

실크 피브로인 분말이 혈청중의 활성산소 및 제거효소에 미치는 영향

최진호 · 김대익 · 박수현 · 김동우 · 이종수 · 이용우*
부경대학교 식품생명공학부 생화학교실
*농업과학기술원 잠사근총부

Effects of Silk Fibroin Powder on Oxygen Radicals and Their Scavenger Enzymes in Serum of Rats

Jin-Ho Choi, Dae-Ik Kim, Soo-Hyun Park, Dong-Woo Kim,
Jong-Soo Lee and Yong Woo Lee*

Lab. Biochemistry, Faculty of Food Science and Biotechnology, Pukyong National University
*Dept. of Sericulture & Entomology, National Institute, of Agricultural Science & Technology, RDA,
Suwon 441-744, Korea

ABSTRACT

This study was designed to investigate the effects of silk fibroin powder on oxygen radicals and their scavenger enzymes in serum of rats. Sprague-Dawley (SD) male rats (160±10 g) were fed experimental diets (SFP-2.5 and SFP-5.0 groups) added 2.5 and 5.0 g/kg BW/day for 6 weeks. Triglyceride levels were remarkably inhibited (15~25%) in SFP-2.5 and SFP-5.0 groups compared with control group. Hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) formations resulted in a marked decrease (15%~25%) compared with control group, while superoxide radical and hydrogen peroxide formations resulted in a significant decrease (6~12% and 10%). Lipid peroxide and oxidized protein (>C=O group) productions resulted in a significant decrease (6~12% and 6%) compared with control group. Superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities were remarkably increased (35~55% and 40~50%), but glutathione peroxidase (GSHPx) activities were significantly increased (13%) compared with control group. These results suggest that anti-aging effect of silk fibroin powder (SFP) may play a pivotal role in attenuating a various age-related changes.

Key words : Silk fibroin, Oxygen radical, Lipid peroxide, Superoxide dismutase, Glutathione peroxidase, Catalase, Oxidized protein

서 론

옛날부터 명주는 중국의 중요한 특산물로서, 동서 교역의 통로로서 실크로드가 등장했다는 사실에서 볼 수 있듯이 우리의 생활과 매우 밀접한 관계가 있었음을 알 수 있다. 그렇지만, 지금은 석유화학공업이 첨단화되면서 양질의 화학섬유가 발달하면서 값비싼 명주가 사양화되고 이에 따라 양잠산업이 몰락의 위기를 맞고 있다. 최근들어 양잠농가의 생계 유지를 위해서 농진청을 중심으로 누에관련산물로서 뽕잎,

누에가루, 실크 펩티드로서 실크 피브로인, 동충하초 등에 관한 연구에 관심이 집중되고 있다.

이들 누에관련산물로서 실크 피브로인에 대한 연구는 별로 없다. 실크 피브로인의 연구로서는 실크 단백질의 가수분해산물인 올리고펩티드로서 실크 피브로인의 기능성 연구 및 소화 등 가용화 연구가 보고되어 있다(平林, 1989a-b). 또한 이들 실크 피브로인의 아미노산중에서 글리신의 혈청 콜레스테롤의 억제효과(杉山, 1989), 알라닌의 알콜대사(文, 1987) 및 티로신의 치매예방 효과(岸本, 1973) 등에 대한 연구가 보고되어 있고, 최근에는 실크 피브로인의 기능성 연구로서 기포성 식품가공에의 이용(平尾 등, 1998) 및 견직물 잔사의 식품소재로서의 응용(陸 등, 1994)

본 연구는 농촌진흥청이 주관하는 농업특정연구개발사업 99수행과제 정부출연연구비 지원으로 수행되었습니다.

에 관한 연구 보고되고 있다.

저자 등은 지금까지 칼로리 제한 중심으로 노화의 원인 및 메카니즘 구명에 대한 연구를 주로 수행해 왔다(Choi 등, 1989; 1990; 1991a-b; 1994; 1995; 1996; 1998a-c; 1999). 본 연구는 실크 단백질의 가수분해물로서 실크 피브로인의 투여가 활성산소의 생성 및 제거효소에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

1. 동물실험

한국화학연구소에서 구입한 SD계 랫트(male, 160 ± 10 g)를 구입하여 동물사육실에서 2주동안 예비사육하였다. 7마리씩 3군으로 나누어 실험용 기본사료(Control group) 및 하루에 실크 피브로인 분말을 각각 2.5 g 및 5.0 g/kg BW가 섭취될 수 있도록 사료에 첨가한 실험그룹(SFP-2.5 및 SFP-5.0 group)으로 하여 6주간 사육하여 혈청중의 활성산소의 생성 및 제거효소의 활성에 미치는 영향을 평가했다. 동물사육실은 항온항습(22±2°C, 65±2% RH)하에서 12시간 간격으로 명암이 자동 조절되었다.

2. 실크 단백질의 가수분해

순수 가잠 피브로인을 얻기 위하여 우선 정련에 의한 세리신 단백질을 제거하였다. 정련은 누에고치를 십자형(+형)이 되도록 가위로 자른 후 견층을 2겹 정도 벗겨 액비 50:1의 수용액에 탄산나트륨(1급, Mw = 105.99), 0.5%(w/w)을 넣어 1시간 끓였다. 이 작업을 2회 반복 한 후 수세 및 건조하여 22%의 세리신이 제거된 실크 피브로인 단백질을 얻었다. 그 후 2.7 N 염산(1급, Mw = 36.46)수용액 1ℓ에 실크 단백질 50 g을 넣은 후 110°C에서 24시간 가열 처리하였다. 수산화나트륨(특급, Mw = 40.00)으로 중화하고 GFC 장치(Sephadex G-10 media, D10×L100Cm)에 의한 염의 분리 및 동결건조에 의한 피브로인 분말을 얻어 시료로 사용 하였다.

3. 조제사료의 조성

본 실험에 사용한 사료조성은 탄수화물 57.3%(α -corn starch : 44.5% + sucrose 13.3%), 단백질 16.0%(sodium-free casein), 지질 18.0%(lard 18.0%), 비타민과 무기질(AIN-76 mixture) 각각 1.0%, 3.5%, 그리고 섬유질 3.0%, DL-methionine 0.3%, choline chloride 0.2%를 첨가하였으며, 여기에 cholesterol

0.5% 및 sodium chloride 0.2%를 첨가하여 고콜레스테롤혈증을 유도하였다. 실험그룹의 사료조성은 실크 피브로인 분말(SWP)을 하루에 각각 2.5 및 5.0 g/kg BW가 섭취되도록 2.5% 및 5.0%의 SFP를 첨가하는 대신 탄수화물을 각각 2.5% 및 5.0%씩 제외하고 조제하였다.

4. 중성지질(TG) 함량의 측정

혈청중의 중성지질로서 트리글리세리드(triglyceride : TG)의 함량은 정량 분석하였다. 혈청중의 단백질의 정량은 Lowry 등(1951)의 방법에 따라 분석하였다.

5. 활성산소의 생성량 측정

활성산소중에서 슈퍼옥시드 라디칼(superoxide radical : O_2^-)은 McCord 등(1969) 및 Chan 등(1974)의 방법에 따라 측정하였고, 생체의 대사과정 중에 생성되는 과산화수소는 Thurma 등(1972)의 방법에 따라 정량하였다. 가장 강력한 활성산소인 히드록시 라디칼(hydroxyl radical : OH)의 생성량은 Halliwell 등(1981)의 방법에 따라 측정하였다.

6. 산화적 스트레스의 분석

활성산소가 혈청 중의 지질을 공격해서 생성되는 과산화지질(lipid peroxide : LPO)은 저자 등(1991)의 방법에 따라 분광광도계로서 535 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. 활성산소가 혈청중의 단백질을 공격해서 생성되는 산화 단백질(oxidized protein)의 생성량은 Levine 등(1990)의 방법에 따라 carbonyl group의 생성량을 측정하여 정량하였다.

7. 제거효소 활성의 측정

생체의 방어시스템으로서 슈퍼옥시드 디스무타아제(superoxide dismutase : SOD)나 글루타치온 퍼옥시다아제(glutathione peroxidase : GSHPx) 및 카탈라아제(catalase : CAT) 같은 제거효소(scavenger enzyme)나 항산화제로서 토코페롤이나 아스코르빈산 등이 알려져 있다. 따라서 SOD 활성의 측정은 Oyanagui 등(1984)의 방법에 따라 정량하였고, GSHPx 활성의 측정은 Lawrence 등(1978)의 방법에 따라 정량하였으며, CAT 활성은 Rigo 등(1977)의 방법에 따라 정량하였다.

8. 분석결과의 통계처리

본 연구의 모든 실험결과를 통계 처리하여 평균치

와 표준편차를 계산하였으며, 각 실험군간의 유의성 검정은 Student's t-test로 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 중성지질 함량의 평가

혈청중의 중성지질(TG)의 함량에 미치는 실크 피브로인 분말(SFP)의 영향을 비교하여 보면 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 TG의 함량은 각각 123.35±5.51 및 116.04±4.93 mg/dl serum으로서 대조그룹의 TG의 함량 대비 약 15~20%의 유의적인 중성지질 억제효과가 인정되었다. 주지하는 바와 같이 체내 콜레스테롤의 2/3가 체내에서 합성되고 있을 뿐만 아니라 중성지질이 콜레스테롤 합성의 중요한 원료라는 사실을 감안한다면 실크 피브로인의 투여가 중성지질의 함량을 매우 효과적으로 억제한다는 사실은 매우 중요한 의미를 갖고 있다.

2. 활성산소의 억제작용

혈청중의 활성산소의 생성에 미치는 실크 피브로인 분말(SFP)의 영향은 표 2와 같다. 수퍼옥시드 라디칼(O₂⁻)의 생성에 미치는 실크 피브로인 분말 투여

의 영향은 SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 O₂⁻의 생성량이 각각 283.39±15.95 및 266.23±20.36 nmol/mg protein으로서 대조그룹의 O₂⁻의 생성량 대비 각각 94.1% 및 88.4%로서 두 그룹이 다같이 유의적인 O₂⁻ 생성 억제효과가 인정되었다. hydrogen peroxide (H₂O₂)의 생성량도 O₂⁻의 생성 억제효과와 마찬가지로 SFP-2.5 및 SFP-5.0의 두 그룹에서 다같이 약 10%의 유의적인 H₂O₂의 생성 억제효과가 인정되었다. 한편 가장 강력한 활성산소로 알려진 히드록시 라디칼[·OH]의 생성량을 비교하여 보면 SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 ·OH의 생성량은 각각 1.62±0.14 및 1.44±0.04 nmol/mg protein으로서 대조그룹의 ·OH의 생성량 대비 각각 85.7% 및 76.2%로서 약 15~25% 정도 매우 효과적으로 ·OH의 생성을 억제하였다.

실크 피브로인 분말의 투여에 의한 활성산소의 억제효과가 빙일 추출물이나 누에분말 투여그룹의 활성산소 억제효과보다 모든 활성산소의 억제효과에서 유의성이 인정된다는 사실은 농약이나 환경호르몬 등의 오염물질이나 합성의약품의 남용, 흡연, UV나 X선 조사 등이나 체내에서 대사중의 호소반응이나 염증반응에 의해서 생성된다는 사실을 감안한다(Singh, 1991)면 매우 의미있는 실험결과라고 평가된다.

3. 산화적 스트레스의 평가

노화의 가능한 메카니즘의 하나로서 현재 각광을 받고 있는 스트레스 학설은 이들 활성산소의 공격에 의해 성인병을 유발하고 노화를 촉진한다는 사실이다. 이들 활성산소의 공격에 의한 조직세포의 지질성분, 단백질 성분의 변화를 평가하여 보면 표 3과 같다. 조직세포의 지질성분이 활성산소의 공격에 의하여 생성되는 과산화지질(LPO)은 강력한 세포독성 때문에 성인병과 노화의 지표물질로 알려져 있다(Yagi, 1987; Choi *et al.*, 1991a; Yu *et al.*, 1996a-b). 실크 피브로인 분말의 투여에 의한 LPO의 생성에 미치는 영

표 1. Effects of silk fibroin powder (SFP) on triglyceride levels in serum of SD rats

Triglyceride (TG) level (mg/dl serum)		
Control	SFP-2.5	SFP-5.0
145.32±1.06*	123.35±5.51 ^{a)} (84.9%)**	116.04±4.93 ^{b)} (79.9%)

SFP-2.5 and SFP-5.0: Silk fibroin powder of 2.5 and 5.0 g/kg BW/day added to basic control diet. *Mean ± SD with 7 rats per group, **Percent of control values, ^{a)}p<0.01, ^{b)}p<0.001 compared with control group.

표 2. Effects of silk fibroin powder (SFP) on oxygen free radical formations in serum of SD rats

Groups	Superoxide radical (nmol/mg protein)	Hydroxyl radical (nmol/mg protein)	Hydrogen peroxide (nmol/mg protein/min)
Control	301.18±15.57*	-	0.23±0.01 -
SFP-2.5	283.39±15.95 ^{a)} (94.1%)**	1.62±0.14 ^{b)} (85.7%)	0.21±0.01 ^{a)} (91.3%)
SFP-5.0	266.23±20.36 ^{b)} (88.4%)	1.44±0.04 ^{c)} (76.2%)	0.21±0.01 ^{a)} (91.3%)

SFP-2.5 and SFP-5.0: Silk fibroin powder of 2.5 and 5.0 g/kg BW/day added to basic control diet. *Mean ± SD with 7 rats per group, **Percent of control values, ^{a)}p<0.05, ^{b)}p<0.01, ^{c)}p<0.001 compared with control group.

향을 비교하여 보면 SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 LPO의 생성량은 0.16 ± 0.01 및 0.15 ± 0.01 nmol/mg protein으로서 대조그룹의 LPO의 생성량(0.17 ± 0.01 nmol/mg protein : 100%) 대비 94.1% 및 88.2%로서, 6~12%의 LPO의 생성 억제효과가 인정되었다.

조직세포의 단백질 성분이 활성산소의 공격을 받아 생성되는 카르보닐 그룹의 생성량을 측정하여 산화단백질(OP)의 생성량을 평가하여 본 결과, SFP-2.5 그룹은 전혀 유의성을 인정할 수 없었지만, SFP-5.0 그룹의 OP의 생성량도 37.32 ± 3.13 nmol/mg protein으로서 대조그룹의 OP의 생성량(39.72 ± 3.10 nmol/mg protein : 100%) 대비 약 6% 정도의 억제효과가 인정될 뿐이다. 그렇지만, 실크 피브로인의 투여는 뽕잎 추출물이나 누에분말의 투여보다 모든 활성산소를 강력하게 억제할 뿐만 아니라 LPO의 생성을 유의적으로 억제할 수 있기 때문에 노화를 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 생체 방어효소의 활성 평가

생체 방어효소로서 활성산소의 제거효소 중에서 가장 중요한 슈퍼옥시드 디스무타아제(SOD), 글루타치온 퍼옥시다아제(GSHPx) 및 카탈라아제(CAT)의 활성에 미치는 실크 피브로인 분말(SFP)의 영향을 분석 비교하여 보면 표 4와 같다. SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 SOD의 활성은 각각 3.13 ± 0.07 및 3.58 ± 0.13 unit/mg protein으로서 대조그룹의 SOD 활성 대

비 각각 136.1% 및 155.7%로서 누에분말의 투여에 의하여 약 35~55%의 현저한 SOD의 활성이 증가됨을 알 수 있었다. 또한 SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 CAT의 활성은 각각 0.32 ± 0.02 및 0.34 ± 0.03 μ mol/mg protein/min으로서 대조그룹의 CAT의 활성 대비 각각 139.1% 및 147.8%로서 실크 피브로인의 투여에 의하여 40~50%의 현저한 CAT의 활성이 증가됨을 알 수 있었다.

또한, SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 GSHPx의 활성은 각각 40.15 ± 3.96 및 43.13 ± 3.81 IU/g protein으로서 대조그룹의 GSHPx의 활성 대비 5~13% 정도 GSHPx 활성의 증가효과가 인정되었다. 이러한 사실은 누에분말의 GSHPx의 활성 증가효과보다는 높고 뽕잎 추출물의 투여와는 거의 유사한 경향을 나타내고 있었다.

누에관련산물로서 실크 피브로인의 투여는 누에분말이나 뽕잎 추출물의 투여와 마찬가지로 SOD 및 CAT에 선택적으로 작용할 것으로 기대되지만, GSHPx의 활성 증가효과가 상대적으로 높다는 사실은 매우 흥미있는 사실이다. 따라서 누에관련산물로서 실크 피브로인의 투여는 강력한 활성산소와 과산화지질의 생성을 효과적으로 억제할 뿐만 아니라 SOD, CAT, GSHPx와 같은 생체 방어효소의 활성을 효과적으로 증가하기 때문에 성인병의 억제 및 노화를 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

표 3. Effects of silk fibroin powder (SFP) on oxidative stress levels in serum of SD rats

Groups	Lipid peroxide (LPO) content (nmol/mg protein)		Oxidized protein (OP) content (nmol/mg protein)	
Control	0.17 ± 0.01 *	-	39.72 ± 3.10	-
SFP-2.5	0.16 ± 0.01 ^{a)}	(94.1%)**	38.81 ± 3.51	(97.7%)
SFP-5.0	0.15 ± 0.01 ^{b)}	(88.2%)	37.32 ± 3.13 ^{a)}	(94.0%)

SFP-2.5 and SFP-5.0 : Slik fibroin powder of 2.5 and 5.0 g/kg BW/day added to basic control diet. *Mean \pm SD with 7 rats per group, **Percent of control values, ^{a)} $p < 0.05$, ^{b)} $p < 0.01$ compared with control group.

표 4. Effects of silk fibroin powder (SFP) on scavenger enzyme activities in serum of SD rats

Groups	SOD activity (unit/mg protein)		GSHPx activity (IU/g protein)		CAT activity (μ mol/mg protein/min)	
Control	2.30 ± 0.08 *	-	38.27 ± 4.21	-	0.23 ± 0.02	-
SFP-2.5	3.13 ± 0.07 b	(136.1%)**	40.15 ± 3.96	(104.9%)	0.32 ± 0.02 b	(139.1%)
SFP-5.0	3.58 ± 0.13 b	(155.7%)	43.13 ± 3.81 a	(112.7%)	0.34 ± 0.03 b	(147.8%)

SFP-2.5 and SFP-5.0 : Slik fibroin powder of 2.5 and 5.0 g/kg BW/day added to basic control diet. *Mean \pm SD with 7 rats per group, **Percent of control values, ^{a)} $p < 0.05$, ^{b)} $p < 0.001$ compared with control group.

요 약

실크 피브로인 분말의 생리 활성화에 관한 기초 연구를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 실크 피브로인 분말을 SD계 랫트에 하루 2.5 및 5.0 g/kg BW로써 6주간 투여한 경우 중성지질 함량은 대조그룹 대비 15~20%의 현저한 중성지질 억제효과가 인정되었다. 또한 수퍼옥시드 라디칼 및 과산화수소의 생성은 대조그룹 대비 각각 6~12% 및 10%의 유의적인 억제효과가 인정되었으며 이들 SFP-2.5 및 SFP-5.0그룹의 히드록시 라디칼의 생성은 대조그룹 대비 15~25%의 현저한 OH의 생성 억제효과가 나타났다.

강력한 세포독성으로 작용하는 과산화지질은 대조그룹 대비 6~12%, 그리고 산화단백질은 대조그룹 대비 6%의 산화 단백질의 생성 억제효과가 인정되었다. 생체 방어효소로서 디스무타아제 및 카탈라아제의 활성은 대조그룹 대비 각각 35~55% 및 40~50%의 현저한 방어효소의 활성 증가효과가 인정되었다. 또한 글루타치온 퍼옥시다아제는 13%의 유의적인 활성 증가효과가 인정되었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 실크 피브로인의 투여는 이중성지질을 효과적으로 억제할 수 있을 뿐만 아니라 강력한 활성산소의 억제효과 및 생체 방어효소의 활성 증가효과로 성인병의 예방 및 생리적 노화현상을 매우 효과적으로 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

인용문헌

- Chan, P. C. and Bielski, B. H. J. (1974). Enzyme catalyzed free radical reactions with nicotinamide adenine nucleotide. *J. Biol. Chem.*, **249**(4): 1317-1319.
- Choi, J. H. and Yu, B. P. (1989). The effect of food restriction on kidney membrane structures of aging rats. *Age*, **12**: 133-136.
- Choi, J. H. and Yu, B. P. (1990). Unsuitability of TBA test as a lipid peroxidation marker due to prostaglandin synthesis in the aging kidney. *Age* **13**: 61-64.
- Choi, J. H. (1991a). Lipid peroxidation, aging and food restriction. *Kor. J. Biochem.*, **23**(1): 61-70.
- Choi, J. H. (1991b). Modulation of the aging process by food restriction. *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, **20**(2): 187-196.
- Choi, J. H. and Yu, B. P. (1994). Studies on age-related physiological changes in brain of senescence accelerated mouse (SAM). *Kor. J. Gerontol.*, **4**(2): 61-70.
- Choi, J. H. and B. P. Yu (1995). Brain synaptosomal aging : Free radicals and membrane fluidity. *Free Rad. Biol. & Med.*, **18**(2): 133-139.
- Choi, J. H., Kim, J. I., Kim, D. W., Moon, Y. S., Chung, H. Y. and Yu, B. P. (1996). Analysis of lipid composition and hydroxyl radicals in brain membranes of senescence-accelerated mice. *Age (American Aging Association)*, **19**: 1-5.
- Choi, J. H. and Yu, B. P. (1998a). The effects of dietary restriction on age-related changes in rat serum prostaglandins. *J. Nutr. Health & Aging*, **2**(3): 451-455.
- Choi, J. H. and Yu, B. P. (1998b). Dietary restriction as a modulator of age-related changes in rat kidney prostaglandin production. *J. Nutr. Health & Aging*, **2**(3): 456-460.
- Choi, J. H., Kim, D. W. and Yu, B. P. (1998c). Modulation of age-related alterations of iron, ferritin, and lipid peroxidation in rat brain synaptosomes. *J. Nutr. Health & Aging*, **2**(3): 461-465.
- Choi, J. H. and Yu, B. P. (1999). The effects of dietary restriction on age-related changes in rat serum prostaglandins. *Age & Nutrition*, **10**(1): 47-51.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. C. (1981). Formation of a thiobarbituric acid-reactive substance from deoxyribose in the presence of iron salts. *FEBS. Lett.*, **128**: 347-350.
- Lawrence, R. A. and Burk, R. F. (1978). Species, tissue and subcellular distribution of non Se-dependent glutathione peroxidase activity. *Lipid*, **19**: 444-452.
- Levine, R. L., Garland, D., Oliver, C. N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A. G., Ahn, B., Shaltiel, S., and Stadtman, E. R. (1990). Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol.*, **1986**: 464-478.
- Lowry, O. H., Roseborough, N. J., Farr, L. A., and Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin-Phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**: 265-275.
- McCord, J. M. and Fridovch, I. (1969). Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *J. B. Chem.*, **244**(22): 6049-6055.
- Oyanagui, Y. (1984) Reevaluation of assay methods and establishment of Kit for superoxide dismutase activity. *Anal Biochem* **42**: 290-296.
- Rigo, A. and Rotilio, G. (1977). Simultaneous determination of superoxide dismutase and catalase in biological materials by polarography. *Anal. Biochem.*, **81**: 157-166.
- Singh, V. N. (1991). A current perspective on nutrition and exercise. *J. Nutr.*, **122**(35): 760-765.
- Thurman, R. G., Ley, H. G. and Scholz, R. (1972). Hepatic microsomal ethanol oxidation. *Eur. J. Biochem.*, **25**: 420-430.
- Yagi, K. (1987). Lipid peroxides and human diseases.

- Chemistry and Physics of Lipids*, **45** : 337-351.
- 文 豊 (1987). 마우스의 급성 알코올성 간장애에對する 아라닌과 올니친投與による保護作用의 機序. 慈惠醫大誌 **102** : 1231-1241.
- 杉山公男 (1989). 알코올代謝による含硫아미노酸의 重要性. 日本榮養食糧學會誌, **42** : 353-363.
- 岸本 康 (1973). 生命をつくる物質. 講談社(東京) 發刊, pp. 220-226.
- 陸 旋・秋山大三郎・平林 潔 (1994). 絹粉末の作製とその物性. 日本蠶絲學會誌, **63** : 21-27.
- 平林 潔 (1989a). 絹の機能化. 高分子學會誌 **38** : 1062-1065.
- 平林 潔 (1989b). 絹の可溶化と 其の應用. 바이오인더스트리-, **16** : 27-32.
- 平尾和子・木村由里子・五十嵐喜治 (1998). 絹絲から調製したไฟ프로인溶液의 氣泡特性と 스폰지케키への利用. 日本食品科學工學會誌, **45(11)** : 692-699.