 | 12.22 \pm 0.57 ^b | 7.27 \pm 0.23 ^a | 2.02 \pm 0.10 ^a | 3.92 \pm 0.21 ^a |
| GAS-30 | 11.25 \pm 0.52 ^c | 7.41 \pm 0.12 ^a | 1.83 \pm 0.04 ^b | 4.21 \pm 0.14 ^a |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different ($p < 0.01$).

으로 생각된다. 맹장은 각 알긴산급이군이 콜레스테롤급이군과 기초식이군에 비해 유의적으로 높은 중량을 보였으며, 이에 반해 대장은 실험식이군이 유의적으로 낮은 중량을 보였다. 그외, 심장과 비장 및 신장의 중량은 각 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그리고, 그룹 2에서도 콜레스테롤급이군의 간장중량이 현저하게 증가하였고, 각 알긴산급이군에서도 간장중량이 증대하였으나 콜레스테롤급이군보다는 간장의 중량이 유의적으로 낮았고, 맹장의 중량도 모든 알긴산을 급이한 군에서 유의적인 증가를 보여 그룹 1에서와 같은 경향을 나타내었다. Suzuki 등 (1993a)의 연구에서도 흰쥐에 다시마 (*Laminaria angustata*)를 급이시킨 결과 간, 췌장 및 신장의 중량은 큰 차이가 없었고, 맹장과 소장, 대장의 크기는 다시마를 급이한 군이 유의적으로 증대하는 경향을 나타내었으며, 본 실험에서 나타난 각 알긴산 함유 식이군의 결과와 부분적으로 일치하는 경향이였다.

혈청 및 간장의 지질조성에 미치는 영향

총콜레스테롤의 함량: 실험식이를 급이한 흰쥐의 혈청과 간장지질 중의 총콜레스테롤의 함량을 측정하여 Table 4와 5에 나타내었다. 먼저 그룹 1에서 총콜레스테롤의 함량은 혈청과 간장지질에서 3.65 \pm 0.04 mg/ml와 5.94~1.21 mg/g로 콜레스테롤을 섭취하지 않은 기초식이군이 가장 낮았고, 이에 반해 콜레스테롤급이군이 24.34~1.06 mg/ml와 22.79~3.43 mg/g로 가장 높았다. 각 알긴산급이군은 콜레스테롤급이군보다 총콜레스테롤 함량이 유의적으로 낮았고, 특히 저분자화 수용성 알긴산

Table 4. Total cholesterol, free cholesterol, HDL-cholesterol and LDL-cholesterol levels in the serum of the rats fed the experimental diet (Mean ± S.E.)

| Test group* | Total cholesterol (mg/ml) | Free cholesterol (mg/ml) | HDL-cholesterol (mg/ml) | LDL-cholesterol (mg/ml) |
|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Group 1 | | | | |
| B | 3.65 ± 0.04 ^f | 0.42 ± 0.14 ^e | 2.76 ± 0.05 ^d | 0.89 ± 0.02 ^d |
| CHOL | 24.34 ± 1.06 ^a | 12.15 ± 0.32 ^a | 9.07 ± 0.18 ^a | 15.27 ± 0.48 ^a |
| ASA | 18.16 ± 0.82 ^b | 6.71 ± 0.35 ^b | 3.73 ± 0.09 ^c | 14.43 ± 0.34 ^a |
| ASH | 8.88 ± 0.22 ^d | 0.23 ± 0.06 ^c | 5.64 ± 0.46 ^b | 3.24 ± 0.35 ^c |
| WSA | 15.13 ± 0.69 ^c | 4.83 ± 0.26 ^c | 5.68 ± 0.57 ^b | 9.45 ± 0.47 ^b |
| WSH | 6.33 ± 0.26 ^e | 1.67 ± 0.16 ^d | 5.91 ± 0.46 ^b | 0.42 ± 0.16 ^d |
| Group 2 | | | | |
| B | 3.65 ± 0.02 ^e | 0.63 ± 0.02 ^d | 2.51 ± 0.02 ^d | 1.14 ± 0.02 ^c |
| CHOL | 23.11 ± 0.78 ^a | 13.26 ± 0.28 ^a | 8.01 ± 0.27 ^a | 15.10 ± 0.10 ^a |
| GAS | 13.83 ± 0.39 ^c | 6.87 ± 0.09 ^b | 4.23 ± 0.06 ^c | 9.60 ± 0.06 ^c |
| GAS-10 | 17.24 ± 0.42 ^b | 6.64 ± 0.09 ^b | 4.27 ± 0.07 ^c | 12.97 ± 0.05 ^b |
| GAS-30 | 8.08 ± 0.12 ^d | 3.69 ± 0.04 ^c | 5.10 ± 0.04 ^b | 2.98 ± 0.02 ^d |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different (p<0.01).

Table 5. Total cholesterol, free cholesterol, HDL-cholesterol and LDL-cholesterol levels in the liver of the rats fed the experimental diet (Mean ± S.E.)

| Test group* | Total cholesterol (mg/ml) | Free cholesterol (mg/ml) | HDL-cholesterol (mg/ml) | LDL-cholesterol (mg/ml) |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Group 1 | | | | |
| B | 5.94 ± 1.21 ^c | 5.71 ± 0.80 ^c | 2.13 ± 0.64 ^{b,c} | 3.81 ± 0.47 ^d |
| CHOL | 22.79 ± 3.43 ^a | 21.04 ± 0.06 ^a | 2.70 ± 0.18 ^a | 20.09 ± 2.14 ^a |
| ASA | 18.35 ± 3.18 ^{a,b} | 13.38 ± 0.15 ^b | 4.29 ± 0.48 ^a | 14.06 ± 1.52 ^b |
| ASH | 16.47 ± 1.51 ^b | 11.87 ± 0.58 ^b | 3.80 ± 0.43 ^a | 12.67 ± 1.32 ^b |
| WSA | 17.90 ± 3.91 ^b | 11.75 ± 0.53 ^b | 2.50 ± 0.45 ^{b,c} | 15.40 ± 1.49 ^b |
| WSH | 10.40 ± 1.50 ^c | 4.51 ± 0.46 ^c | 1.85 ± 0.53 ^c | 8.55 ± 0.94 ^c |
| Group 2 | | | | |
| B | 5.83 ± 0.11 ^d | 7.76 ± 1.02 ^c | 2.13 ± 0.03 ^c | 3.70 ± 0.02 ^c |
| CHOL | 23.15 ± 1.26 ^a | 26.47 ± 2.77 ^a | 3.02 ± 0.08 ^b | 20.13 ± 0.08 ^a |
| GAS | 15.41 ± 0.54 ^b | 19.92 ± 2.68 ^b | 4.23 ± 0.10 ^a | 11.18 ± 0.07 ^c |
| GAS-10 | 16.29 ± 0.56 ^b | 18.83 ± 2.04 ^b | 3.16 ± 0.05 ^b | 13.13 ± 0.05 ^b |
| GAS-30 | 8.82 ± 0.23 ^c | 8.24 ± 1.09 ^c | 3.08 ± 0.07 ^b | 5.74 ± 0.02 ^d |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different (p<0.01).

급이군의 혈청 및 간장지질 중의 총콜레스테롤 함량이 월등히 낮았다. 그룹 2에서도 기초식이군의 총콜레스테롤 함량이 가장 낮았고, 콜레스테롤급이군이 가장 높았다. 알긴산급이군은 콜레스테롤급이군보다 유의적으로

낮았으며, 특히 30분간 저분자화한 알긴산급이군에서 총콜레스테롤 함량의 저하가 현저하여 저분자화에 의해 총콜레스테롤 수준의 저감효과가 증가함을 알 수 있었다. 간장지질에서도 비슷한 결과를 보였는데 이는 콜레스테롤이 알긴산의 저분자화에 의해 노출된 기능기와 결합하여 담즙산의 형태로 체외로 배출된 양이 증가한 것으로 생각된다. Tsuji 등 (1968)은 알긴산의 급이가 혈청 콜레스테롤을 감소시킨다고 하였으며, 또, Tsuji와 Tsuji (1974)는 propylenglycol alginate의 급이가 흰쥐의 혈청과 간장 중의 콜레스테롤을 저하시킨다고 하였다. Tsuji 등 (1975)은 알긴산의 급이로 인한 혈청 및 간장의 콜레스테롤 저하효과를 확인하였고, Tsai 등 (1976)은 해조다당류 중 한천과 carrageenan을 급이시켜 carrageenan의 급이가 흰쥐의 혈청과 간장 콜레스테롤을 저하시킨다고 하였다. Suzuki 등 (1993b)은 SD계 흰쥐에 알긴산을 급이한 결과 혈청과 간장의 콜레스테롤을 현저히 감소시켰고, 그 효과는 mannuronic acid를 많이 함유한 군에서 현저하다고 하였다. 본 연구에서도, 이상의 보고들과 마찬가지로 혈청 및 간장의 콜레스테롤 저하효과를 확인하였으며, 그 효과는 특히 저분자화 수용성알긴산에 의하여 더욱 현저하였고 이는 Suzuki 등 (1993b)의 연구에서와 같이 mannuronic acid의 함량이 높은 흰분의 혈청 및 간장지질의 콜레스테롤 함량이 낮은 경향을 보였다.

유리콜레스테롤의 함량 : 알긴산을 급이한 흰쥐의 혈청과 간장지질 중의 유리콜레스테롤의 함량은 Table 4와 5에서 나타내었다. 먼저, 그룹 1의 혈청과 간장지질 모두 콜레스테롤급이군이 가장 높았고, 기초식이군과 저분자화 알긴산급이군에서 유의적으로 낮은 값을 보였는데 이 같은 경향은 혈청에서 두드러진 경향을 보였다. 그룹 2의 큰다시마에서 추출한 알긴산을 급이한 군에서도 유리콜레스테롤 함량이 콜레스테롤급이군보다 낮았고 그 저감효과는 저분자화가 많이 진행될수록 현저하였다. 이는 총콜레스테롤에서의 결과와 마찬가지로 저분자화에 따른 기능기들의 노출증가 때문인 것으로 생각된다. Tsuji 등 (1975)의 연구에서도 알긴산의 급이가 흰쥐의 혈청 및 간장의 유리콜레스테롤을 저하시킨다고 하였으며 이는 본 실험의 결과와도 일치하는 경향임을 알 수 있었다.

HDL-콜레스테롤과 LDL-콜레스테롤의 함량 : 알긴산을 급이한 흰쥐의 혈청 및 간장지질 중의 HDL-콜레스테롤의 양을 측정된 결과를 Table 4와 5에 나타내었다. 먼저 그룹 1에서 혈청의 HDL-콜레스테롤의 함량은 총콜레스테롤 함량의 결과와 마찬가지로 기초식이군에서 2.76~0.05 mg/ml로서 가장 낮았고, 콜레스테롤급이군이 9.07~0.18 mg/ml로서 가장 높았다. 그리고 산·알칼리가

용성 알긴산 및 수용성 알긴산과 그 각각의 저분자화 알긴산을 급이한 군은 기초식이군보다 HDL-콜레스테롤의 함량이 높았으나 콜레스테롤집이군보다는 낮았다. 간장지질에서는 기초식이군에서 2.13~0.64 mg/g로 가장 낮았으며, 산·알칼리가용성 알긴산집이군에서 4.29~0.48 mg/g로 가장 높았다. 그리고 그룹 2에서 알긴산집이군이 기초식이군보다 높았으며, 특히 저분자화 알긴산을 급이한 군에서 더욱 높은 경향이었고, 간장지질에서도 비슷한 경향을 나타내었다. HDL-콜레스테롤은 말초조직으로부터 콜레스테롤을 간장으로 운반하고 LDL-콜레스테롤이 혈관벽에 축적되는 것을 방지할 뿐만 아니라 혈관벽에 축적된 콜레스테롤을 제거하므로 동맥경화를 방지한다고 알려져 있다 (Nicoll 등, 1980; Castelli 등, 1986). Suzuki 등 (1993b)은 알긴산의 급이로 혈청 중의 콜레스테롤의 농도는 현저하게 저하하였으나 HDL-콜레스테롤의 농도는 큰 차이가 없었다고 하였다. 본 실험에서는 알긴산의 급이로 기초식이군에 비해 HDL-콜레스테롤이 증가하는 경향을 나타내었다.

LDL-콜레스테롤은 총콜레스테롤 함량에서 HDL-콜레스테롤 함량을 감한 값으로 Table 4와 5에 나타내었다. 먼저, 그룹 1에서 LDL-콜레스테롤은 혈청중에서 콜레스테롤집이군과 산·알칼리가용성 알긴산집이군에서 유의적으로 높았다. 수용성알긴산 급이군은 LDL-콜레스테롤 함량이 낮았고 저분자화 알긴산 급이군은 LDL-콜레스테롤의 저하효과가 현저하였다. 특히, 저분자화 수용성 알긴산집이군에서는 기초식이군보다도 낮은 값을 나타내었다. 간장지질에서는 콜레스테롤집이군의 LDL-콜레스테롤 함량이 유의적으로 높았고, 저분자화 수용성 알긴산집이군에서 유의적으로 낮았다. 그룹 2에서도 알긴산집이군은 같은 결과를 나타내었으며 분자량이 340 kDa인 저분자화 알긴산집이군은 LDL-콜레스테롤 함량이 저분자화하지 않은 알긴산집이군에 비해 큰 차이가 없었고, 분자량이 45 kDa인 저분자화 알긴산집이군에서는 유의적으로 낮았는데 이는 간장지질에서도 유사한 결과를 나타내었다. 이 결과들에서 저분자화 알긴산집이군의 혈청 및 간장 콜레스테롤이 75~95%까지 감소한 이유는 알긴산을 저분자화하므로써 원래의 알긴산에 비하여 그 기능기들이 월등히 증가한 상태로 소화관을 통과하게 될 것이다. 따라서 이렇게 기능기가 많아진 저분자화 알긴산이 소화관 중의 담즙산과 결합하게 되므로써 소화액 중의 담즙산이 감소한 상태로 되기 때문에 콜레스테롤의 흡수가 지장을 받으므로 나타난 결과인 것으로 추정된다.

Triglyceride (TG)의 함량 : 알긴산의 급이에 따른 혈청과 간장지질에서의 TG의 함량은 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Triglyceride and phospholipid levels in the serum and liver of the rats fed the experimental diet (Mean \pm S.E.)

| Test | Serum (mg/ml) | | Liver (mg/g) | |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| group* | Triglyceride | Phospholipid | Triglyceride | Phospholipid |
| Group 1 | | | | |
| B | 2.74 \pm 0.08 ^a | 14.34 \pm 1.16 ^b | 24.54 \pm 1.16 ^c | 43.98 \pm 0.93 ^a |
| CHOL | 14.06 \pm 0.54 ^a | 17.53 \pm 0.40 ^a | 138.11 \pm 7.84 ^a | 35.32 \pm 2.31 ^b |
| ASA | 7.43 \pm 0.31 ^b | 12.86 \pm 0.75 ^c | 78.80 \pm 2.13 ^b | 26.31 \pm 1.73 ^c |
| ASH | 5.04 \pm 0.59 ^c | 4.63 \pm 0.42 ^c | 57.53 \pm 3.73 ^c | 20.67 \pm 2.48 ^d |
| WSA | 3.99 \pm 0.24 ^d | 7.57 \pm 0.42 ^d | 53.12 \pm 3.11 ^c | 10.26 \pm 0.36 ^e |
| WSH | 2.00 \pm 0.40 ^f | 4.85 \pm 0.57 ^e | 41.00 \pm 0.73 ^d | 5.73 \pm 0.76 ^f |
| Group 2 | | | | |
| B | 2.78 \pm 0.03 ^d | 16.46 \pm 0.27 ^b | 22.31 \pm 2.08 ^e | 38.84 \pm 0.89 ^a |
| CHOL | 13.16 \pm 0.21 ^a | 12.06 \pm 0.36 ^a | 125.33 \pm 5.25 ^a | 35.59 \pm 1.14 ^b |
| GAS | 6.47 \pm 0.04 ^b | 11.88 \pm 0.21 ^c | 69.92 \pm 4.13 ^b | 29.93 \pm 1.08 ^c |
| GAS-10 | 6.42 \pm 0.06 ^b | 11.95 \pm 0.20 ^c | 63.38 \pm 2.26 ^c | 28.11 \pm 1.87 ^c |
| GAS-30 | 4.30 \pm 0.03 ^c | 9.14 \pm 0.12 ^d | 52.27 \pm 1.21 ^d | 11.24 \pm 1.17 ^d |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different ($p < 0.01$).

그룹 1에서는 혈청 중의 TG의 양은 콜레스테롤집이군에서 가장 높았고, 기초식이군이 가장 낮았다. 산·알칼리가용성 알긴산 및 저분자화 산·알칼리가용성 알긴산집이군은 기초식이군에 비하여 조금 높았으며, 특히 수용성 알긴산 및 저분자화 수용성 알긴산집이군은 다른 실험군에 비해 TG의 함량이 유의적으로 낮은 경향을 나타내었다. 간장지질에서도 혈청과 마찬가지로 콜레스테롤집이군이 가장 높았으며 기초식이군이 가장 낮았다. 알긴산집이군에서는 산·알칼리가용성 알긴산집이군이 다소 높았고, 이에 반해 수용성 알긴산집이군이 낮았으며 저분자화에 의해 TG의 저감효과가 증대함을 알 수 있었고, 특히 저분자화 수용성 알긴산집이군에서 그 효과가 현저함을 알 수 있었다. 그리고 그룹 2에서도 알긴산집이군이 기초식이군에 비해서는 다소 높았으나 콜레스테롤집이군에 대해서는 유의적으로 낮은 값을 보였다. 특히 30분간 저분자화한 알긴산 (M.W. 45 kDa)을 급이한 군에서는 그 함량의 저하가 현저하였다. 간장지질에서도 혈청과 유사한 경향을 나타내었는데 이는 저분자화 알긴산의 구조와 관련되어 저분자화로 인한 기능기들의 노출의 증가로 장에서 담즙산과 결합하여 체외로 배출되어 혈청 및 간장의 TG의 함량이 유의적으로 감소한 것으로 판단된다. Oku 등 (1981)의 실험에서는 cellulose와 glucomannan집이군에서 TG의 함량은 glucomannan을 급이한 군에서 낮았다고 보고하였으며, Venter 등 (1990)은 konjac glucomannan을 급이한 군에서 중성지질의 농도저하를

보고하여 본 실험의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다.

인지질의 함량: 실험식에 따른 혈청과 간장지질 중의 인지질의 함량을 측정한 결과를 Table 6에 나타내었다. 그룹 1의 혈청에서는 콜레스테롤급이군의 인지질 함량이 가장 높았고, 기초식이군은 콜레스테롤급이군 보다 조금 낮았다. 저분자화 산·알칼리가용성 알긴산과 수용성 알긴산급이군의 함량은 특히 유의적으로 낮은 값을 보였다. 간장지질에서는 기초식이군 (43.98~0.93 mg/g)이 가장 높았으며, 콜레스테롤급이군 (35.32~2.31 mg/g)은 기초식이군에 비해 조금 낮았다. 산·알칼리가용성 알긴산급이군과, 저분자화 산·알칼리가용성 알긴산급이군은 수용성 알긴산급이군과 저분자화 수용성 알긴산급이군에 비해 상대적으로 높았다. 저분자화 산·알칼리가용성 알긴산과 수용성 알긴산급이군은 저분자화 하지 않은 알긴산급이군에 비하여 유의적으로 낮았는데 이는 알긴산의 저분자화가 혈청 및 간장지질의 조성개선에도 두드러지게 긍정적인 작용을 하는 것으로 판단된다. 그리고 그룹 2의 혈청에서는 콜레스테롤급이군에서 가장 높았고, 다음이 기초식이군, 알긴산급이군의 순으로 그룹 1의 결과와 유사하였으며, 저분자화가 많이 진행된 알긴산급이군에서 유의적으로 낮은 함량을 나타내었다. 간장에서도 그룹 1의 경향과 유사하여 기초식이군에서 가장 높았고, 30분간 가수분해한 저분자화 알긴산을 급이한 군에서 가장 낮았다. 이는 TG의 경우에서와 마찬가지로 알긴산의 저분자화로 인하여 기능기들의 노출이 증가하므로서 이들 기능기들이 담즙산과 결합하여 체외로 배출되어 혈청 및 간장지질의 인지질의 함량이 낮아진 것으로 생각되며 이러한 저감효과는 저분자화 알긴산에서 현저하였다.

혈청, 간장 및 심장조직 중의 총지질 구성지방산 조성에 미치는 영향

혈청 중의 총지질 구성지방산 조성: 먼저, 실험사료에 첨가된 돈지와 옥수수유 및 그 각각의 실험식이의 지방산 함유비율은 돈지의 경우 palmitic acid와 stearic acid 등의 포화지방산을 40.45%, oleic acid와 palmitoleic acid 등의 monoenoic acid를 46.45%, 그리고 linoleic acid (11.28%) 등의 polyenoic acid를 13.20% 함유하였다. 옥수수유는 myristic acid, palmitic acid와 stearic acid 등의 포화지방산을 16.84%, palmitoleic acid와 oleic acid 등의 monoenoic acid를 27.64%, linoleic acid와 linolenic acid 등 polyenoic acid를 55.52% 정도 함유하였다. 이들 돈지와 옥수수유를 4:1로 혼성하여 첨가시킨 실험식은 포화지방산을 3.57%, monoenoic acid를 4.27% 그리

고 polyenoic acid를 2.17%씩 각각 함유한다.

이와 같은 지방산을 함유한 각각의 실험식이를 급이한 흰쥐의 혈청 중의 지방산 조성은 Table 7과 같다. 먼저 그룹 1의 콜레스테롤급이군에서 포화지방산의 함유비율이 가장 높았고, 산·알칼리가용성 알긴산, 수용성 알긴산 및 각각의 저분자화 알긴산급이군의 포화지방산 함유비율이 낮았으며, 특히 저분자화한 수용성 알긴산급이군의 포화지방산의 함유비율이 가장 낮았다. 반면에 monoenoic acid와 polyenoic acid의 함유비율은 콜레스테롤급이군보다 각각의 알긴산 및 그 저분자화 알긴산 함유 실험식이군에서 유의적으로 높았다. 기초식이군에서도 polyenoic acid의 함유비율은 콜레스테롤급이군보다는 높았으나 각 알긴산 및 그 저분자화 알긴산급이군 보다는 낮았다. 그룹 2에서도 그룹 1에서와 마찬가지로 포화지방산의 함량은 콜레스테롤급이군에서 높았고, 분자량이 45 kDa인 저분자화 알긴산급이군에서도 유의적으로 낮았다. 반대로 polyenoic acid의 함유비율은 기초식이군과 실험식이군에서 유의적으로 높았으나, monoenoic acid는 각 군간에 큰 차이가 없었다. 혈청지질 중의 주요 지방산은 oleic acid, palmitic acid, stearic acid, linolenic acid, linoleic acid, palmitoleic acid의 순으로 많았고, 함유 경향은 모든 실험군에서 거의 유사하였다. Tsuji 등 (1968)의 알긴산을 급이한 흰쥐 혈청의 주요 지방산 조성은 oleic acid, palmitic acid, linoleic acid, linolenic acid 등으로 본 실험과 유사하였고, 포화지방산이 감소하고, monoenoic acid와 polyenoic acid의 함유비율이 증가하는 것도 본 실험의 결과와 비슷한 경향이였다.

Table 7. Fatty acid composition in the serum of rats fed the experimental diets (Mean ± S.E.)

| Test group* | Saturates | Monoenoic acids | Polyenoic acids |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Group 1 | | | |
| B | 45.37 ± 6.01 ^{a,b} | 37.30 ± 3.57 ^b | 17.33 ± 2.38 ^b |
| CHOL | 47.10 ± 4.12 ^a | 38.35 ± 3.91 ^{a,b} | 14.55 ± 1.95 ^c |
| ASA | 42.56 ± 5.02 ^{b,c} | 36.54 ± 4.11 ^b | 20.90 ± 2.08 ^a |
| ASH | 40.80 ± 4.95 ^{c,d} | 40.08 ± 4.13 ^{a,b} | 19.12 ± 2.49 ^{a,b} |
| WSA | 40.22 ± 5.24 ^{c,d} | 38.87 ± 4.35 ^{a,b} | 20.91 ± 3.02 ^a |
| WSH | 37.96 ± 6.23 ^d | 41.30 ± 6.57 ^a | 20.74 ± 2.43 ^a |
| Group 2 | | | |
| B | 45.42 ± 6.17 ^a | 37.91 ± 3.26 ^a | 16.67 ± 2.00 ^b |
| CHOL | 48.25 ± 5.35 ^a | 38.35 ± 3.59 ^a | 13.41 ± 2.42 ^c |
| GAS | 45.34 ± 4.13 ^a | 38.99 ± 3.62 ^a | 15.68 ± 1.67 ^{b,c} |
| GAS-10 | 45.21 ± 3.99 ^a | 37.30 ± 2.81 ^a | 17.49 ± 1.86 ^b |
| GAS-30 | 37.46 ± 3.87 ^b | 36.74 ± 3.11 ^a | 25.81 ± 1.90 ^a |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different (p<0.01).

간장 중의 총지질 구성지방산 조성 : 간장 중의 총지질의 지방산 조성은 Table 8에 나타내었다. 먼저 그룹 1에서 포화지방산의 함량은 혈청에서와 마찬가지로 콜레스테롤급이군이 높았고, 산·알칼리가용성 알긴산과 수용성 알긴산, 저분자화 알긴산급이군은 포화지방산의 함량이 낮았다. Monoenoic acid의 함량은 콜레스테롤급이군이 높았고, 그 외 기초식이군과 알긴산급이군은 훨씬 낮았다. Polyenoic acid는 콜레스테롤급이군이 유의적으로 낮았고, 기초식이군과 알긴산급이군이 모두 50% 전후로 높은 함량을 보였으며, 특히 저분자화 알긴산급이군은 산·알칼리가용성 알긴산 및 수용성 알긴산급이군 보다도 높은 함량을 보여 주목할 점이였다. 그룹 2에서도 콜레스테롤급이군의 포화지방산 함량이 높았으며, 기초식이군과 알긴산급이군은 비슷한 함량을 보였고, monoenoic acid는 콜레스테롤급이군이 현저히 높았다. 그리고 polyenoic acid는 콜레스테롤급이군에서 유의적으로 낮았고, 기초식이군과 알긴산급이군은 총지방산 중 약 50% 정도의 함량을 보였다. 간장 중의 주요 지방산은 arachidonic acid, palmitic acid, linoleic acid, palmitoleic acid 및 stearic acid 등이며, 콜레스테롤급이군은 arachidonic acid의 함유율이 기초식이군과 알긴산급이군에 비하여 1/2 이하로서 두드러지게 낮고, 이에 반해 oleic acid는 다른 실험군의 2배 이상을 함유하는 특징을 보였다. Rizek 등 (1983)에 의하면 간장은 arachidonic acid의 주요 생성 장기로서, 생체내의 대부분의 arachidonic acid는 linoleic acid로부터 생성된다고 하였으며, Suzuki 등 (1993b)

Table 8. Fatty acid composition of total lipid in the liver of rats fed the experimental diets
(Mean ± S.E.)

| Test group* | Saturates | Monoenoic acids | Polyenoic acids |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Group 1 | | | |
| B | 28.93 ± 9.35 ^{a,b} | 19.93 ± 5.51 ^b | 51.24 ± 11.23 ^{b,c} |
| CHOL | 30.74 ± 10.23 ^a | 38.98 ± 7.14 ^a | 30.28 ± 10.35 ^d |
| ASA | 30.08 ± 9.04 ^a | 20.36 ± 6.02 ^b | 49.56 ± 11.48 ^{b,c} |
| ASH | 27.04 ± 7.21 ^{b,c} | 20.20 ± 5.23 ^b | 52.76 ± 9.48 ^{a,b} |
| WSA | 30.85 ± 7.26 ^a | 19.85 ± 5.13 ^b | 49.30 ± 9.23 ^c |
| WSH | 25.72 ± 8.35 ^c | 20.42 ± 5.62 ^b | 53.86 ± 10.31 ^a |
| Group 2 | | | |
| B | 29.22 ± 3.96 ^a | 20.60 ± 3.01 ^b | 50.18 ± 5.38 ^a |
| CHOL | 32.64 ± 4.02 ^a | 39.19 ± 4.28 ^a | 28.17 ± 4.13 ^b |
| GAS | 30.33 ± 3.48 ^a | 20.50 ± 2.37 ^b | 49.17 ± 5.32 ^a |
| GAS-10 | 29.50 ± 3.04 ^a | 20.62 ± 3.32 ^b | 49.88 ± 6.13 ^a |
| GAS-30 | 29.17 ± 2.99 ^a | 19.87 ± 2.49 ^b | 50.96 ± 6.48 ^a |

*1. Refer to the footnote of Table 1.
Values with a common superscript letter within the same column are significantly different (p<0.01).

은 간장총지질의 지방산 조성에서 콜레스테롤급이군이 기초식이군에 비하여 palmitoleic acid와 oleic acid가 증가하고, arachidonic acid가 감소한다고 하여 본 실험의 결과와 많은 유사점을 보였다.

심장 중의 총지질 구성지방산 조성 : 심장조직 총지질의 지방산 조성은 Table 9에 나타내었다. 기초식이군과 콜레스테롤급이군 및 알긴산급이군에서 모두 비슷한 함량을 나타내어 식이에 의한 변화를 볼 수 없었고, palmitic acid, linoleic acid, oleic acid, stearic acid, docosahe-xaenoic acid, linolenic acid, arachidonic acid 등이 비교적 높은 함량을 보였다.

Table 9. Fatty acid composition of total lipid in the heart of rats fed the experimental diets
(Mean ± S.E.)

| Test group* | Saturates | Monoenoic acids | Polyenoic acids |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Group 1 | | | |
| B | 37.24 ± 5.23 ^a | 24.15 ± 4.48 ^a | 38.61 ± 5.21 ^a |
| CHOL | 38.92 ± 3.29 ^a | 22.44 ± 3.38 ^a | 38.64 ± 4.26 ^a |
| ASA | 38.42 ± 3.42 ^a | 22.23 ± 4.12 ^a | 39.35 ± 3.95 ^a |
| ASH | 38.04 ± 4.01 ^a | 23.43 ± 3.24 ^a | 38.53 ± 3.18 ^a |
| WSA | 38.28 ± 3.98 ^a | 23.41 ± 3.37 ^a | 38.31 ± 3.25 ^a |
| WSH | 37.86 ± 4.42 ^a | 23.79 ± 3.32 ^a | 38.35 ± 3.34 ^a |
| Group 2 | | | |
| B | 37.45 ± 2.87 ^a | 25.37 ± 2.56 ^a | 37.18 ± 4.10 ^a |
| CHOL | 38.90 ± 2.52 ^a | 22.02 ± 2.49 ^a | 39.08 ± 4.18 ^a |
| GAS | 37.63 ± 2.78 ^a | 22.43 ± 2.53 ^a | 39.94 ± 3.47 ^a |
| GAS-10 | 37.30 ± 2.77 ^a | 23.09 ± 2.73 ^a | 39.61 ± 3.58 ^a |
| GAS-30 | 37.56 ± 3.42 ^a | 23.75 ± 2.57 ^a | 38.69 ± 3.34 ^a |

*Refer to the footnote of Table 1.
Values with a common superscript letter within the same column are significantly different (p<0.01).

혈청 중의 혈당 및 GOT와 GPT활성에 미치는 영향
혈당 : 기초식이와 실험식이를 급이한 흰쥐의 혈당 함량을 Table 10에 나타내었다. 그룹 1에서 기초식이군이 16.36~0.19 mg/ml로 가장 높았고, 다음으로 콜레스테롤급이군이 높았으며, 알긴산급이군은 기초식이군과 콜레스테롤급이군보다 유의적으로 낮은 값을 보였다. 그룹 2에서도 알긴산급이군이 기초식이군보다 낮은 값을 보였다. Jenkins 등 (1977)은 점질성 식이섭유를 섭취하였을 때 식후의 혈당 및 인슐린의 농도가 저하한다고 보고하였고, Venter 등 (1990)은 개코원숭이에 konjac glucomannan을 급이하여 혈당의 감소를 보고하였다. 본 실험에서는 콜레스테롤급이군에 비하면 알긴산 및 그 저분자화 알긴산의 급이가 혈당의 농도를 떨어뜨린 것은 분명하지 만 양적으로 저감율이 높지 않았다.

Table 10. Blood glucose levels and activities of GOT, GPT in the serum of the rats fed the experimental diet (Mean \pm S.E.)

| Test group* | Blood glucose (mg/ml) | GOT (Karmen) | GPT (Karmen) |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Group 1 | | | |
| B | 16.36 \pm 0.19 ^a | 32.00 \pm 1.76 ^c | 9.00 \pm 0.55 ^{c,d} |
| CHOL | 14.77 \pm 0.13 ^b | 50.00 \pm 5.57 ^a | 26.00 \pm 1.73 ^a |
| ASA | 11.88 \pm 0.06 ^d | 38.20 \pm 0.58 ^b | 20.80 \pm 1.20 ^b |
| ASH | 12.27 \pm 0.25 ^c | 31.40 \pm 1.50 ^c | 9.80 \pm 0.66 ^c |
| WSA | 11.00 \pm 0.09 ^f | 28.60 \pm 0.93 ^c | 6.80 \pm 0.58 ^{d,c} |
| WSH | 11.27 \pm 0.09 ^e | 18.60 \pm 2.57 ^d | 6.40 \pm 0.40 ^e |
| Group 2 | | | |
| B | 17.48 \pm 0.27 ^a | 30.87 \pm 0.97 ^d | 7.74 \pm 0.55 ^c |
| CHOL | 16.58 \pm 0.31 ^{a,b} | 39.34 \pm 1.12 ^a | 14.84 \pm 0.67 ^a |
| GAS | 15.46 \pm 0.17 ^b | 35.65 \pm 1.12 ^{b,c} | 11.27 \pm 0.34 ^b |
| GAS-10 | 15.42 \pm 0.20 ^b | 34.03 \pm 1.13 ^c | 7.79 \pm 0.64 ^c |
| GAS-30 | 15.00 \pm 0.12 ^b | 37.08 \pm 0.53 ^b | 7.33 \pm 0.41 ^c |

*Refer to the footnote of Table 1.

Values with a common superscript letter within the same column are significantly different ($p < 0.01$).

GOT와 GPT의 활성: 기초식이와 실험식을 급여한 흰쥐의 GOT와 GPT의 활성을 Table 10에 나타내었다. 콜레스테롤급여군의 GOT활성이 50 정도로 높았으나 그의 기초식이군과 알긴산급여군에서는 그 활성이 40 이하로 정상치를 나타내었고, 특히 저분자화 수용성 알긴산 급여군에서 유의적으로 낮은 활성을 보였다. GPT활성은 콜레스테롤급여군에서 가장 높았고, 산·알칼리가용성 알긴산을 급여한 군에서 약간 높은 활성을 보였으나 그의 기초식이군과 다른 실험군에서도 유의적으로 낮은 활성을 보였다. 그리고 그룹 2에서도 콜레스테롤급여군이 다소 높게 나타났으나 기초식이군과 다른 알긴산급여군에 비해 그 차이가 크지 않았다. GPT활성은 콜레스테롤 급여군과 기초식이군 및 알긴산 급여군 모두에서 정상치를 나타내었다.

요 약

미역과 큰다시마에서 추출한 수용성 알긴산 및 산·알칼리가용성 알긴산과 그 염산부분 가수분해에 의하여 얻어진 저분자화 알긴산(저분자화 범위: 미역 약 4,000 kDa \rightarrow 약 38 kDa; 큰다시마 약 1,283 kDa \rightarrow 약 341 kDa과 약 45 kDa)을 함유한 실험사료를 흰쥐(SD계, 4주령)에 4주간 급여했을 때의 혈청 및 간장지질 콜레스테롤 수준 및 지방산 조성에 미치는 영향을 실험·검토하였다. 알긴산의 급여는 식이효율이 0.37~0.44로서 기초식이군에 비하여 0.03~0.05 정도 낮은 값을 보였고,

콜레스테롤 급여에 의한 간의 중량 증가도 유의적으로 억제하였다.

수용성 알긴산은 산·알칼리가용성 알긴산에 비하여 혈청 및 간장지질 중의 총콜레스테롤, 유리콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, triglyceride 및 인지질에 대하여 현저한 저감효과를 보였다. 그리고 각각의 효과는 저분자화에 의하여 현저히 증대되었다(저분자화에 의한 저감효과: 수용성 알긴산 - 혈청지질: 총콜레스테롤 59%, 유리콜레스테롤 65%, LDL-콜레스테롤 96%, triglyceride 50%, 인지질 36%, 간장지질: 총콜레스테롤 42%, 유리콜레스테롤 62%, LDL-콜레스테롤 44%, triglyceride 33%, 인지질 44%. 산·알칼리가용성 알긴산 - 혈청지질: 총콜레스테롤 52%, 유리콜레스테롤 97%, LDL-콜레스테롤 78%, triglyceride 32%, 인지질 64%, 간장지질: 총콜레스테롤 11%, 유리콜레스테롤 12%, LDL-콜레스테롤 10%, triglyceride 27%, 인지질 21%).

저분자화 알긴산의 급여가 혈청 및 간장지질 구성지방산의 조성에 미치는 효과는 콜레스테롤 급여군에 비하여 polyene산의 함유비율을 혈청지질에 있어서는 약 44% 이상, 그리고, 간장지질에 있어서는 약 70% 이상으로 각각 증가시켰다. 이상의 결과에 비추어 저분자화 알긴산의 급여는 실험동물의 혈청 및 간장지질 조성을 생리적으로 개선하는데 그 효과가 현저함을 뒷받침하였다.

사 사

이 연구는 부경대학교 해양식량자원개발 특성화 사업단 1998년도 연구비의 일부 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- Bligh, E. G. and W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37 (8), 911~917.
- Castelli, W. P., R. J. Garrison, P. W. F. Wilson, R. D. Abbott, S. Kalousdian and W. B. Kannel. 1986. Incidence of coronary heart disease and lipoprotein cholesterol levels. *JAMA.*, 256, 2835~2838.
- Ikegami, S., F. Tsuchihashi, H. Harada, N. Tsuchihashi, E. Nishide and S. Innami (1990): Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.*, 120, 353~360.
- Jenkins, D. J. A., M. A. Gassull, B. Cocher and K. G. Alberti. 1977. Decrease in postprandial insulin and glucose concentration by guar gum and pectin. *Ann. Intern. Med.*, 86, 20~23.

- Kimura, T., K. Takahashi, Y. Ueda, H. Obika, Y. Kobayashi, and K. Tsuji. 1993. Effects of the primary structure of alginate on fecal excretion of sodium in rats. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 67 (8), 1177~1183.
- Lee, D. S., H. R. Kim and J. H. Pyeun. 1998. Effect of low-molecularization on rheological properties of alginate. *J. Korean Fish. Soc.*, 31, in press (in Korean).
- Nicoll, A., N. E. Miller and B. Lewis. 1980. High density lipoprotein metabolism. *Adv. Lipid Res.*, 17, 53~105.
- Oku, T., F. Konishi and N. Hosoya. 1981. Effect of various unavailable carbohydrates and administrating periods on several physiological functions of rats. *Nutrition and Food*, 34 (5), 437~443 (in Japanese).
- Rizek, R. L., S. O. Welsh, R. M. Marston and E. M. Jackson. 1983. In dietary fats and health (Perkins, E. G. and W. J. Visek, eds.), American Oil Chemists Society. Champaign, 13~43.
- Suzuki, T., K. Nakai, Y. Yoshie, T. Shirai and T. Hirano. 1993a. Digestibility of dietary fiber in brown alga, kombu, by rats. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (5), 879~884.
- Suzuki, T., K. Nakai, Y. Yoshie, T. Shirai, and T. Hirano. 1993b. Effects of sodium alginates rich in guluronic and mannuronic acids on cholesterol levels and digestive organs of high-cholesterol-fed rats. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (3), 545~551.
- Tsai, A. C., J. Elias, J. J. Kelley, R. C. Lin and J. R. K. Robson. 1976. Influence of certain dietary fibers on serum and tissue cholesterol levels in rats. *J. Nutr.*, 106, 118~123.
- Tsuji, E. and K. Tsuji and S. Suzuki. 1975. Effect of polysaccharides on cholesterol metabolism (part 6) Effect of various polysaccharides on serum and liver cholesterol levels in cholesterol-fed rats. *Eiyogaku zashi*, 33 (6), 273~281 (in Japanese).
- Tsuji, K. and E. Tsuji. 1974. Effect of polysaccharides on cholesterol metabolism (part 3) Effect of several polysaccharides on serum cholesterol levels in cholesterol-fed rats. *Eiyogaku zashi*, 32 (4), 155~160 (in Japanese).
- Tsuji, K., S. Oshima, E. Matsuzaki, A. Nakamura, S. In-nami, T. Tezuka and S. Suzuki. 1968. Effect of polysaccharides on cholesterol metabolism (part 1). Studies on konnyaku powder, sodium alginate and pectin. *Eiyogaku zashi*, 26 (3), 113~122 (in Japanese).
- Tsuji, K., Y. Horid, E. Tsuji, S. Suzuki. 1974. Effect of a konjac flour diet on the endogenous cholesterol metabolism in rats. *Eiyogaku zashi*, 27 (8), 405~411 (in Japanese).
- Venter, C. S., H. H. Vorster and D. G. Van Der Nest. 1990. Comparison between physiological effects of konjac-glucomannan and propionate in baboons fed "Western" diets. *J. Nutr.*, 120, 1046~1053.
- 金井 泉. 1983. 臨床検査法提要. 金原出版株式會社. 第 29 版, 448, 514~517.

1998년 2월 11일 접수

1998년 5월 6일 수리