

기능성식품으로서 누에고치의 식용화 이용기술

李 聖 甲 / 국립안성산업대학교 식품공학과 교수

농학박사·기술사 / 한국식품기술사회장

I. 머리말

누에고치는 실을 뽑아 직조한 비단(SILK FIBRICS)을 만들어 인류의 복식문화를 선도한 고급옷감으로 몇 천년의 역사 속에서 화려한 의류 문화의 꽃을 피어 왔다.

그러나 과학문명의 발달로 인조견이나 합성섬유의 출현으로 내구성이나 가격면에서 비단은 점점 의류 재료에서 밀려나게 되었고 그 수요공급이 고급 용도로 전환하게 되었다. 비단의 역사는 중국에서 처음 생산하여 실크로드의 무역로를 번창시켰고 우리나라에서도 실크 이용은 3국 시대부터 시작된 것으로 전해오고 있으며 정부에서도 최근까지는 장려하였으나 합성섬유에 밀려 잠업에 관한 교육기관과 연구기관이 점점 축소되고 있다.

이와 같이 누에고치는 옷감으로서의 가격경쟁에 밀려 다른 용도로서 기능특성을 이용하여 누에를 성인병 예방과 치료제로서의 이용과 빵잎의 음료, 국수, 기타 각종 식품제조에 참가하여 새로운 분야의 이용도 개척을 하기에 이르렀다. 그리고 정상적인 제사공장에서 파생되는 많은 양의 축면의 부산물인 잔사는 그대로 버리고 있는데 이를 활용방안으로 짧게 절단분쇄 정련하여 습모

양으로 하였으나 섬유로는 이용이 불가하여 일본의 연구자들은 누에고치의 식용화에 착안하여 수용성 SILK로 하여 용해성을 줄으로써 식용이 가능한데 원료는 어떤 형태의 실크도 가능하나 부산물 실크활용이 더욱 경제적이다. 누에고치도 머리카락이나 손톱, 발톱같은 동물성 경단백질로 섬유성 단백질이기 때문에 그 구성분은 여러 종류의 아미노산류들이다. 그러므로 고분자(분자량 35만이상) 물질인 실크는 소화흡수를 쉽게 하여 식품화하려면 산·알카리나 효소 등을 이용하여 저분자 분해물로하여 수용성화시키는 것이 선결 문제이다. 여기서 현재 국내에서의 누에고치 식용화 기술 현황과 건강증진효과에 관한 연구동향을 소개하여 실크의 식용화에 기여코자 한다.

II. SILK의 식용화 기술

가) 실크의 가소화 분해

원료 실크(고치, 생사, 견직물과 제사 부산물(축면잔사)은 4~5cm 크기로 절단 정련하여 묽은 탄산나트륨(Na_2CO_3)용액에서 30분간 끓여 오염된 기계유를 제거수세 건조

후 원료로 사용)는 먼저 고분자량의 실크 분말을 만들기 위하여 원료 실크를 끓는 50% 염화칼슘용액에 용해시켜(100ml에 15~20g의 실크 용해) 투석막에 넣어 흐르는 물에 2~3일간 방치한다(투석 장치 사용이 탈염 효과 큼). 이렇게 얻은 실크 용액은 무색, 무미, 무취이다. 여기에 적당한 조미, 조향하면 SILK DRINK가 되고 역시 구연산 등을 첨가하여 단백등전점까지 PH를 낮추어 냉장처리하면 SILK JELLY가 만들어진다.

수용성 실크용액은 급속냉동 후 건조하여 스폰지 모양의 고형물을 얻어 이를 곱게 분쇄하여 분말화 하고 이것을 다시 물에 녹인다. 산이나 알콜로 GEL 시킨 후 동결건조 시킨 분말은 β화 되기 때문에 물에는 녹지 않는다.

염화칼슘에 용해시켜 얻은 실크의 분자량은 전기영동법에 의하면 약 6만이상이다. 염화칼슘에서 처리시간이 길어지면 분자량은 저하된다. 2시간 처리로 약 3만 5천정도로 되고 이의 미분말은 흡습성이 있고 자외선을 잘 흡수하여 화장품에 첨가하여 SILK CREAM을 만들고 있다.

또 실크 수용액을 효소(사모아제, 파파인, 키모트립신 등)로 처리하면 분자량이 적어져 이를 물에 잘 녹여 방치시켜 상등액과 침전물을 분리한다. 키모트립신은 4천정도로 분자량을 적게할 수 있다(사모아제, 파파인도 4천 정도분자량으로 분해).

침전부분의 펩티드 구성아미노산은 주로 그리신, 아라닌, 세린이 77%를 차지하고 있다. 가수분해물의 일반성분은 표 1과 같이 단백질이 92.22%이고 회분 지방이 5.74%이고 수분은 1.33%로 적다.

효소분해물보다 더 적은 분자량의 실크 분말은 산가수분해법인데 이는 80배량의 2N HCl에서 100°C로 48시간 처리후 중화, 탈염, 농축, 동결건조 시키면 약 64%의 아미노산이 되고, 나머지는 OLIGO PEPTIDE 이고 이 제품 분말은 설탕의 2배 단맛을 갖는다(분자량 200).

시판 실크분해물의 일반성분은 표 1과 같고 무기물함량은 실크분해물 100g당 Na 2,100, P 19.80, K 18.30, Ca 6.28, Mg 3.66,

Fe 1.85, Zn 0.66, Cu 0.1 및 Mn 0.1mg% 등이었고 활성탄 탈색으로 제품의 색과 냄새를 제거할 수 있다(이온교환수지처리 정제도 가능).

표 1. 누에고치분해물의 성분조성

수 분	단백질	지 방	회 분
1.33	92.22	0.13	5.61

나) 실크의 소화와 흡수

실크가 인체에 무해한 것은 누에번데기를 삶아 식용하는 것으로도 유추할 수 있다(일본 산분해실크의 위생검사 분석치 참조). 그러나 누에실크는 분자량이 35만이상의 고분자 섬유단백질(FIBROIN)로 되어 있어 소화, 흡수되는 것이 먼저 의문시 된다. RAT를 사육하여 실크의 사양 시험한 결과를 표 2에서 보면 산가수분해물이 가장 높고 제사공장부산물인 재생 실크가 소화율이 낮았다.

표 2. 누에고치분해물의 시험용 쥐사육시 소화흡수율

시 료	분자량	흡수율% (쥐)	흡수율% (효소)
산 분 해 실크	200	91	92
효소분해실크	4,000	70	68
폐실크분해액	60,000	49	30

이같은 경향은 분자량이 적어질수록 쥐의 소화율이 좋아 실크분말보다 실크용액이 이 용액보다는 산분해실크용액이 가장 좋은 소화율을 보였고 더욱이 아미노산이 OLIGO PEPTIDE까지 분해를 진행시키면 90%이상 이 소화된다.

염화칼슘에 실크를 녹여 투석 탈염한 실크용액에 적당하게 맛을 주어 겔화 시킨 실크(실크제리)는 β화가 일어나 소화율은 불량하게 되어 30%전후로 낮다.

그리하여 재생 실크수용액은 장내에서는 식물섬유와 같이 변비의 해소에 도움을 주는 것으로 사료된다. 소화율을 높여 실크를 거의 완전하게 흡수시키려면 구성아미노산

을 OLIGO PEPTIDE까지 가수분해 할 필요가 있다.

실크를 효소(사모아제 나 파파인)로 가수

분해시켜도 침전물은 남는다. 그리하여 옛부터 사용하는 염산가수분해하여 수용성 실크분말을 만드는 것도 시도하였다.

표 3. 실크 분해물의 위생분석 시험성적서(일본식품분해센터)

분 석 항 목	결 과	분 석 항 목	결 과
성 상	담황색 분말, 입자 혼합물	염분(Na환산)	6.50%
액 성	pH 5.7	염분(Cl환산)	4.64%
중 금 속	한도내	Tar색소	무검출
비 소	한도내	SO ₂	불검출
질 소	14.7%	Formaldehyde	무검출
건 조 감 량	0.95%	3-chloro-1,2-propanethiol	무검출
강 열 잔 류 물	8.11%	일반세균수(생균수)	2.1×10 ² /g
지 질	0	E.col:	음성/2.22g

고농도 염산은 착색이 심하여 2N HCl을 사용하여 100°C에서 24시간 가수분해시키고 이것을 NaOH로 중화시키면 팽윤한 SILK SAUCE가 되고 이것에서 탈염시키면 실크용액을 얻는다. 이것은 상쾌한 단맛을 가지며 실크 특유한 맛을 준다. 이 액을 농축 건조하면 설탕의 2배이상의 감미있는 수용성 실크분말을 얻게된다. 이것은 보존력도 좋아 식품첨가물로서 충분히 사용할 수 있다. 드링크, 젤리, 간장 등에 첨가하면 이때 실크는 거의 100% 소화, 흡수된다. 그리고 발효식품인 김치나 요구르트 같은 발효유제품 제조에 첨가하면 유산균의 발육과 증식에 효과가 커 제품의 품질을 좋게하고 저장성도 향상되고 영양가도 높게된다 ((주)현대종합식품(대표 한성희)의 향채방 실크김치와 한림식품의 아미노실크 시판중). 실크의 김치첨가효과에 관한 연구는 현재 본인이 진행하고 있다.

III. SILK의 건강증진 효과 (가능성)

누에고치의 실크 아미노산조성을 표 4에서 보면 필수 아미노산은 약 10%가 되고 영양면에서는 실크를 분말로 먹을만한 가치는 보이지 않는다. 실크를 먹으려면 좀더 다른 목적으로 필요하겠지만 일반적 식품으

로 먹을 필요는 없다.

SILK에 함유된 아미노산에는 특이성이 있고 그 함유량의 순서는 GLY 45%, ALA 30%, SER 12%, TYR 5%이다(단 MOL%).

지금까지 아미노산의 연구에 의하면 아라닌은 간기능을 증진시켜 알콜의 대사를 촉진하는 작용이 있고 GLYCINE, SERINE은 혈중콜레스테롤 농도를 저하시키고 TYROSINE은 치매증의 예방에 효과가 큰 것으로 보고되고 있다.

실제 실크의 이와같은 효과를 조사한 동물실험결과는 그림 1과 같이 RAT의 혈액중에서 에타놀량의 실크투여 유무간의 차이는 현저하여 혈중 에타놀 농도는 실크 투여 전이 낮은 수치를 보였다.

역시 실크유사아미노산 혼합물보다 실크 펩티드쪽이 유효성이 더 큰 것을 최근 확인하였다. 그러나 에탄올 대사는 간세포에서 탈수소효소에 의하여 수행되는데 아세트알데히드와 NADH가 생성된다. 이 NADH가 과잉하게 되면 에타놀이 나 아세트 알데히드의 산화가 저해되고 악취를 일으킨다. 이 산화과정을 원활하게 수행시키면 악취는 없게된다. 이 산화과정을 부활시키면 간 그리고젠이 생성된다. 간 그리고젠이 과잉의 알콜대사때문에 부족하게 되면 아미노산이 그리고젠으로 전환이 시작된다. 아라닌은 이 같은 아미노산의 제1의 후보물질이 된다.

표 4. 누에고치의 아미노산 조성

아미노산	측 채	누에고치	(Silk Fibroin)	산가수분해실크	재생실크액
GLY	H	445	(35.3%)	264	147
ALA	CH ₃	293	(27.7)	253	43
SER	CH ₂ OH-	121	(13.5)	90	373
TYR	HOC ₆ H ₄ CH ₂ -	52	(10)	1.84	26
ASP	HOOCCH ₂ -	13	(1.8)	37	148
VAL	(CH ₃) ₂ CH-	22	(2.7)	30.6	36
LEU	(CH ₂) ₂ CHCH ₂ -	5	(0.7)	9	14
ILE	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)-	7	(0.9)	6.9	7
PHE	C ₆ H ₅ CH ₂ -	6	(0.8)	5	3
THR	CH ₃ CH(OH)-	9	(1.1)	13	87
GLU	HOOCCH ₂ CH ₂ -	10	(1.6)	25	34
ALG	NH ₂ C(NH)NH(CH ₂) ₃	5	(0.7)	8.7	36
CYS(1/2)	(-S-CH ₂) ₂ -	2	(0.5)	-	5
MET	CH ₃ SCH ₂ CH ₂ -	1	(0.2)	1.76	-
LYS	NH ₂ (CH ₂) ₄ -	3	(0.5)	4.99	24
PRO	(CH ₂) ₃ CHNHCOOH-	3	(0.4)	-	7
HIS	N(CH ₂)NHCCH ₂ -	2	(0.3)	2.2	12
TRP	C ₈ H ₆ NHCH ₂ -	2	(0.3)	-	-
AMONIA	NH ₃	-	-	-	86

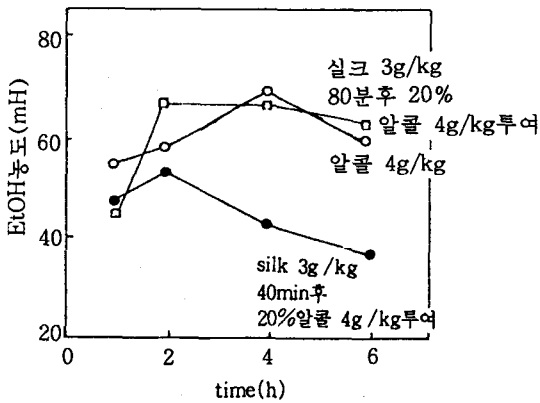


그림 1. 실크 투여시 쥐혈중알콜농도비교

즉 아라닌은 알콜대사에 의하여 생성되는 아세트 알데히드나 NADH를 분해하는 사이클을 활성화시키는 에너지원이 된다. 아라닌을 1/3정도 함유한 실크가 에탄올 대량 투여에 대하여 유효하게 작용한다고 보고되

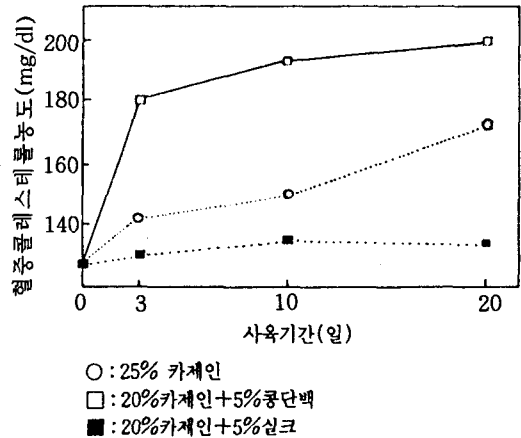


그림 2. 실크의 혈중콜레스테롤치 저하효과

었다. 표 5는 RAT에 서로 다른 실크를 투여했을 때의 혈중 알콜 농도차이를 보여주고 있다. 실크를 알콜 투여 전에 준 RAT의 혈중 알콜농도는 아미노산형의 실크가 가장 낮은 수치를 보였고 실크 PEPTIDE(1N

HCl, 30분)가 가장 유효성이 컸다.

표 5. 실크투여시 혈중 에탄올 함량비교

Sample	Alcohol in Blood(mg/ml)
Control	3.21 ± 0.21
Basic Feed	2.78 ± 0.02
Basic Feed+Silk(1N HCl, 30 Min.)	2.44 ± 0.22
Basic Feed+Silk(1N HCl, 48 hr.)	2.14 ± 0.38

또 실크 구성아미노산의 과반수를 접하는 그리신이 많이 함유된 식품이 혈장 콜레스테롤 함량을 저하시키는 작용이 크다. 여기서 우이스타 계통의 숫놈 RAT(5주령, 175g) 10마리씩 3개조로 나누어 실크의 콜레스테롤 저하효과 시험을 실시한 결과는 그림 2와 같다.

사료중의 단백질이 카제인일 때 RAT의 혈중 콜레스테롤 농도는 투여직후부터 급격히 상승하였다. 이에 대하여 사료중의 단백질(카제인)을 5% 정도 실크로 대체할 때는 혈중 콜레스테롤 농도의 상승은 상당히 억제되었다. 대두단백질도 그 효과는 있으나 실크보다는 적다. 그리신의 혈장중의 콜레스테롤의 저하작용은 더 나아가서 고혈압이나 뇌졸중의 예방에도 필요하다. 또 실크에 약 6% 함유한 티로신은 티로신 수산화 효소의 작용에 의해 DOPA(3,4 Dihydroxy phenylalanine)가 생성되고 이것은 파킨슨병 환자에 효과가 크다.

표 6. 실크 투여 전후의 인슈린량의 변화 (ng/dl)

	No. 1	No. 2	No. 3
실크무투여	5.12 ± 2.50	7.41 ± 2.48	5.33 ± 1.92
실크투여	10.76 ± 5.78	10.12 ± 3.66	11.43 ± 7.81

실크의 효과가 명확한 것은 9일간 카제인식을 투여한 후 쥐 혈중 콜레스테롤은 약간 상승하여 10일에 콜레스테롤치는 110 ± 8에서 300 ± 100mg/dl까지 상승되었다. 10일부터 사료를 실크식으로 대체 한 결과 260 ± 20mg/dl까지 하락하였으나 카제인식은 320

± 18mg/dl이었다.

또 RAT에 실크를 투여하면 RAT의 혈중 인슈린 농도가 증가한다(표 6).

인슈린의 증가는 당대사를 촉진하기 때문에 당뇨병의 예방에 효과가 크다. 실크의 아미노산 배열과 같은 배열의 인슈린 수용체가 단백질중에 발견된다. 수용성 실크(아미노산, 올리고 펩티드)가 혈액중에 들어가면 세포막을 관통하여 이 단백질이 먼저 일찍 흡수되고 그 활성을 높이는 것으로 생각된다.

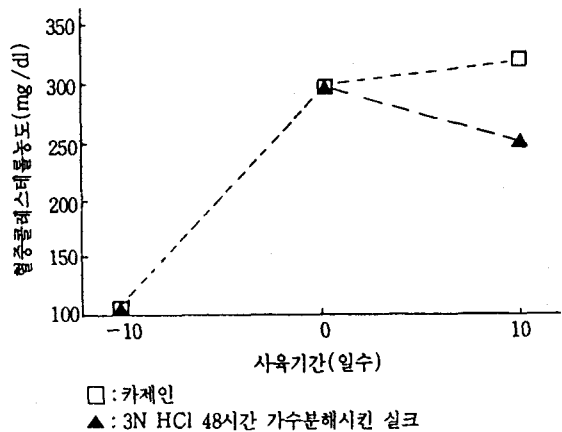


그림 3. 실크투여시 혈중 콜레스테롤치 변화

이상 실크를 구성하는 아미노산은 건강을 유지하는 각종 작용이 있어 누에고치의 식품화는 앞으로 유망하다고 사료된다.

IV. 실크의 BIO 소재화

실크는 단백질섬유로서 흡습, 방습성이 우수하고 자외선 차단효과가 있고 항균성을 가져 옛부터 베드민족 여성은 실크천으로 얼굴을 가리어 자외선을 차단하였다.

건강식품으로서 실크는 4,000개의 아미노산 분자가 쇠상결합된 펩타이드로 가로방향은 수많은 수소결합에 의해 구성되어 분해 처리로 한개 한개의 분자로 분리된다.

가장 간단한 방법은 끓는 50% 염화칼슘

용액에 녹이는 것으로 용액 100g중에 10~20g의 실크를 녹일 수 있고 냉각 투석하면 순수한 실크용액을 얻는다. 실크분자는 뿔뿔히 흩어진 상태로 수용액중에 존재한다. Silk로 만든 각종 상품을 보면 표 7과 같다.

이것은 무색, 무미, 무취하다. 적당히 조미한 후 겔화시키면 보통의 SILK JELLY가 된다. 그러나 고분자량(약 6만)의 실크로서의 소화율은 불량하여 동물실험으로 30% 정도이다. 소화율을 올리려면 분자 CHAIN을 짧게 해야 하는데 이는 산이나 효소가 사용된다. 2N HCl에서 48시간 분해시키면 거의 아미노산까지 분해하고 40% 정도가 오리고 펩티드로 분말화하여 옛, 우동, 국수, 전병 등에 첨가하거나 실크쿠키, 실크케익, 실크요리 등 식품용 실크분말의 수요가 점점 증가, 호평을 받고있다. 실크는 아름다운 것, 매끈매끈한 것, 가벼운 것 등 감각의 대명사로 된다. 실크비누, 실크홍차, 실크목욕제, 실크위스키 등 무수히 많다.

실크는 감각적만이 아니고 먹음으로써 건강을 좋게하는데 혈중콜레스테롤치 저하(그리신, 세린) 간기능 작용향상(아라닌) 치매예방(티로신), 인슐린 분비촉진, 정력증

진 등이 거론되며 실크는 확실히 식품으로서 기능성이 있어 증가되는 성인병에 유호한 식품첨가물임이 분명하다.

SILK FIBROIN은 분자량 35만으로 이것을 서서히 절단함으로써 각종 크기의 SILK를 얻어 가열, 가압에 의해 성형물로 얻어지는 원료는 결정성 부분이 많고 이 분말은 묽은 황산으로 실크를 열화시킨 후 비결정영역을 탈락시켜 마쇄하여 얻는다. 적당한 수분은 8%가 적당하다. 아크리루산 크라프트 실크분말을 원료로하면 실용화 가능한 실크시트 또는 블럭이 된다. 생물분해성 프라스틱, 상아대체품, 인공뼈 등의 응용이 고려되고 효소가수분해로 분자량 4,000의 실크분말은 우수한 화장품첨가제가 된다. 효소분해 실크는 자외선차단, 보수성이 우수하다. 역시 더 가수분해를 진행시킨 분자량 500~1,000의 수용성 실크분말을 얻는데 이것은 산가수분해물과 달리 냄새나 색도 없다. 식품첨가물이나 화장품소재(샴푸, 린스)로도 사용된다. 또 고흡화물로서 실크필름을 만들 수 있는데 실크용액을 폴리에틸렌 등의 필름위에 흘려 건조하면 실크필름을 만들 수 있다.

표 7. 누에고치의 가수분해형태별 용도

가 공 형 태	개 발 상 품	상 품 명
Silk 아미노산 용액 ↓ 제약 분해용액막 ↓ 건조 추출물 분말	산업용 Silk 필름 식품용 수용액 의료용 생화학 분야 분리용 기타 식품용 화장품용	<ul style="list-style-type: none"> • 수술용봉합사, 낚시줄, 섬유코팅제, 산업용 • 드링크(음료수), 젤리 • 암진단장치, 인공피부, 인공장기 • 효소 고정막 • 분리막 • Accessary • 건강식품, 제과, 제면, 두부, 죽, 각종식품 • 크림, 샴푸, 콘디쇼너, 입술용 루즈

실크의 생체적합성은 β 화 시키는 것이 현저하게 향상되며 또 물불용화액도 β 화는 필요하다. 인공피부, 콘택트렌즈, 인공혈관 세포접착제로의 응용이 고려되나 무엇보다도 이의 역학적 성질이 문제가 된다. 그리하여 어떻게하여 신장도를 부여하는 가에 대한 연구를 진행하고 있으며 인공피부는 중국에서 인체실험이 진행되고 있다. 또 합성사

(나이론, 데트론, 아크릴)로 실크피막 부여에 대하여도 적당한 접착제를 사용하면 충분히 실용가능한 제품을 얻을 수 있다. 기타 효소고정화제, 분리막 등의 응용도 고려되고 있다.

누에고치 가소화분해물의 식품에서의 용도를 영양강화 목적과 조미효과로 나누어 보면 표 8과 같다.

표 8. 실크분해물의 이용목적별 용도

이용 특성	대 상 식 품
영양 강화 효과	과자류(빵, 케익, 건과, 캔디, 초코렛, 츄잉껌, 잼) 빙과류(아이스크림, 빙과, 샤베트) 유제품(가공류, 발효유, 치즈, 분유, 조제분유) 육제품(햄, 소시지, 난제품), 인삼제품(차, 껌) 통(병)조림, 다류(고형차, 액상차) 두부·묵류, 특수영양식(이유식, 효소식품) 식용유지(마아가린, 쇼팅), 조미식품(간장, 된장, 케찹) 제면(국수, 라면) 주류(제재주), 튀김·냉동식품 청량음료(과채류음료, 유산균음료, 우유음료)
조미 효과	육제품, 어육연제품, 마요네즈, 카레, 절임식(김치, 젓갈)소주

V. 결 어

누에고치의 의류용 섬유로는 이제 경쟁력을 잃어 이의 새로운 용도개발이 절실하게 필요한 시점이다. 인생의 최대 희망사항은 건강장수가 예나 지금이나 변함없는 사실이다. 실크의 식용화는 건강증진의 목적으로 충분하여 실크를 먼저 수용성분말로 하여 소화흡수성을 높이어 기능성(콜레스테롤치역제, 혈당치저하, 간기능 증진, 알콜대사촉진)을 발휘하는 것이 동물실험으로 확인되었다. 현재 일본에서는 실크분말을 엿, 과자, 국수, 우동, 두부 등에 첨가제조하여 시판하고 있고 우리나라는 실크김치와 분말 그대로 성인병 식품으로 판매되고 있다. 앞으로 이들 연구에서 실크의 기능성 발현의 기구가 해명되면 실크는 훌륭한 성인병 예

방식품으로서 손색이 없다. 드링크제의 인기는 높으며 당뇨병치료효과는 5령 3일 누에를 동결건조 분말화하여 치료제로 이용하기도 한다.

동물실험을 유추하여 1일 5g의 수용성 실크분말을 먹으면 성인병(뇌졸중, 당뇨병, 간부전)의 예방효과가 기대된다. 실크장유, 실크현미, 츄잉껌, 실크크로레라정과, 목욕세제 등 식품으로 유망하고 실크화장품 등에도 전망이 밝다.

그러나 실크의 식용정착을 위하여는 앞으로 규명하여야 할 많은 문제점(소화흡수 향상기술, 건강증진효과, 안전성, 원가절감 방안, 상품홍보 등) 해결에 계속 노력하여야 할 것이다.

• 참고문헌

1. Hira Vayasi, Kiyosi, Chin Kawari, Sewana syois; New Food Industry 33(II)1991.
2. Hira Vayasi, Kiyosi, Hiroeun, Yowuechi; New Food Industry 35(I) 1993 : 36(I) 1994.
3. Hira Vayasi, Kiyosi; 壯快 2 1990.
4. 岸本康 “生命 をつくな物質” p. 225, 강담사 1973.
5. 武居正和, 平林潔, 蛋系科學 と技術 26, 44 1987.
6. 文豊, 慈惠醫大誌 102. 1231 1887.
7. 杉山公男, 日本營養, 食糧學會誌 42, 233, 1989
8. 김영래, 김남정, 잠사연 시험연구보고서 1994, 1995.
9. 이성갑, 박세윤, 식품가공실습(I), 경기도 교육청 1996
10. 이성갑, 누에고치의 식용화기술과 건강증진효과, 기술사 29(4) 1996.