

최 종
연구보고서

고급 견소재 개발을 위한 원료건의 분광학적 특성 연구

Development of Spectroscopic Feature for
High Grade Silk Resources

주관연구기관

경북대학교

협동연구기관

경상북도농업기술원 잠사곤충사업장

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “고급 건조재 개발을 위한 원료건의 분광학적 특성 연구
과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998년 12월 29일

주관연구기관명 : 경 북 대 학 교

총괄연구책임자 : 한 명 세

연 구 원 : 이 인 전

연 구 원 : 여 주 홍

연 구 원 : 한 상 미

연 구 원 : 윤 은 영

협동연구기관명 : 경상북도농업기술원
잠사곤충사업장

협동연구책임자 : 이 창 태

연 구 원 : 박 근 식

연 구 원 : 이 진 근

연 구 원 : 추 재 원

연 구 원 : 박 현 로

요 약 문

I. 제목

고급 견소재 개발을 위한 원료건의 분광학적 특성 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 과제는 견소재 또는 양잠 산물의 고급 특수화 관련된 유전자원의 발굴과 생물신소재 생산 및 실용화 기술개발이 목적이며, 특수 유전형질을 이용한 신물질 생산기술은 양잠현장의 기술적 애로사항 해결 및 수익성 증대에 기여할 수 있다. 제1단계 연구는 제사용 원료건인 누에고치 및 기타 견소재의 분광성을 반영하는 형광색의 특성을 조사하였고, 특히 견사의 품질에 절대적인 영향을 미치게 될 것으로 예상되는 형광색 형질이 우수한 계통을 육성하였다. 그 다음, 제2단계 연구는 실용성을 지배하는 물리 화학적 성상에 관한 정밀조사로서 분광학적 분석방법을 위주로 NMR, FT-IR, DSC, 원소 및 아미노산 분석 등을 수행하였다.

따라서, 본 과제는 방법론적으로 “분광학적 연구”로 특징지을 수 있으며, 연구의 대상인 “원료건”의 범주는 당연히 제사용 원료건을 중심과제로 기타 특수용도 견소재를 포함한다. 본 과제의 성격이 “현장으로 연구”이기 때문에 양잠의 방식과 목적하는 산물이 확일적으로 제사용 원료건에 한정되었던 과거와 달리, 고도의 다양화를 보이는 최근 양잠현장의 추세를 반영하

였다. 그러므로, 농가에서 어떤 유형의 최종 산물을 생산할 목적이든 간에 양잠의 형태로서 소득원을 보장할 수 있는 잠체성분 기타 견소재 개발을 포괄적으로 취급하여 대상에 포함시켰다. 이와같은 취지에서 본 과제는 양잠 농가의 입장에서 절실하게 요구되는 특수 고급화를 유도하기 위한 기술의 연구개발을 추진한다.

잠사·견업은 원료견의 1차생산에 끝나지 않고, 제사 직조 등의 생산단계를 거치면서 고도의 부가가치를 추구할 수 있다. 따라서, 고급 원료견 생산은 전통 양잠의 대외 경쟁력 강화에 유리할 뿐 아니라, 이와 관련된 제조업 전반의 활성화에 크게 기여할 수 있다. 그런데, 우리나라 양잠 현황은 농산물 수입개방과 노임상승으로 생산기반이 약화되고 있는 실정이며, 경쟁력 강화를 위한 기술개발이 시급하다.

양잠분야 기술 선진국인 일본은 원자재 자급도가 낮지만, 조사능을 및 생사의 품질향상을 위한 연구를 계속하고 있으며, 생산기반 안정과 제직 염색 가공기술 개발에 노력하고 있다. 이태리와 歐美의 견업은 원자재의 대부분을 수입에 의존하는 불리함이 있으나, 제품화 기술 개발이 우월한 수준이다. 중국과 동남아시아를 비롯한 개발도상국들은 원료견의 품질 및 견제품 가공기술이 열등하지만, 내수 및 원자재 생산기반을 확보하고 있다. 그런데, 우리는 염색 가공 기술 등이 선진국을 능가하지 못하며, 국산 원료견의 품질 개발은 정체되고 있으며, 생산기반의 급격한 위축으로 원자재의 대부분을 수입에 의존하는 위기에 직면하였다.

이와같은 현실적 문제의 해결을 위한 기술개발의 일환으로 추진된 본 연구의 성격은 “원료견의 고급 및 특수화를 통한 원천기술의 개발”이다. 먼저, 제사용 원료견의 고급·특수화는, 고급 견제품 생산에 유리한 국산 원료견 생산 기반을 확보하는 동시에 양잠농가의 낮은 수익성을 개선하고, 품질이 낮은 수입 원료견 의존에 따라 제사 및 견직분야에서 야기되는 고품질

화 전략의 취약점이 보완 또는 완화할 수 있다. 그 다음, 絲繭養蠶에 한정되었던 종래의 생산기술을 초월하여, 식용 및 특수용도 또는 기타 첨단 신소재용 원료견의 개발로 새로운 소득원을 발굴할 수 있다.

고급 특수 원자재의 독자적인 확보는 기술향상에 장기간이 소요되는 가공 및 제품화기술의 미흡함을 보완해 주고, 품질 및 가격경쟁력 강화를 동시에 추구할 수 있다. 생산기술 개선과 양잠 산물의 부가가치 증대 및 특수화에 따라 양잠농가는 특수 고급 견소재 생산에 부응하는 수익과 안정성을 보상받을 수 있다. 따라서, 본 연구개발 과제의 성과는 전통 특화작목인 양잠업이 현실적으로 직면한 영농상의 기술 및 경제적 애로사항 해결에 기여할 수 있을 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

견소재의 고급 특수화 관련 분광학적 연구는 3부분의 세부과제로 구성된다

- ① 분광학성에 따른 원료건의 형광색 구명 및 특수계통 육종.
- ② 신제품 대량육 실증시험을 통한 형광색 및 특수견소재를 생산.
- ③ 새로운 견소재에 대한 물리화학성의 분광학적 분석과 유용성 개발.

세부과제명	연구항목	연구개발 내용 및 범위
1. 고급 특수견용 유전자 자원 개발	① 특수 분광성 견소재 생산용 누에품종 육성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 청색형광견 일본계 원잠종 4계통 육성. ○ 청색형광견 중국계 원잠종 4계통 육성. ○ 황색형광견 일본계 원잠종 3계통 육성. ○ 황색형광견 중국계 원잠종 2계통 육성.
	② 고치색 유전자 발현 검정 및 우량계통 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 누에고치의 색과장 및 표준색명의 구명. ○ 유색견용 누에품종 우수 교배조합 검정. ○ 견색 관련 유전자 간의 상호작용 해명.
	③ Nd-s 유전자 및 SS 형질과 수용성 견 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ SS 유전형질의 누대 순계분리 및 개량. ○ 수용성견 교잡원종 SSA, SSB 계통 수립. ○ 재조합 DNA 발현계 숙주용 누에 개발.
2. 특수 견소재의 분광학적 특성 구명	① 특수형광색 견의 분광학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특수형광견의 강신도 및 물리성 조사. ○ 실크 고분자의 Tyr거동과 분광학적 특성.
	② 수용성 견소재의 분광학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> ○ SS 견소재의 적외선분광 분석 (FT-IR). ○ S/S, S/N, N/N 형 견소재의 DSC 분석.
	③ 황견잠 및 특수견소제 성분분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유색견 잠체성분 원소 및 아미노산 분석. ○ 특수 고급 견소재의 아미노산 조성 분석.
3. 특수 잠품종 대량육 실증 시험	① 선발계통 누에 대량육 및 형질 발현 검정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특수형광견 잠품종 대량사육 실증시험. ○ 유색견 우량계통의 대량사육 실증시험. ○ SS 계통 대량사육 및 특수 견소재 생산.
	② 사육기술 개선 및 특수형광색 견사 제조	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특수 분광성 원료견 건조 및 생사 제조. ○ 신계통 누에의 무독잠종 생산 관리 시험. ○ 효율적 사육환경 제어 및 기술체계 개선.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 고급 견소재용 유전자원 개발

(1). 특수 분광성 견소재 생산을 위한 누에계통 수립

分光學的 特性에 관련된 특이 유전자원 검색하여 특수 형광색 원료건을 생산할 수 있는 새로운 누에계통으로서 청색형광견 원종 8계통 및 황색형광견 원종 5계통을 육성하였다. 청색형광견은 일본계 원종 Ab, Cb, Gb, Ib 및 중국계 원종 Bb, Db, Hb, Jb 등이며, 황색형광견용 누에의 경우에도 Ay, Cy, Dy, Gy, Jy 등 5계통을 선발 육성하였다.

형광색이 균일하지 않으면 해서가 불량하고, 세리신 용해도가 고치별로 다르며, 고치별로 繅絲장력에 차이가 나므로, 제사공정에서는 생사의 품질을 저해하게 되며, 결국은 견직물의 품질도 크게 저하시키는 요인으로 밝혀졌다. 용해도의 불균일로 풀림새가 불량하면 마디실 고착실 갈린실 영킨실 등이 발생하기 쉽고, 재조 섬도 사조반 대중절 소절 강력 신도 포함 정련 등의 검사성적이 나빠지고, exfoliation 성적이 낮아지는 동시에 lousiness 발생율이 높아지게 된다. 견직물에서는 경사반 경사땡김 위사반 위사땡김 craping defect, shinning, nap, chika, floating, 등 불리한 결점의 발생율이 증가한다. 또한, 정련감량의 조절이 어렵기 때문에 견직물의 중량 조정 등에도 불리한 영향을 초래하게 된다.

본 연구개발 과제를 통하여 육성한 신품종 제사원료건으로 繅絲능율의 향상 및 고품질 견사 생산에 필요한 기술이 확립되었고, 일본의 기술진이 봉착한 기술상의 난제를 해결하면서 원료건의 경쟁우위를 확보하였다. 그

리고, 최근(1988) 일본에서는 누에고치를 분광학성에 따라 개체별로 선별하여 繅絲하는 기술대응책이 제시하기에 이르렀으나, 노력과 시간이 많이 소요되는 고비용의 방안으로서 실현 가능성이 매우 낮다. 그러나, 우리는 누에품종의 개량을 통하여 이와같은 문제점을 원천적으로 개선하였고, 효율적이며 실용화 가능한 원천기술을 독자적으로 개발하였다.

紫外線에 의한 누에고치 형광색은 254 nm 에서 보다 近紫外線 영역인 366 nm 에서 더욱 명확하게 구분되었다. 白色繭의 형광색은 청색과 황색을 비롯하여 흰색과 중간색 등이 존재하며, 黄色繭과 기타 유색견의 형광은 고유색과 무관하게 계통에 따라 황색 청색 회색 분홍 보라 등 다양하게 관찰되었다. 관행 원료건의 성상을 조사한 결과, 중국 우즈베크 베트남 필리핀 태국 등의 수입 원료건은 품질이 낮아서 기존 국산 원료건보다 계량형질이 열등한 동시에 형광색 형질도 균일성이 매우 불량하였다.

白色繭 장려품종 누에의 원종 및 교잡종 고치는 청색 황색 중간색 형광이 혼재하고 중간색을 띠는 개체가 다수를 차지하는 점이 유사하였다. 그러나, 원종에서는 濃靑 및 濃黄色의 발현이 교잡종 보다 현저하여 濃靑色の 비율이 濃黄色 보다 1.7~8.6 배 높았으며, 열풍건조한 경우와 생고치의 형광색은 뚜렷한 차이가 없었다. $L^*a^*b^*$ 表色系와 色立體에서 색좌표 상의 양극에 대립하는 黄色 및 靑色 형광은 순계가 분리되었으나, 藍色, 濃紫色, 淡紫色, 淡黄色, 白色, 기타 中間色은 選拔效果가 없었다. 그러므로 현행 장려품종의 형광색은 靑色과 黄色이 基本色이며 두 형질에 관련된 유전자의 작용으로 중간색 및 기타 형광색이 발현되는 것으로 판단되었다.

일본계 원종에서는 白色繭이나 黄色繭 및 기타 유색견도 형광색의 자웅별 차이가 인정되지 않았다. 그러나, 공시한 모든 중국계 원종에서 보편적으로 고치 형광색은 雌繭-靑色系 및 雄繭-黄色系の 대비를 보였다. 고치의 내외층 형광색을 동시에 고려할 때 다수의 중국계통은 限性的 발현이 더

육 뚜렷하여 또다른 중국계통인 限性무늬의 限性率 $99.3 \pm 0.44\%$ 와 유의차가 없었다. 青色-雌繭 및 黄色-雄繭 기준에 의하면, 중국계통인 Fc24 및 Dc20 의 雌雄鑑別 效率이 가장 높은 $99.0 \pm 1.00\%$ 및 $98.8 \pm 1.20\%$ 였다.

(2). 색견 유전형질 분석 및 고기능성 누에품종 육성

생산성이 높고 고치색 형질이 우수한 교잡원종 LY 및 RY 계통을 육성하는 한편, 유색견 기초품종으로서 L系 4품종 (Le, Yp, Fn, Ze), R系 4계통 (Rc, Yg, Yc, Qe)을 선발하였다. 야생 멧누에 (M계통)은 유충체색 및 반문, 고치 분광성과 천연색, 고치형태 등에 따라 MA, MB, M(A)Y, M(B)Y, M(AB)등 5계통의 유색견을 육성하였다. 유색견용 교잡종 누에로서는 최초로 육성된 LY×RY 는 단견중이 2.69g 으로서 품종명은 “黄金繭” 으로 命名하였다.

각종 누에고치의 색은 Pink 계, Orange Yellow 계, Yellow 계, Yellow Green 계, White 계 등 5 계통으로 분류되었고, Munsell 부호와 국제표준색표 일련번호를 명시하는 동시에 영어 및 한국어 색이름을 정리하였다. 供試 유색견 원종의 고치색은 16 종이었고, Pink계 6%, Orange Yellow~Yellow계 75%, Yellow Green계 19% 였다.

Pink 계는 노랑띵 분홍색 ; Orange Yellow 계는 등황색, 금잔화색, 치자색, 계란색 ; Yellow 系는 해바라기색, 노른자색, 노랑, 벼색, 네이플즈 옐로, 황수선화색, 땅콩색, 크림색 ; Yellow Green 계는 청포도색, 백연두색, 백합꽃색이 확인되었다. 관용 색이름인 肉色繭은 *F* 유전자가 지배하는 치자색 및 살색으로 세분되며, 藥色繭은 *Cst* 는 벼색 및 땅콩색을 포함하는 부류로 간주되었다. 고치색 유전자와 관련된 색파장 범위는 *Pk* 가 593nm, *F* 는 580~593nm, *Grc* 및 *Ga Gb Gc* 계열은 567~570 nm 였으며, *Y* 유전자는 가장 폭넓게 575~593nm 의 색파장에 관여하였다.

가시광선 스펙트럼 593~567 nm 범위에 7종의 파장을 기본으로 18종 이상의 고치색이 성립되며, 특히 575~584 nm 영역은 유색견 21 계통 중 78% 가 포함되었다. 따라서, 누에 고치색은 580 nm 를 중심으로 色彩識別關이 예민한 색파장 영역을 이용하기 때문에 최소한의 변화로 다양한 색이 발현되는 것으로 해석할 수 있었다. 중부견사선 외층세리신이 정상인 멧누에와 집누에 교잡종($+^Y +^C / Y^A Ymc$)은 고유의 멧누에고치(5Y9/4) 외에 황수산화색 (5Y8.5/8)이 분리되었다. YC 발현에서 Y 와 동일한 연관군 및 좌위 (2-25.6)인 Y^A , Y^D 등은 누에계통별 특이 인자가 관여한 결과로 추정되며, 이와같이 C^I , C^{SI} 도 C 와 동등한 유전자일 가능성이 제기되었다.

녹색견 관련 유전형질은 *Grc* 와 관계되는 2종의 청포도색, 독립유전 녹색견 *Gc* 와 유사한 백연두색, *Ga* 또는 *Gb* 와의 관련성이 추정되는 백합꽃색 등이 확인되었다. Pink 계×Yellow 계 고치색은 가법혼색의 경향을 보이고, Yellow 계의 “매우 진한 노랑” 고치 간의 교잡에서는 해바라기색이 우위로 발현되었다. 그러나, 유색견종 간의 F1 에서 고치색은 대체로 감법혼색과 유사하며, 교잡종 고치색은 양친의 평균과 비교하여 색파장은 단파장 쪽으로 이동하고 명도와 채도가 저하되는 경향을 나타내었다.

(3). 수용성 견 (SS) 및 특이 발육생리 유전형질 개발

일반적인 사육환경에서는 致死型 돌연변이 계통이라도 致死因子가 直接死因이 아닌 경우, 특별한 간호 및 물리화학 요법을 도입한 사육방식으로 致死型 돌연변이체가 생존할 수 있는 가능성이 제시된다. 이와같은 이론적 근거에 의하여 창안된 看護飼育法(Nurse Rearing)을 시도한 결과, 소위 치사형 돌연변이 계통으로 간주되는 일부 유전적 不眠蠶의 생존이 가능하였다. 또한, 간호사육법으로 확보된 자연돌연변이 계통으로서 수용성 고치를 짓는 누에형질은 “Water-Soluble Silk” 라는 의미에서 SS계통으로 命名하

였다. 이들 계통은 분광성을 응용한 순계분리 및 교잡육성 단계를 거쳐 일 본계 SSA 및 중국계 SSB 로 육성하였다.

SS계통은 누에가 섭취한 영양분이 체성장 위주로 분배되어 번데기 무게가 94% 이상이며, 고치는 얇고 열탕에 용해되는 성질을 나타낸다. 또한 SS 계통을 이용한 교잡종 SS×Bb 및 Ab×BS 의 단견중은 2.38g 및 3.04g 으로서 기존 장려품종 교잡종의 130% 이상 생산량이 증대되므로 다음과 같은 용도에서 개발가치를 지닌 것으로 전망되었다 : ① 체 성장 위주이며 누에고치가 얇기 때문에 동충하초 생산시 감염치사가 늦어질 경우 영 건 후 절건에 소요되는 노력을 절감할 수 있고, 의약품생산 및 재조합 유전 자 발현계용 실험곤충으로서 유리하다. ② 수용성 견단백질이 92.3% 이상 으로서, 첨단 신소재용 특수 고분자 견단백질 생산 및 이와 관련된 누에 신 품종 개발에 응용될 수 있을 것이다.

나. 원료견의 분광학적 특성 구명

(1). 특수 형광색 견의 물리화학적 특성

제사용 원료견의 분광성은 균일성이 요구되는 고급 견제품의 원자재 확보를 위하여 유리하며, 본 연구개발 과제 수행을 통하여 새로 개발된 특수 형광 누에계통은 균일화된 형광색 그 자체로서 고품질화에 유리한 요건을 부가하였다. 원료견의 분광학적 특성에 의한 형광색은 sericin 용해성과 직접적인 상관이 있으며, 유전적으로 균일한 형광색의 원료견을 생산할 수 있는 누에품종을 확보함으로써 고품질화에 절대적인 기술요건을 갖추게 되었다. 그러므로, 제사공정에서는 조사장력이 일정하여 조사능율이 향상되며, 견사 및 견직물에서 품질 저하를 초래하는 마디 얼룩 등 각종 요인을 해결 하는데 유리한 입지를 구축할 수 있을 것이다.

21d (21중)의 견사를 조사한 결과, 특수형광견사의 강신도는 4.5g/d, 21.6%로서 기존 국산견사의 4.3g/d, 21.8%에 비해 우수하였다. 섬도는 동등하며, 연화점 204~210°C, 용점 240~245°C 로서 물성에서도 형광색 원료견은 우수하였다. 완전히 정련한 황색형광견의 피브로인은 특이형광을 소실하므로 누에고치 형광물질은 세리신에 존재함을 알 수 있었다. 황색형광견은 세리신의 정련 여부가 쉽게 판별되고 형질이 균일하여 실크고분자 구조 연구용 재료로서 유용하였다. 원료견의 염색가공에 관련된 특성의 분광학적 연구로서 tyrosine 잔기의 거동을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

[1-¹³C]-Tyr 및 ¹⁵N-Tyr 부분의 고체 NMR배향 시료의 스펙트라 시뮬레이션의 결과로 부터 정련 실크 피브로인의 경우 54°의 배향을 나타내었다. 미정련 견사로 부터는 세리신 내의 Tyr 으로 인정되는 부분이 40% 존재하고 섬유축을 중심으로 23°의 낮은 배향의 분포를 하고 있었다. 따라서, Tyr 잔기는 어느정도의 집합체 상태를 이루나, 무정형에 가까운 형태로 확인되었다. Orange II가 견 피브로인 내에 존재하는 Tyr 잔기의 거동은 수소이온 농도가 알칼리 측으로 갈수록 Tyr 에 존재하는 OH 그룹의 탈 수소화가 일어나기 쉬워져서, pH 10부터 급격한 변화를 보였다. 이것은 알칼리 측의 pH 영역이 될수록 Tyr 잔기의 O⁻구름과 Orange II 분자의 SO₃⁻간의 정전기적 반발에 의하여 탈 수소화가 일어난 결과로 해석되었다.

(2). 수용성 견 “SS견소재”의 분광학적 특성

수용성 견소재 SS (Water-Soluble Silk), 일반 견형질 NN, SS와 NN 간의 F1 고치를 SN으로 설정하고, 유전자 조합에 따른 견단백질의 물리화학을 구명하였고, 적외선분광분석(FT-IR), 시차주사열량측정(DSC), 아미노산 분석 등을 이용하였다. SS견은 FT-IR 분석에서 1,200cm⁻¹의 Amid III 흡수대가 random coil 부분과 β 구조의 존재를 반영하므로 피브로인이 인정되며, 결정화도는 세리신의 30% 보다 많은 40%로 산출되었다. SS견

은 “세리신견”과 동일한 제14 염색체의 *Nd-s* 유전자 발현에 의한 것으로서 피브로인의 존재가 확인되었다. 그러므로 “세리신잠” 또는 “세리신견”이란 표현은 논리상 맞지 않으며, “수용성견” 또는 “SS견”으로 부르는 것이 바람직하다.

DSC 에서 NN 견의 피브로인은 β -configuration 의 파괴에 의한 흡열 피크가 74℃ 부근에 존재하지만, SS 견은 34℃ 및 84℃에서 2회 관찰되었다. 그리고, β -configuration 을 형성하지 않는 것으로 알려진 세리신에서도 I~IV 의 결정구조를 반영하는 특성이 인정되지만, 흡열피크는 피브로인 보다 훨씬 낮은 48℃로서 SS 견과 명확한 차이를 보였다. 특히 SS 견의 유리전이점 (transition temp. ; TG)은 110℃로서 피브로인 보다도 10℃ 이상 열적 성질이 강하였다. 한편, 고온 영역에서 관찰되는 흡열 피크는 SS 견은 피브로인을 함유하는 동시에 세리신 보다 α -helix 구조를 더 많이 지니고 있음을 재확인 할 수 있었다.

(3) 황견잠 및 특수 견소재의 성분 분석

黃金蠶 (LY×RY)의 원소분석 결과, 일반 백색견 장려잠품종에 비하여 무기염류 함량이 풍부하였으며, Mg 1,424ppm (108%), Ca 544 ppm (118%), Cu 698 ppm (161%), Fe 1.7 ppm (243%) 였다. 아미노산 함량도 일반 누에잠품종에 비하여 월등하게 우수하였으며, lysine 이 5.9%로서 4.1배, histidine 은 4.6%로서 1.3배 였다.

SS견의 아미노산 분석 결과, 피브로인은 결정부분에 관여하는 것으로 보이는 glycine, alanine, serine 이 85% 이상을 차지하며, glycine 42.9%, alanine 30.0%, serine 12.2% 였다. 그리고 세리신은 glycine 13.5%, alanine 5.6%, serine 33.4% 였다. 한편, SS 견은 glycine 41.9%, alanine 4.4%, serine 8.8% 로서, glycine 함량이 많고 serine 이 적은 것

은 피브로인과 유사하지만, aspartic acid 가 비교적 많고 alanine 함량이 적은 점은 세리신과도 닮은 중간적 특성을 나타내었다.

다. 특수잠품종 대량육 실증시험

(1). 선발계통 누에 대량육 및 형질 발현 검정

새로 육성한 청색형광견 누에계통의 보급기술 확립을 위한 대량사육 실증시험 결과, 새로 육성한 누에계통의 형광색 형질은 재현성이 확인되었다. 그리고, 교잡종의 부화율 96% 이상, 사육기간 22~24일, 화용비율 92~97%, 단견중 2.2 g 이상, 견충비율 23%, 산란수 600 개 이상으로 기존 장려품종 보다 우수하였다.

일반 백색견 누에품종인 칠보잠의 단견중이 2.19g, “R황”은 1.21g 이었으나, 새로 개발된 품종인 “黄金蠶”(LY×RY) 은 단견중이 “R황” 의 222%, 칠보잠의 123% 이상을 기록하였다. 새로운 특수 유전자 발굴을 위한 멧누에 계량형질의 개발은 고유의 황색견 형질을 개선하는 동시에 보급용으로 육성한 신품종은 강건성이 우수하며 금후 개량 육성할 가치를 인정할 수 있었다. 또한, 야생 멧누에 채집종의 단견중은 0.66g 이었으나, 사육계통에서는 1.44g 으로서 218% 이상 증가하였고, 교잡육성 결과 멧누에의 유색견 형질을 개선함과 동시에 단견중은 1.7 g 이상으로서 258% 수준으로 향상되었다.

특수형질 개발과 관련된 멧누에와 집누에 품종 간의 교잡시험에서 누에 고치 형질은 모계가 멧누에인 경우(멧누에×집누에의), 집누에 원종 Bc08, Cj19, Ij25, Jc26 간의 교잡종이 우수하고, Aj07, Dc20, Gj13, Hc14 간의 교잡종은 열등하였다. 한편, 집누에 모계(집누에×멧누에) 에서는 Bc108, Dc20, Ij25, Jc26 간의 교잡종이 우수하고, Aj07, Cj19, Gj13, Hc14 간의

교잡종은 열등하였다. 따라서 정역교잡 모두 고치형질이 양호한 집누에 계통은 Bc108, Ij25, Jc26 였고, 모계는 집누에가 멧누에인 경우보다 더 유리하며, 일반적으로 중국종 간의 교잡효과가 더 우수하였다.

황색견 신품종 “**蚘企蠶**” 등 본 연구에서 수립된 유색견 누에품종은 기능성 천연 색소물질을 특이적으로 흡수 농축하고 고단백질을 생합성하여 다량 함유하게 된다. 따라서, 본 기술은 양잠농가에 보급한다면, 최근 관심을 모으고 있는 식용누에 생산은 물론 동충하초 증식용 대체숙주로 이용할 경우에도 새로운 부가가치를 창조할 수 있다. 따라서 국내 양잠농가는 판로를 침해받지 아니하고 외래산 보다 품질이 월등한 고품질 잠특산물 생산으로 양잠 수익성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 전망된다.

특히 SS 누에계통의 특이적 영양분배형을 이용한 교잡종 SS×Bb 및 Ab×BS 는 번데기 2.86g 단견중 3.04g 으로서, 번데기 236%, 단견중은 245% 정도가 증대되었다. 그러므로 동충하초 생산에 이용할 경우 생산성의 증대를 기하는 동시에 동충하초균에 의해 영건 후 치사하는 경우 고치를 절개하여 감염누에를 분리하는 노력이 절감된다. 그리고, SS 계통과 특수 견형질 W 간의 교잡육성에 의한 SS×BW 계통은 그 가능성을 더욱 증대시킬 수 있을 것이다. 그리고, 혈액산화지연 돌연변이 누에계통을 도입한 EAb 및 Ebb의 선발로 교잡종 EA×EB 품종을 육성하거나 SEA×SEB의 개발에도 응용될 수 있다. 이와같은 누에계통 확립은 첨단 생물공학 실험용 곤충세포 배양액 생산기술 및 유용물질 생산을 위한 대체숙주용 곤충 개발을 위하여 다양한 용도로 활용될 것이다.

(2). 사육 관리기술 개선 및 특수 형광색 견사 제조

특수형광견사는 고급 원료견 생산을 위한 기술보급상 유리한 것으로 판단되었으며, 일부 계통은 대량사육하여 21종의 생사 시제품을 제조한 결과 청색형광이 발현되었으며, 그 일부를 물리화학적 시험용으로 제공하였다.

한편, 우량 무독잡종 생산 및 보급체계 확립을 위하여는 미립자병의 경란전 달 예방을 위하여, 모아검사법 및 예지검사와 보정검사 방법의 개선을 시도하였다. 그 결과, 원심분리기의 사용과 기타 검사과정을 생략하면서도 검사 효율을 개선함과 동시에 경비를 절감하면서 유해한 화학약품의 사용을 최소화 할 수 있는 환경 친화적 기술의 유용성을 입증하였다.

또한, 동충하초 배양, 누에를 이용한 기능성 신물질 생산 등 다양화 하는 양잠의 목적에 적합한 사육방식으로서 플라스틱 상자육을 개량하였다. 따라서, 누에생리에 이로우면서도 사용하기에 불편하여 사라져버린 재래식 나무상자육의 장점과, 가볍고 취급이 간편한 플라스틱상자육의 장점을 결합한 새로운 기술체계를 확립하였다. 그리고, 사육상자 내부는 습도만 조절하며 사육상자 외부의 사육실 습도는 별도로 항상 건조하게 조절하는 2원적 환경제어는 쾌적한 작업환경을 제공하였다. 또한, 누에의 탈피 후 건조작업 시 상자외부의 환경에 누엣자리를 노출시키므로써 신속히 누엣자리를 건조할 수 있어 질환의 예방과 발육상태의 조절 등 사육환경 제어에 유리함을 입증하였다.

2. 연구성과 활용에 대한 건의

가. 연구성과 활용방안

(1). 연구성과의 양잠현장 보급

① 무기염류와 아미노산 함량 및 생산성이 우수한 신품종 “황금잠”을 양잠 농가에 시험 보급할 계획이며, 협동연구기관 (경상북도 농업기술원 잠사곤충사업소)에서 1999년도 경상과제로서 추진하기 위한 신규 사업계획을 확정 하였음. 또한, 체성분 조성이 우수한 “황금잠”에서 생산되는 동충하초는 일반 누에의 경우보다 특수 고급화에 유리할 것이므로 새로운 대체숙주로써 활용가치를 시험하는 방안도 바람직할 것으로 판단됨.

② 특수형광색 견소재용 누에품종은 잠종을 북한에 공급하고, 북한에서 생산된 원료견으로 남한에서 가공 제품화하는 남북한 임가공 교역에 도입하는 방안. 북한은 우리가 개발한 누에품종으로 품질이 우수한 원료견을 생산하여 수익성을 높이고, 고급 원료견을 남쪽에서 가공하여 수출하므로써 더욱 큰 부가가치를 기대할 수 있다. 남북한의 외화획득 및 산업 경제 교류 활성화에 기여할 수 있을 것으로 전망되는 본 활용방안이 성사되기 위하여는 정부 차원의 정책적 지원이 전제되어야 한다.

③ 가용성 견단백질 생산을 위한 SS 계통 누에품종은 특수 실크 고분자 연구용 신소재 생산에 이용하는 동시에, 체성장 위주의 유전형질을 이용하여 체구가 큰 누에 (super silkworm)를 만들 수 있다. 특히, 단견중 3.04g 이상인 Ab×BS 누에를 응용하여 SS 계통과 새로운 특수형질 W 간의 교잡육성에 의한 Ab×BWS 계통은 그 가능성을 더욱 증대시킬 수 있다. 또한, 혈액 산화지연 돌연변이 누에계통을 도입한 EAb 및 EAb의 선발로 교잡종 EA×EB 품종을 육성하거나 SEA×SEB 의 개발에도 응용될 수 있

다. 이와같은 누에계통 확립은 첨단 생물공학 실험용 곤충 세포배양액의 생산성 증대 및 새로운 유용물질 생산을 위한 bioreactor 용 곤충 개발 등 다양한 용도로 활용될 수 있다.

(2). 새로 개발한 누에품종의 보존 및 관리

① 새로 개발된 특수 누에품종의 보존을 위하여 연구사업 종료 후에도 매년 2회 정도의 사육이 불가피하며, 자연재해나 사고 위험을 감안하여 최소한 2개소의 보존기관 선정이 필요함. 본 품종은 국내외 전문가들에게 생소한 계통이므로, 그 성상을 정확히 파악하고 있고, 관리능력이 있는 주관연구기관 (경북대학) 및 협동연구기관 (경상북도 농업기술원 잠사곤충사업장)이 보존기관으로 지정하는 방안이 바람직함.

② 본 과제를 통하여 수립된 신품종의 보존 및 현장보급을 위한 사업 추진을 경상과제로 시행함에 있어 행정 및 재정적인 사후지원이 필요하며, 당분간 본 사업 수행에 필요한 경비는 기존시설 및 장비활용을 전제로 연간 1,000만원 정도의 예산 지원이 필요함 (실 소요액의 50%상당).

③ 보급용을 제외한 계통보존용 신품종 누에의 계대사육 내역 : 24계통×4반복×2개소=192 구 사육 [청색형광견 및 황색형광견 8계통, 가용성 견소재 SSA 및 SSB 2계통, 특이 영양분배형 슈퍼 번데기 품종 2계통, 유색견원종 및 교잡종 10계통, 멧누에 황색견 육성종 2계통 / 사육량은 구당 300두 이상].

(3). 새로 개발한 기술의 응용 및 실용화 대책

지금까지 실크 가공분야 제조업에서는 고급품인 실크 고유의 특성에 맞지않게 값이 싼 제품을 몰량위주로 생산하는 전략에 치중하였으므로 인건비 등 생산비 상승에 따른 경쟁력 상실로 국내 원료견 생산기반의 붕괴를 초래하였다. 그 결과 비싼 국산 고치는 살 수 없고, 값싼 수입원료견을 확보하지 못하여 제사공장이 가동될 수 없는 위기를 자초하였으나, 특수형광색 원

료건의 생산으로 품질경쟁에서 일본을 능가할 수 있는 국내기술이 확보되었다. 새로 개발된 품종은 세리신 용해도가 균일하여 纈絲능율이 향상될 뿐 아니라, 실마디 얼룩 등 품질 저하를 야기하는 각종 요인을 감소할 것이므로 품질 경쟁에서 유리한 입지가 보장된다. 따라서, 이제부터라도 제사업체에서는 품질경쟁에 도전하여 고품질의 국산 원료건을 이용하면서 고급화 전략으로 전환해야 원료건을 생산하는 양잠은 물론 실크 분야의 제조업도 대외 경쟁력 우위를 확보할 수 있을 것이다.

그러나, 단기적으로 고급 제사원료건의 수요가 증가하지 않을 경우라도 최소 규모의 양잠기반은 유지되어야 할 것이므로, 이를 위하여는 특수 식용누에의 보급이 잠정적으로 양잠농가의 수익성을 보장하게 될 것이므로, 어떤 형태로든 양잠은 그 기반을 완전히 상실하는 위기는 피할 수 있다. 또한, 단순 식용누에의 획일적인 과잉생산을 방지하기 위하여, 천연색소함유 슈퍼누에 등에 한정되지 않고 이를 동충하초 생산에 도입하는 등의 다양화를 추구하는 것도 바람직한 방안일 것이다.

나. 현재까지 본 과제와 관련된 연구성과 발표실적

(1). 국내외 전문학술지 발표

- ① 한명세 (1996) *Nosema bombycis*의 母體傳染에 관한 卵面 및 卵內 經路 檢定. 韓國蠶絲學會誌 38 (1) : 48-52.
- ② 한명세 (1997) 누에고치의 分光性에 관한 系統別 變異 및 限性的 발 현. 韓國蠶絲學會誌 39 (1) : 22-29.
- ③ Nguyen,M.T., Lim,J.S., Han,M.S. (1997) Improvement of predictive and corrective inspection methods to control *Nosema bombycis* infection in the silkworm, *Bombyx mori*. Korean Journal of Sericultural Science, 39(2) : 146-153.
- ④ Han,M.S., Nguyen,M.T., Lim,J.S. (1997) Establishment of simplistic moth inspection system tp prevent *Nosema bombycis* infection of the silkworm, *Bombyx mori*. Korean Journal of Sericultural Science, 39(2) : 154-160.
- ⑤ 여주홍, 이인전, 한명세 (1997) 황색형광견 중 Tyrosine 잔기 거동의 분광학적 분석. 韓國蠶絲學會誌 39 (2) : 169-173.
- ⑥ 한명세, 임종성 (1997) 생태친화적 사육환경 제어방식 확립을 위한 누에 핵다각체병 발생요인 분석. 경북대농학지 15 : 55-67.
- ⑥ 한명세 (1998) 병리분야의 학술적 기반 축적과 발전방향 : 잠사과학기술의 개발현황과 금후 발전방향. 한국잠사학회지 40 : 191-202.

(2). 학술회의 발표

- ① 1995. 4. 7. 치사형 돌연변이 집누에게통의 Nurse Rearing 과 유용형 질 개발. / 한국잠사학회 춘계학술발표요지 : p 14. [경북대학교 농과대학]
- ② 1997. 5.13. 고기능성 특용작물의 연구개발 방향. / 잠업특작 산업 활성화 대책 세미나 요지 [경상북도 · 상주산업대학교] : pp 53-74 [상주산업대학교]
- ③ 1997.10. 2. 한성형광색 누에고치 및 특수형광 건조재 개발. / 한국잠사학회 창립 40주년 기념 학술발표회 요지 : p 186. [서울대학교 농업생명과학대학]
- ④ 1997.10. 2. 간호사육법의 응용과 치사형 돌연변이 누에의 유용형질 분리. / 한국잠사학회 창립 40주년 기념 학술발표회 요지 : p 210. [서울대학교 농업생명과학대학]
- ⑤ 1997.10. 2. 미립자병 예방을 위한 간이 병독검사 기술체계 확립. / 한국잠사학회 창립 40주년 기념 학술발표회 요지 : p 210. [서울대학교 농업생명과학대학]
- ⑥ 1998.10. 9. 색이론을 도입한 누에 고치색 유전형질 발현 검정. / 한국잠사학회 추계학술연구발표자료 : p 29. [농업과학기술원 잠사곤충부]
- ⑦ 1998.10. 9. 병리분야의 학술적 기반 축적과 발전방향 : 잠사과학기술의 개발현황과 금후 발전방향 / 한국잠사학회 추계학술연구발표자료 : pp 9-11 [농업과학기술원 잠사곤충부]

(3). 세미나 및 강연

- | | | | |
|---|------------|-------------------------|------------------|
| ① | '96. 2. 5. | '96 잠업기술교육 : 양잠농가 | 경상북도 |
| ② | '96. 2. 9. | '96 잠업기술교육 : 양잠농가 | 경상북도 |
| ③ | '96. 2.26. | '96 잠업기술교육 : 공무원반 | 경상북도 |
| ④ | '97. 2.25. | '97 잠업기술교육 : 공무원반 | 경상북도 |
| ⑤ | '97. 3. 3. | '97 잠업기술교육 : 양잠농가 | 경상북도 |
| ⑥ | '97. 3. 7. | '97 잠업기술교육 : 양잠농가 | 경상북도 |
| ⑦ | '97. 5.13. | '97 풍잠제 및 산업 활성화 대책 세미나 | 경상북도 /
상주산업대학 |
| ⑧ | '98. 2.16. | '98 잠업기술교육 : 공무원반 | 경상북도 |
| ⑨ | '98. 2.23. | '98 잠업기술교육 : 양잠농가 | 경상북도 |
| ⑩ | '98. 2.27. | '98 잠업기술교육 : 양잠농가 | 경상북도 |
| ⑪ | '98. 3-6월. | 유용곤충 개발 기술지도 | 경상북도잠사
곤충사업장 |
| ⑫ | '98. 9.10. | 대학원 특강 (농생물학과) | 안동대학 |

SUMMARY

I. Title

Development of Spectroscopic Feature for High Grade Silk Resources

II. Objectives and Scope

1. Investigation of genetic character of the silkworm for high grade silk resources or specific use.
 - (1). Breeding of silkworms for specific fluorescent cocoon.
 - (2). Establishment of silkworm races for specific cocoon color.
 - (3). Development of genetic characters for water soluble silk.
2. Spectroscopic analysis and characterization for processing and development of high grade silk products.
 - (1). Spectroscopic analysis of fluorescent silk resources.
 - (2). Spectroscopic analysis of water soluble silk resources.
 - (3). Analysis of the specific silk products and silkworms.
3. Demonstration of silkworm rearing and specific silk production.
 - (1). Assay of economic character for specific silkworm strains.
 - (2). Revision and improvement of silkworm rearing technology.

III. The Results and Application

1. Discovery of Genetic Resources for Specific Use.

(1). Genetic character of cocoon fluorescence.

The new silkworm strains were bred for the production of blue fluorescent cocoons, 4 of those were Japanese races (Ab, Cb, Gb, Ib), and of 4 were Chinese races (Bb, Db, Hb, Jb). For the case of yellow fluorescent cocoon production, 3 of Japanese races (Ay, Cy, Gy) and 2 of Chinese races (Dy, Jy) were bred.

The cocoons with blue fluorescence occupied as high as 1.7 to 8.6 times than those with yellow in the Japanese silkworm races. While the Japanese races revealed no sexual difference in fluorescent color, sex-dependence of the color was common in the Chinese races for commercial white cocoon. The fluorescence of cocoon shell of Chinese races showed clear separation of blue female by contrast with yellow male, however, fewer strain segregative with broad borderline of median color.

Silkworm strain of Dc20 and Fc24 were sexually segregated $98.8 \pm 1.20\%$, $99.0 \pm 1.00\%$ by cocoon fluorescence, as high as that of $99.3 \pm 0.44\%$ by typical larval marking of sex-limited inheritance. Specific expression of cocoon fluorescence, applicable to breeding or simple discrimination of sex for Chinese races, inspected thoroughly on the surface and inner layer of cocoon shell.

(2). Genetic expression of natural cocoon color.

Color qualities investigated on the basis of Munsell code and Korean standard color code for the cocoons from various strain of mulberry silkworm, *Bombyx mori*. 16 of different color qualities were identified from 21 of original silworm strains, and determined international name with the revision of Korean color name for cocoon. The various cocoon color confirmed on the sphere from 567 to 593 nm wavelength, 78% of those located at the region about 580 nm (575~584) of sensitive "color difference limen".

Y gene engaged broad ranges of weavelength (575~593nm) in the color expression, by contrast with other genes of *Pk* (593nm), *F* (584-593), *Grc* and relative *G* group (567~570nm), on the transmission of carotenoid or flavonoid color substance. *YC* gene expression was distinguished by those variation of specific yellow than other colors of *Grc*, *GaGb*, *Gc*, and *YPkF*. Expression of chrome yellow was dominant than other yellow among vivid yellow group. F1 of pink×green produced yellow as the effect of "additive mixture" as color light, however, most of the hybrid between yellow cocoon showed the color near to "subtractive mixture" as a mixture of dyestuff. Hybrid cocoons among yellow or green colors were decreased their hue, value, and chroma, than those of parent.

Diallel cross among the strain of various green cocoon suggest the existence of *Grc*, *Ga*, *Gb*, *Gc* genes. Cream colored cocoon of *B. mandarina* was differed from other yellow cocoon of *Bobyx mori* *B. mori*. Y^A with *Ymc* showed the similar role of *Y* with *C*,

therefore, segregated yellow cocoon from the *B. mori* × *B. mandarina* ($+Y^C/Y^A Ymc$). *YC* expression of $Y^A Ymc$ genes might be suppressed by deficiency of outer layer sericin on the middle division of silk gland in the *B. mandarina*.

(3). Genetic resources of water soluble silk.

Specific silkworm character of SS, which control the production of water soluble silk was isolated from a silkworm with lethal character. The method of “Nurse Rearing” provides a special care with surgical operation of artificial molting for the subsistence of weak mutant silkworms.

Few of genetically abnormal strains were survived by “nurse rearing” when the general death was not originated by direct cause. A new genetic character of “SS” was isolated from the silkworm strains knowned as a lethal character. The character SS, stands for water soluble silk, and therefor the cocoon could be dissolved as much as 92.3% after boiling or autoclaving in water.

Silkworms with SS character utilize their nutrient mainly for the body growth, and could be introduced for the breeding of giant silkworms by crossing with Ab and Bb strains. The weight of single cocoon was as much as 148% and of pupal body was 183%, as compared with 2.05g of single cocoon weight and 1.56g of pupal weight in the comercial silkworm hybrid of white cocoon A × B.

2. Spectroscopic Analysis and Characterization.

(1). Spectroscopy of fluorescent silk resources.

Ultraviolet weavelength (UV) of 366 nm produced clearer fluorescent color than that of 254 nm for the inspection of silkworm cocoons. Fluorescence of silkworm cocoons varied in color, appears no relationship with the natural color under the normal light. Uniformity of fluorescent color was improved by selection of blue or yellow line from wild types. The yellow and blue fluorescence of silkworm cocoon were not affected by forced flow dry at 70 °C for 6 hrs. Blue and yellow, located at the opposite poles on the color solid and L*a*b* color system, confirmed as pure standard of fluorescent color in the silkworm races for commercial white cocoons.

The strength and elongation of blue fluorescent raw silk was 4.5 g/d and 21.57%, which was better than those of general raw silk estimated as 4.3 g/d and 21.77%. Softening temperature of the blue fluorescent and general raw silk were 200~205°C and 204~210°C respectively. Melting point of blue fluorescent raw silk was 240~245°C, and those of general raw silk was 235~240°C. Therefore, blue fluorescent raw silk was superior than conventional silk resources on their physical properties.

The behavior of tyrosine(Tyr) residue analysis of *Bombyx mori* silk fiber from yellow fluorescent cocoon has been examined to the dependence of pH in aqueous silk solution in the presence of Orange

II salt. Through peak separation of angular dependence of spectral pattern of ^{15}N -Tyr and $[1-^{13}\text{C}]$ -Tyr between the fiber axis and the molecular bond direction, N-H bond in *B. mori* silk fiber as well as the orientation distribution around the silk fibroin fiber axis were analyzed, and sericin component were also obtained from these angular dependence of oriented spectral pattern.

The pH dependence of the ^{13}C NMR (Nuclear Magnetic Resonance) chemical shift of *B. mori* silk fibroin was examined in aqueous solution in the presence of Orange II hydrophobic interaction such as stacking between the Tyr-ring and the Orange II. All peaks of Orange II are broad at $\text{pH} \geq 7.0$. However, these become sharper at $\text{pH} \geq 8.0$ and remain sharp at higher pH. In these higher pH range, a chemical shift change due to deprotonation of the Tyr side group of fibroin occurs. At higher pH, such a hydrophobic cluster is destroyed because of the electrostatic interaction according to the deprotonation of the Tyr-OH group.

(2). Spectroscopy of water soluble silk.

Water soluble silk (SS), normal silk (NN), the hybrid of two character (SN), were investigated by the methods of spectroscopic analysis. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) showed the existence of β structure and random coil by the absorption band of Amid III at the region of $1,200\text{cm}^{-1}$. SS silk protein, considered as a kind of sericin, was confirmed as fibroin. The

degree of crystallinity was calculated as 40% in SS silk, which was higher than those of 30% in sericin.

Differential Scanning Calorimetry (DSC) provided the peak of thermal absorption following degradation of β -configuration at 34°C and 84°C for SS silk, while at 74°C for the fibroin of NN silk. Sericin also appears the evidence of crystalline structure I~IV, however, the peak of thermal absorption at 48°C was lower than that of fibroin, and clearly different from the case of SS silk. The transition temperature (TG) of SS silk was 110°C, which was stronger than fibroin by the difference of 10°C. Thermal absorption at high temperature region reconfirmed that SS silk contained fibroin, and the more amount of α -helix structure, as compared with sericin.

(3). Analysis of the specific silk products.

The hybrid silkworm of LY×RY with produce yellow cocoon was named as “Gold” (Whang Geum by Korean name), and rich in minerals when the larvae of the 6th day at fifth instar prepared for food. The major inorganic component compared with general white cocoon (%), were Mg 1,424ppm (108%), Ca 544 ppm (118%), Cu 698 ppm (161%), Fe 1.7 ppm (243%). Amino acid composition of the silkworm of “Gold” was also specific, and estimated as 4.1 times of lysine (5.9%), 1.3 times of histidine (4.6%) than general silkworm for white cocoon.

SS silk consists the major amino acids, glycine 41.9%, alanine 4.4%, serine 8.8%, aspartic acid 14.9%, and therefore comparative to the both of sericin or fibroin. On the other hand, amino acid component of fibroin was glycine 42.9%, alanine 30.0%, serine 12.2%, aspartic acid 1.9%, those of sericin was glycine 13.5%, alanine 5.6%, serine 33.4%, aspartic acid 16.7%. SS silk was identified the amino acid component as unique intermediate type of fibroin and sericin.

3. Demonstration of Specific Silkworm Rearing.

(1) Economic character of silkworm strains.

The cocoon character of blue or yellow fluorescence were reconfirmed by large scale rearing of the newly bred silkworm strain. Silkworm varieties of specific cocoon fluorescent were confirmed 96% hatching, 92~97% pupation, 22~24 days of larval period, and recorded 2.19g of single cocoon, 23% cocoon shell weight. While the new strain of "Gold" (Whang Geum) appears 2.69g of single cocoon weight, as high as 223% of original wild type of R-Whang, and 123% of the commercial white cocoon. Comparatively, the commercial hybrid in general white cocoon (Aj07 × Bc08) was 2.19g, typical yellow cocoon strain of "R-whang" was 1.21g as single cocoon weight. The high content of minerals, good

composition of amino acid, and the big larval body are of great advantage for high value-added production.

Introduction of SS and Ab character for the giant silkworm, single cocoon weight was 3.04g (245%), and pupal weight of 2.8g (236%) in the Ab×BS. The giant silkworm of Ab×BS might be useful host for the high yield culture of *Cordyceps sinensis*. SS silkworm strain could be used for SS×BW as another hybrid for the yield. In addition, SS could be applicative on the mutant silkworm with retardation of hemolymph oxidation, SEA×SEB combination might be useful on the production of culture medium for insect cells and tissues.

The single cocoon weight 0.66g(100%) of wild silkworm (*Bombyx mori mandarina*), collected from field condition, was increase up to 1.44g(218%) when reared in laboratory condition. The single cocoon weight increase as high as 1.7g(258%), at the same time, the color quality also improved from pale yellow to brilliant yellow. Heterosis between *Bombyx mori mori* (*B. mori*) and *Bombyx mori mandarina* (*B. mandarina*) was different by the combination of *B. mandarina*×*B. mori* and *B. mori*×*B. mandarina*.

(2) Improvement of sericultural technology.

Raw silk, reeled the specific fluorescent coon, was proved by uniformity of blue fluorescence, which was quite different from those of irregular fluorescence produced by routine method.

The advantage of old style wooden box was revived as well as reform handiness by using modern plastic box, when cover the bottom of the box with wet paper sheet. Paper for sheet reused by deposited news paper, and get wet of downward before use, the paper sheet also replaced at the beginning of each stage for young larvae. Humidity was controlled independently, inside of rearing box adjust for silkworm rearing condition, while the outside of rearing box make dry for labors.

From the review of theoretical basis of moth inspection system to prevent epidemic disease by *Nosema bombycis* infection, 7×10^8 spores producible per female moth. Mass inspection unit, conditioned 35 to 40 moths for a lot, enabled the preparation of crude homogenate with 2% KOH, even the step of centrifuge was omitted. The results suggested a new basis of rational mass inspection system of silkworm female moths to save the facilities, labor, and time.

CONTENTS

Summary	2
Chapter 1. Introduction	35
1-1. Objectives and necessity	35
1-2. Contents and scope	40
Chapter 2. Discovery of genetic resource for specific use	42
2-1. Introduction	42
2-2. Genetic character of cocoon fluorescence	43
2-3. Genetic expression of natural cocoon color	56
2-4. Genetic resources of water soluble silk	74
2-5. conclusion	84
Chapter 3. Spectroscopic analysis and characterization	89
3-1. Introduction	89
3-2. Spectroscopy of fluorescent silk resources	91
3-3. Spectroscopy of water soluble silk	109
3-4. Analysis of silkworms and silk products	123
3-5. conclusion	131
Chapter 4. Demonstration of specific silkworm rearing	134
4-1. Introduction	134
4-2. Production of high quality silkworm cocoon	136
4-3. Economic character of <i>Nd-s</i> silkworm gene	145
4-4. Application of natural cocoon color	153
4-5. Conclusion	160
General conclusion	169
References	181

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
영 문 초 록	22
목 차	33
제 1 장 서 론	35
제1절 연구개발의 목적 및 필요성	35
1. 연구개발의 목적	35
2. 연구개발의 필요성	37
제2절 연구개발 내용 및 범위	40
1. 연구과제의 성격과 연구대상 및 접근방식	40
2. 세부과제별 연구항목과 기술개발 내용	41
제 2 장 고급 특수견용 유전자원 개발	42
제1절 서 론	42
제2절 특수분광성 원료견 생산용 누에품종 육성	43
1. 누에고치 형광색의 특성과 계통별 변이	44
2. 청색형광 및 황색형광견 누에품종 개발	47
3. 한성유전 형광색 고치 누에계통 선발	49
제3절 색고치 유전자 발현 검정과 우량계통 수립	56
1. 누에 고치색의 분류 및 표준 색이름 결정	57
2. 특이 색파장과 고치색 유전자 간의 관계	60
3. 고치색 발현과 유전자 간의 상호작용 해명	66
4. 천연색소 함유 실크 및 식용누에 품종	70
제4절 수용성 누에고치와 <i>Nd-s</i> 유전자원 개발	74
1. <i>Nd-s</i> 유전자와 <i>Nd</i> 및 <i>SS</i> 형질의 속성	76
2. <i>Nd</i> 및 <i>SS</i> 변이계통 누에의 간호사육론	78
3. <i>Nd-s</i> 계 슈퍼누에의 계보와 연관군 검색	81
제5절 결 론	84

제 3 장	특수 견소재의 분광학적 구명	89
제1절	서 론	89
제2절	특수 형광색 견소재의 분광학적 특성	91
1.	특수 형광색 견사의 물리 화학적 성질	91
2.	Tyr 거동과 실크 고분자의 구조 해석	99
3.	Orange II 염료 및 황변과 Tyr간의 상관	105
제3절	수용성 견소재 “SS”의 분광학적 특성	109
1.	Nd-s계 수용성견(SS)의 FT-IR 분석	111
2.	Nd-s계 수용성견(SS)의 DSC 측정	115
3.	SS잠의 유전자형과 SS견의 DSC 분석	117
제4절	황견잠 및 특수 견소재의 성분 분석	123
1.	SS견의 아미노산 조성과 물리적 성질	123
2.	황색견 누에의 원소 및 아미노산 분석	126
제5절	결 론	131
제 4 장	특수 잠품종 대량육 실증시험	134
제1절	서 론	134
제2절	특수 형광견 잠품종 대량육 실증시험	136
1.	특수 형광견 신품종 누에의 대량사육	136
2.	특수 형광색 형질 검정 및 견사 제조	141
제3절	Nd-s계 특수형질 검정 및 대량육 시험	145
1.	Nd-s 누에계통 증식 및 사육법 개선	145
2.	Nd-s계 수용성견(SS)의 생산성 검정	149
제4절	천연색소 함유 누에계통 실증사육 시험	153
1.	유색견 형질 개발론 및 신품종 시험	153
2.	맷누에 계통의 대량육과 생산성 검정	157
제5절	결 론	160
총 합 결 론		169
인 용 문 헌		181

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 과제는 고급 견소재 개발을 위한 원료건의 분광학적 특성에 관한 연구로서, 견소재 또는 양잠 산물의 고급 특수화 관련된 유전자원의 발굴과 생물신소재 생산 및 실용화 기술 개발이 목적이며, 특수 유전형질을 이용한 신물질 생산기술은 양잠현장의 기술적 애로사항 해결과 수익성 증대에 기여할 것이다. 누에고치 및 기타 견소재는 1차적으로 분광성에 근거한 형광색을 조사하였고, 2차적으로 물리화학적 성상의 정밀조사에서도 분광학적 분석법 위주로 NMR, FT-IR, DSC, 원소 및 아미노산 분석 등을 수행하였다. 그러므로 본 과제의 성격은 방법론적으로 “분광학적 연구”로 특징지을 수 있으며, 연구대상인 “원료건”의 범주는 목적과 수단이 고도의 다양화 추세에 있는 현대 양잠농가에서 생산하는 제사원료건 잠체성분 기타 견소재를 포함하는 것으로 규정한다.

양잠에서 생산되는 견소재는 원료건의 1차생산에 끝나지 않고, 견사 생산과 견직 등의 단계를 거치면서 고도의 부가가치를 추구할 수 있다. 그러므로, 고급 원료건 생산은 전통 농업의 주요작목 중의 하나인 양잠의 대외 경쟁력 강화에 유리할 뿐 아니라, 이와 관련된 잠사 견업 등 제조업 전반의 활성화에 크게 기여할 수 있다. 그러나, 최근 농산물 수입 개방과 노임 상

승으로 우리나라 양잠은 생산기반이 악화 일로에 있으며, 잠사 견업 전반의 경쟁력 강화를 위하여 기술개발이 시급히 요구되고 있다.

이와같은 현실적 문제의 해결을 위한 기술개발 과제로서 추진된 본 연구의 핵심은 “원천기술 개발을 위한 원료건의 고급 및 특수화”이다. 먼저, 견사 제조용 원료건의 고급 특수화로서, 양잠농가의 낮은 수익성을 개선하고, 품질이 낮은 수입원료건에 의존하므로써 제사 및 견직분야에서 야기된 고품질화 전략의 취약점이 보완될 수 있다. 그 다음, 絲繭養蠶에 한정되었던 종래의 생산기술을 초월하여, 식용 및 특수용도 또는 기타 첨단 신소재용 원료건의 개발로 새로운 소득원을 발굴할 수 있다.

고급 및 특수 견소재 생산과 이용기술 개발에 관련된 연구과제는 새로운 원천기술 확보를 통하여 양잠농가의 수입원을 보장하며, 국내 생산기반 강화에 기여할 것이다. 양잠분야 기술선진국인 일본은 원자재 자급도가 낮지만 생산기반이 비교적 안정되어 있고 원료건의 성상은 균일하여 고품질화에 유리하며, 상품화를 위한 제직 염색 및 가공기술 또한 우리보다 앞서 있다. 이태리와 歐美의 견업은 대부분의 원자재를 수입에 의존하는 불리함이 있으나, 염색가공 등 제품화 기술에서 앞서있다. 중국과 동남아시아를 비롯한 개발도상국들은 원료건의 품질 및 견제품 가공기술이 열등하지만, 내수 및 원자재 생산기반을 확보하고 있다. 우리는 염색 가공 등 제품화 기술이 기술선진국을 능가하지 못하며, 국산 원료건은 개발도상국 보다 우수하지만 생산기반의 급격한 위축으로 수입의존도가 높다. 이러한 여건을 개선하기 위한 기술개발 없이 수입 원료건에 전적으로 의존할 경우, 품질경쟁에서는 선진국을 따르지 못하며 가격경쟁에서는 개발도상국을 이길 수 없게 된다.

본 과제는 製絲用 원료건을 비롯하여 국산 견소재 및 양잠산물의 특수 고급화를 지향하는 원천기술의 연구개발로서, 대외 경쟁력 강화에 매우 효과적이며 창의적인 기술전략의 구축에 기여할 수 있다. 고급 특수 원자재

의 독자적인 확보는 기술향상에 장기간이 소요되는 가공 및 제품화기술의 미흡함을 보완해 주고, 품질 및 가격경쟁력 강화를 동시에 추구할 수 있다. 생산기술 개선과 양잠 산물의 부가가치 증대 및 특수화에 따라 양잠농가는 특수 고급 견소재 생산에 부응하는 수익과 안정성을 보상받을 수 있다. 따라서, 본 연구개발 과제에의 성과는 전통 특화작목인 양잠업이 현실적으로 직면한 영농상의 기술 및 수익성 개선을 통하여 애로사항 해결에 기여할 수 있을 것이다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

견제품은 원료견 값을 기준으로 최종 소비자 가격은 500~4000배로서 가공정도에 따라 부가치를 크게 높일 수 있고, 제직 및 염색가공료는 중국에 비해 일반제품은 2~7배 정도 비싸서 불리하지만 고급제품의 경우에는 0.8~1.2배로서, 대외경쟁력 강화를 위해 새로운 부가치를 추구하는 고품질화 기술개발이 절실하게 요구된다. 그런데 견제품의 기본적 성향은 매우 섬세하고 고품질 지향의 특성이 강하므로, 제품화과정에서 원료견의 균일성은 가공 염색 등 각 단계의 생산공정에서 품질을 크게 좌우하게 된다. 특히, 제사공정에서는 원료견의 분광성이 sericin 용해도와 관련이 있을 것이라는 가설이 제시된 바 있다. 분광성이 불균일하면 sericin 용해도의 차이로 인하여 纈絲장력이 불균일하고, 실의 풀림새가 不良하게 되며, 생사 및 견직물에서 품질 저하를 야기하는 각종 불량요인이 발생하게 된다.

그러나, 국내 견업은 기반 기술이 전반적으로 일본을 능가하지 못한 이상 물량위주의 생산으로 가격경쟁에 치중할 수밖에 없었고, 농산물 수입 개

방에 따라 값싼 수입 원자재 의존도가 증가함에 따라, 국내 고치가격은 생산비를 보장받을 수 없는 수준으로 급락하였다. 결국 생산량의 급격한 감소로 잠사 견업은 품질이 조잡한 수입 원료견에 의존해야 하는 어려운 여건이다. 양잠농가의 생산비를 보장하려면 고품질화가 유일한 돌파구로서, 이를 위한 전제 요건으로서 품질이 월등하게 우수한 국산 원료견 생산기술 확보가 시급하다. 분광학적 특성이 우수한 신소재 또는 특수소재가 개발될 경우 그 자체로서 고도의 균일성이 보장되며, 해서불량 해소와 縲絲능을 향상은 물론, 생사 및 견제품에서 문제되는 품질저하의 각종 요인을 근원적으로 개선할 수 있다. 또한 현행 기술상의 문제점을 해명함으로써 특수 및 고급화를 지향한 기술경쟁에서 유리한 입지를 구축할 수 있을 뿐 아니라, 지속적인 새기술 개발의 기초를 강화할 수 있을 전망이다.

나. 경제·산업적 측면

천연섬유는 국내생산기반 위축으로 수입적자 폭은 급증하고 있으며, 1990년도 기준으로 천연섬유류의 수출입 동향은 수출 44,162,000\$에 수입 1,507,690,00\$ 로서 무려 14억6천만 달러 이상의 무역수지 적자를 기록한 바 있다. 특히 견섬유의 경우, 세계의 생사 생산량은 1980년의 55,000톤에서 1993년에는 101,000톤으로 184%의 증가를 보이고 있으나, 이러한 세계 시장의 추세에도 불구하고, 우리나라는 오히려 급격한 감소를 보이고 있다. 국내 생사견직물류 수출실적은 1977년도에 총생산량 5,581톤 중 5,016톤을 수출하는 등 수출 전략작목으로 성황을 누렸으나, 근래에는 내수의 대부분을 수입에 의존하는 수준으로 쇠퇴하였다.

현재 (1997년도), 견제품 교역현황은 총수출액 426,848\$, 총수입액 295,362\$ 로서 여전히 흑자를 유지하고는 있으나, 전년에 비해 수입액은 11.3% 증가한 반면 수출액은 8.9% 감소하였다. 천연섬유류는 전반적으로

수입량이 상상을 초월한 증가세를 보이고 있으며, 1981년부터 1990년 까지 10년간 麻絲類가 무려 108배나 증가하고, 絹絲類도 7.5배의 증가를 기록한 바 있다.

그런데, 국산 원자재 생산이 全無한 상태에서는 매년 막대한 적자를 기록하는 외국산 원자재 수입가격 형성에 견제효과를 발휘할 수 없다. 그렇게 될 경우, 수입적자는 더욱 커지며, 국내 제조업도 이에 상응한 큰 불이익을 감수하게 될 것이다. 따라서, 소규모라도 천연섬유류의 국내 생산기반을 유지되어야 하며, 이를 위한 연구가 적극 추진되어야 한다. 그 뿐 아니라, 국산 견제품은 제조 및 가공비용이 중국에 비하여 170~200% 정도 비싸기 때문에 중국을 비롯한 동남아시아의 개발도상국들과의 가격경쟁에서 매우 불리하다. 한편, 기술경쟁에서도 염색 가공 디자인 등 제품화 기술이 일본이나 이태리 등 기술선진국을 능가하지 못하는 불리한 수준인 것으로 판단된다. 그러므로, 품질이 열등한 수입원자재 의존도가 높아질수록 열등한 원자재도 비싼 값에 구입하게 되며, 그와같은 여건에서 국내 제조업은 품질경쟁에서도 심각한 타격을 받게될 것이 분명하다.

금후 더욱 증가하게 될 천연섬유류의 무역적자 폭을 줄이고, 내수 및 수출시장에서의 입지를 개척하기 위한 기술개발의 요구는 더욱 시급하다. 분광학적 특성이 우수한 견소재 개발은 견제품의 부가가치를 높이고 가격과 품질 경쟁력의 취약성을 만회하여 국민경제 수준에 부응한 농가수익을 보장할 수 있고, 국내 생산기반 강화에 따른 수입대체 및 견제효과가 있으므로 수입원자재 가격 결정에도 유리하게 영향을 미치는 등 부가적인 효과도 기대할 수 있을 것이다.

제2절 연구개발 내용 및 범위

1. 과제의 성격과 연구대상 및 접근방식

- ① 연구개발의 대상인 고급 특수화 견소재로서 “원료견”의 범주는 목적 생산물 및 영농방식의 다양화 추세에 있는 양잠현장의 요구에 따라 제사원료견은 물론, 잠체성분, 기타 견소재를 포함한다.
- ② 접근방식은 “분광학적 연구”로 특징지을 수 있으며, 분광학성에 근거한 제사용 원료견의 형광색 특성을 조사하고, 특수용도 견소재의 물리 화학성 구명을 위한 분광학적 분석법이 도입된다.
- ③ 본 과제의 의도는 생산현장의 기술적 문제점 해결을 위한 핵심기술사항을 파악하고, 단편적인 면에 국한된 기술보다, 종합적인 생산기술 체계 전반에 연계되어 파급효과가 증폭될 수 있는 내용을 중점 연구한다.
- ④ 고치실의 풀림새는 견사 및 견직물의 품질을 좌우하는 핵심적 요인이므로, 縲絲 장력에 작용하는 세리신 용해도의 균일화에 착안한 縲絲농을 향상과 고급화 기술을 확립하는 접근방식.
- ⑤ 제사용 원료견 생산을 위한 絲繭養蠶에 한정되었던 종래의 생산기술을 초월하여, 식용 및 특수용도 또는 기타 첨단 신소재용 원료견의 개발로 새로운 소득원 발굴의 가능성을 확보한다.
- ⑥ 본 연구의 성격은 “원료견의 고급 및 특수화를 통한 원천기술의 개발”이다. 먼저, 제사용 원료견의 고급·특수화는, 고급 견제품 생산에 유리한 국산 원료견 생산 기반을 확보하는 동시에 양잠농가의 낮은 수익성을 개선하고, 품질이 낮은 수입 원료견 의존에 따라 제사 및 견직분야에서 야기되는 고품질화 전략의 취약점이 보완 또는 완화할 수 있다.

2. 세부과제별 연구항목과 기술개발 내용

견소재의 고급 특수화 관련 분광학적 연구는 3부문의 세부과제로 구성된다

- ① 분광학성에 따른 원료견의 형광색 구명 및 특수계통 육종.
- ② 신제품 대량육 실증시험을 통한 형광색 및 특수견소재를 생산.
- ③ 새로운 견소재에 대한 물리화학성의 분광학적 분석과 유용성 개발.

세부과제명	연구항목	연구개발 내용 및 범위
1. 고급 특수견용 유전자원 개발	① 특수 분광성 견소재 생산용 누에품종 육성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 청색형광견 일본계 원잠종 4계통 육성. ○ 청색형광견 중국계 원잠종 4계통 육성. ○ 황색형광견 일본계 원잠종 3계통 육성. ○ 황색형광견 중국계 원잠종 2계통 육성.
	② 고치색 유전자 발현 검정 및 우량 계통 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 누에고치의 색파장 및 표준색명의 구명. ○ 유색견용 누에품종 우수 교배조합 검정. ○ 견색 관련 유전자 간의 상호작용 해명.
	③ Nd-s 유전자 및 SS 형질과 수용성 견 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ SS 유전형질의 누대 순계분리 및 개량. ○ 수용성견 교잡원종 SSA, SSB 계통 수립. ○ 재조합 DNA 발현계 숙주용 누에 개발.
2. 특수 견소재의 분광학적 구명	① 특수형광색 견의 분광학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특수형광견의 강신도 및 물리성 조사. ○ 실크 고분자의 Tyr 거동과 분광학적 특성.
	② 수용성 견소재의 분광학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> ○ SS 견소재의 적외선분광 분석 (FT-IR). ○ S/S, S/N, N/N 형 견소재의 DSC 분석.
	③ 황견잠 및 특수견소제 성분분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유색견 잠체성분 원소 및 아미노산 분석. ○ 특수 고급 견소재의 아미노산 조성 분석.
3. 특수 잠품종 대량육 실증 시험	① 선발계통 누에 대량육 및 형질 발현 검정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특수형광견 잠품종 대량사육 실증시험. ○ 유색견 우량계통의 대량사육 실증시험. ○ SS 계통 대량사육 및 특수 견소재 생산.
	② 사육기술 개선 및 특수형광색 견사 제조	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특수 분광성 원료견 건조 및 생사 제조. ○ 신계통 누에의 무독잠종 생산 관리 시험. ○ 효율적 사육환경 제어 및 기술체계 개선.

제 2 장 고급 특수견용 유전자원 개발

제1절 서 론

고급 특수화 관련 생물신소재 생산 및 실용화 기술 개발에 있어서, 원료견의 형광색을 비롯한 분광성 및 기타 특이형질을 지배하는 누에 유전자원발굴은, 특수 고급화 전략의 기초를 구축하는 연구로서 중요성을 부여할 수 있다. 이를 위하여 곤충병리와 유전 생리 생화학을 접목하여 다각적인 관점에서 유용한 유전형질을 검색하고, 종합적인 기술전략을 강구하여 새로운 견소재 및 실용화기술의 개발 가능성을 시험하였다.

본 장은 개발 대상인 유전형질의 특성에 따라 3 부문으로 세분되며, 각 항목별 주요 과제는 다음과 같다.

- ① 특수분광성 원료견 생산을 위한 누에계통 수립 : 청색형광견 및 황색형광견 생산용 순계를 선발 육성하며, 형광색견 특성별로 중국계 및 일본계의 우량 원종 수립.
- ② 색견 유전형질 분석 및 고기능성 누에품종 육성 : 보통광 조건에서 관찰되는 황색고치 분홍색고치 연두색고치 등의 색견 형질의 발현에 관련된 유전생리를 구명하는 동시에 우량 계통의 색견 품종 육성.
- ③ *Nd-s* 유전자 관련 SS형질과 특수품종 개발 : 상압 또는 고압 조건의 열탕에서 화학적 처리 없이 용해 가능한 수용성 고치단백질 생산 및 SS잠에 수반되는 특이 유전생리 관련 유용형질의 개발

제2절 특수 분광성 원료견 생산용 누에품종 육성

자외선은 견소재의 黃變을 야기하는 요인으로 물성변화와 관련된 연구에 흔히 이용되고 있으나 (Kawahara et al., 1996 ; Kuwahara, 1968), 일정한 파장을 누에고치에 照射할 경우 형광색이 발생하는 특성 또한 잘 알려져 있다 (Lombardi, 1929). 백색견 품종에서 누에고치 형광색은 암컷에 紫色형광 수컷에 黄色형광 고치가 많으며, 황색견 품종에서 암고치는 明黄色형광 수고치는 暗黄色형광을 띠는 경우가 많다고 한다 (Yamazaki and Taniguchi, 1932). 그리고, 黄色형광의 경우에는 明黄色이 暗黄色에 대하여 불완전 우성인 것으로 밝혀졌으나, 黄色 및 紫色형광 간의 우열관계는 상반된 주장이 제기된 바도 있다 (Yamazaki and Itinose, 1936). 그러나 이러한 결과는 서로 相異한 공시품종 및 접근방식에 따른 차이에서 야기되었으며, 현행의 장려품종을 중심으로 형질이 균일한 계통의 고정은 물론, 이를 이용한 형광색 형질의 재검토 및 생리유전에 관한 연구가 필요하다.

또한, 고치형광색은 세리신의 용해성과도 관련이 있음을 확인할 수 있으며 (Chang and Nahm, 1988 ; Matsubara, 1993), 견사 제조공정 및 고품질화와 관련된 실용형질로서도 개발 가능성에 대하여 주목할 가치가 있는 것으로 판단된다. 원료견의 분광학성은 보통광 조건에서 육안으로 판별하기 어려운 특성이지만, 자외선 Spectrum 에서는 관찰이 매우 용이하다. 그러므로, 분광성의 해명을 통하여 더욱 정밀하게 원료견의 성상을 분석할 수 있는 방법론이 확립된다면, 새로운 누에 유전자원 개발에 기여하며, 분광학성이 특수하거나 균일한 원료견 생산을 위한 새로운 누에품종 육성 및 고급 견소재 개발을 위하여 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 누에고치 형광색의 특성과 계통별 변이

누에고치의 분광성 관찰을 위한 자외선은 254 nm 의 단파장 보다 366 nm 의 장파장을 조사한 경우 더 뚜렷하고 강한 형광색이 발생하였다. 즉, 자외선 조사 조건이 254 nm 인 경우의 형광색은 어두운 黄白色 및 靑白色 으로서 식별이 명확하지 않은 시료가 366 nm 에서는 濃靑色 및 濃黄色 으로 명확하게 구분되었다. 따라서, 누에고치 형광색의 관찰에는 원자외선과 근자외선의 중간 영역인 254 nm 의 파장을 이용하는 경우도 있으나 (Chang and Nahm, 1988), 단파장 보다는 근자외선 영역인 366 nm 의 장파장이 더 유효한 것으로 밝혀졌다.

그러므로 본 연구에서는 이후의 모든 시험구는 暗條件에서 366 nm 의 자외선을 조사하였을 때 관찰된 형광색을 기준으로 정하였고, 그 결과를 비교 분석하였다. 보통광 조건에서 누에고치의 固有色이 白色繭인 경우의 형광색은 청색과 황색을 비롯하여 흰색과 중간색 등이 관찰되었고, 黄色繭 또는 기타 有色繭은 황색과 청색을 비롯하여 회색 분홍 보라 등 多樣한 형광색이 발생하였다. 白色繭 및 有色繭 누에고치의 형광색은 固有色과 무관하게 계통 또는 품종에 따라 다양한 색을 나타내고 있음을 확인하였다 (Table 2-1). 그리고, 열풍건조한 경우와 생고치의 형광색은 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다.

한편, 장려품종인 교잡종 白色繭의 螢光色은 청색 황색 및 중간색이 混在하였으며, 교잡종 누에고치의 형광색은 다음의 5계통 원종에 대하여 정밀 조사를 실시하였다. 현행 장려품종 원종과 근연관계인 일본계 원종 Aj07, Cj19, Ej23, Gj13, Ij25 는 각각 잠107, 잠119, 잠123, 잠113, 잠125 에서 선발된 계통으로서 분광성은 원계통과 같은 특성을 보였다. 일본종 5계통의 형광은 공통적으로 청색 황색 및 중간색 개체가 주류를 이루었고, 일본

Table 2-1. Variation of ultraviolet spectrum in the silkworm cocoons of genetic stocks

Silkworm Strains	Origin	Cocoon Color by Light Source	
		Visible Light	Ultraviolet Wavelength (366nm)
Tw	Baghdad	White	Yellow > Blue > White
Oh	KWpB	White	Blue, Yellow, White
K9	KH908	White	Light Blue, Light Yellow, White
SS	Cheongsook	White	Blue, Yellow, White
Cp	Jam 119	White	Blue, Yellow, White
Ww	Yulgukjam	White	Blue, Yellow, White
Wy	Yulgukjam	Yellow	Blue, Yellow, Reddish Orange, Pink, Violet
Le	L.T	Yellow	Dark brown > Brown > Mosaic of Dark brown and Yellow > Yellow
Ys	Shansurian	Yellow	Brownish orange > Yellowish brown > Pale yellow
Yw	YW	Yellow	Yellow>Mosaic of blue brown white
Ry	Yellow-R	Yellow	Dark yellow > Light yellow
Yp	Ap-(p)	Yellow	Yellow > Mosaic of Dark brown and Yellow/ *Inside ; Pale yellow
Mw	<i>B. Mandarina</i>	Yellow	Pale yellow > Vivid Yellow
N1	N12	Gamboge	Beige gray, Light brown, Vivid Yellow, Pale yellow
N7	Daejo	Green	Vivid yellow, Dark yellow
Xe	G1042	Green	Yellow
Tg	Baghdad	Pale green	Yellow > Blue > Pink > White
Pk	Red Cocoon	Pink	Blue, Violet, Pink, Yellow, White

Table 2-2. Fluorescent color of white cocoons following illumination of ultraviolet wavelength (366 nm) in the female and male of original silkworm strains for commercial varieties

Strains	Repli- cates	Female Cocoons (%)			Male Cocoons (%)		
		Blue	Median	Yellow	Blue	Median	Yellow
Aj07	1	48	0	52	52	0	48
	2	57	29	14	44	11	45
	3	25	58	17	24	46	30
	4	60	40	0	40	34	26
	5	24	76	0	22	78	0
	Mean	43±7.7	41±12.9	17±9.5	36±5.8	34±13.7	30±8.6
Cj19	1	39	12	49	63	6	31
	2	51	47	2	71	29	0
	3	17	83	0	16	83	1
	4	13	87	0	15	85	0
	5	22	78	0	20	80	0
	Mean	28±7.2	61±14.2	10±9.7	37±12.3	57±16.3	6±6.2
Ej23	1	70	0	30	46	39	15
	2	25	50	25	24	52	24
	3	42	26	32	45	17	38
	4	47	42	11	40	55	5
	5	43	57	0	50	50	0
	Mean	45±7.2	35±10.2	20±6.1	41±4.5	43±7.0	16±6.8
Gj13	1	43	57	0	60	40	0
	2	100	0	0	100	0	0
	3	51	49	0	50	9	41
	4	56	36	18	63	25	12
	5	45	55	0	44	56	0
	Mean	59±10.5	39±10.7	4±3.6	63±9.8	26±10.2	11±8.0
Ij25	1	6	94	0	0	93	7
	2	0	100	0	0	100	0
	3	0	95	5	6	94	0
	4	13	68	19	10	76	14
	5	9	75	16	5	86	9
	Mean	6±2.5	86±6.3	8±4.0	4±1.9	90±4.1	6±2.7

계 원종에서 중간색을 띠는 개체가 다수를 차지하는 점은 교잡종과 비슷하지만, 濃靑 및 濃黃色 고치의 발현이 현저한 점에 차이가 있었다. 일본계 누에 원종에서 고치의 형광색은 濃靑色の 비율이 濃黃色 보다 높고, 최저 1.7배 (Aj07)~최고 8.6배 (Gj13) 정도의 큰 차이가 있었다 (Table 2-2).

2. 청색형광 및 황색형광견 누에품종 개발

누에고치의 형광색에 관하여, 白色繭은 靑色과 紫色, 黃色繭은 明螢光色과 暗螢光色으로 구별되며, 자웅에 따라 차이가 있다고 보고된 바 있다 (Yamazaki and Taniguchi, 1932). 그러나, 본 시험에서는 현행 장려품종에서 일본계 원종의 경우, 雌雄 간의 차이가 인정되지 않았다. 일본계 원종은 濃靑 및 濃黃色 형광 고치를 구분하여 특이형광색 순계의 분리를 시도한 결과, 濃紫色, 淡紫色, 淡黃色, 白色, 기타 중간색은 순계의 형광색 형질을 얻지 못하였다. 한편 色立體 (Kim, 1991) 를 참조할 때, 색좌표 상에서 서로 대립하여 양극에 위치한 黃色과 靑色을 목표로 선발한 경우 청색형광견은 균일성이 상당히 개선된 蛾區가 확보되었다. 청색 형광은 현저한 선발효과가 입증되었으며, 황색 형광계통도 선발가능성이 입증되었다. 6~10 회 이상 지속적인 누대사육 및 선발 육성 결과, “특수형광 원료견” 생산이 가능한 새로운 누에계통으로서 “청색형광견” 원종 8계통 및 “황색형광견” 원종 5계통이 육성되었다. 청색형광견은 일본계 원종 Ab, Cb, Gb, Ib 및 중국계 원종 Bb, Db, Hb, Jb 등이며, 황색형광견용 누에의 경우 Ay, Cy, Dy, Gy, Jy 등 5계통을 선발 육성하였다 (Table 2-3).

현행 장려품종 원종은 공통적으로 靑色과 黃色 형광이 기본이며 순계가 아닌 두 형질은 공존하는 유전자 간의 상호작용으로 중간색 및 기타 형광색이 발현되는 것으로 추정할 수 있었다. 이러한 결과를 종합적으로 고찰하

Table 2-3. Silkworm strains newly bred for white cocoons with specific and uniform fluorescent color under the illumination of ultraviolet wavelength (366 nm)

Cocoon character	Silkworm race	Silkworm strain	Origin (comparative strain)
Blue fluorescence	Japanese races	Ab	Aj07 (Jam107)
		Cb	Cj19 (Jam119)
		Gb	Gj13 (Jam113)
		Ib	Ij25 (Jam125)
	Chinese races	Bb	Bc08 (Jam108)
		Db	Dc20 (Jam120)
		Hb	Hc14 (Jam114)
		Jb	Jc26 (Jam126)
Yellow fluorescence	Japanese races	Ay	Aj07 (Jam107)
		Cy	Cj19 (Jam119)
	Chinese races	Dy	Dc20 (Jam120)
		Gy	Gj13 (Jam113)
		Jy	Jc26 (Jam126)

는 한편, 색채과학의 입장에서 가시광선 Spectrum 의 藍色은 어두운 청색 계통이며 紫色 또한 原色이 아니라는 사실을 감안할 때 (Kim, 1991 ; Park, 1991), 원료견의 형광색 계통을 표현하는데 지금까지 사용되었던 紫色은 靑色으로 수정함이 더 바람직할 것이다. 한편, 형광색 형질을 선발하지 않은 계통은 靑色 과 黃色 및 그 중간색 형질이 혼재하였으며, 형광색의 균일성은 청색형광 선발계통에 비하여 크게 저조한 양상을 보였다 (Fig. 2-1).

누에고치의 형광색과 제사기술에 관한 연구가 수행된 바 있으나

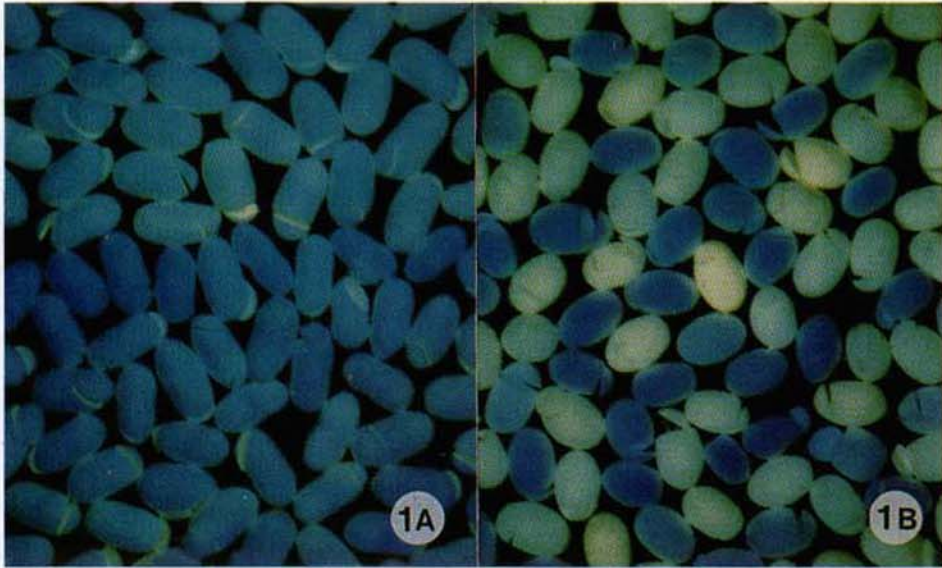


Fig. 2-1. Difference of fluorescent cocoon color by silkworm strains. 1A, the uniform blue of the strain by breeding : 1B, concurrence of blue and yellow cocoons in wild type strains.

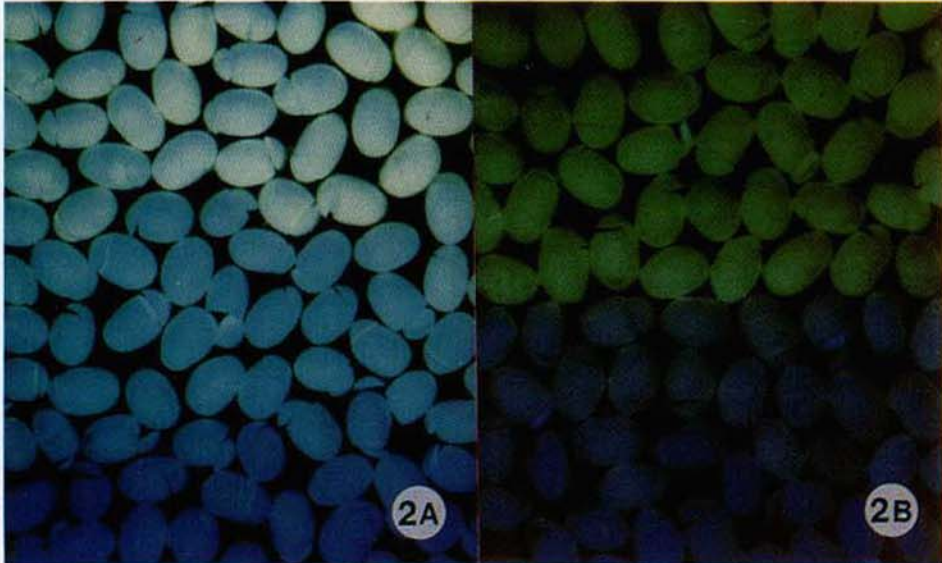


Fig. 2-2. Fluorescent color of silkworm cocoons for an evidence of sex-dependent inheritance. 2A, separative male (up) from female (down) with broad borderline : 2B, clearly segregated male of yellow from female of blue.

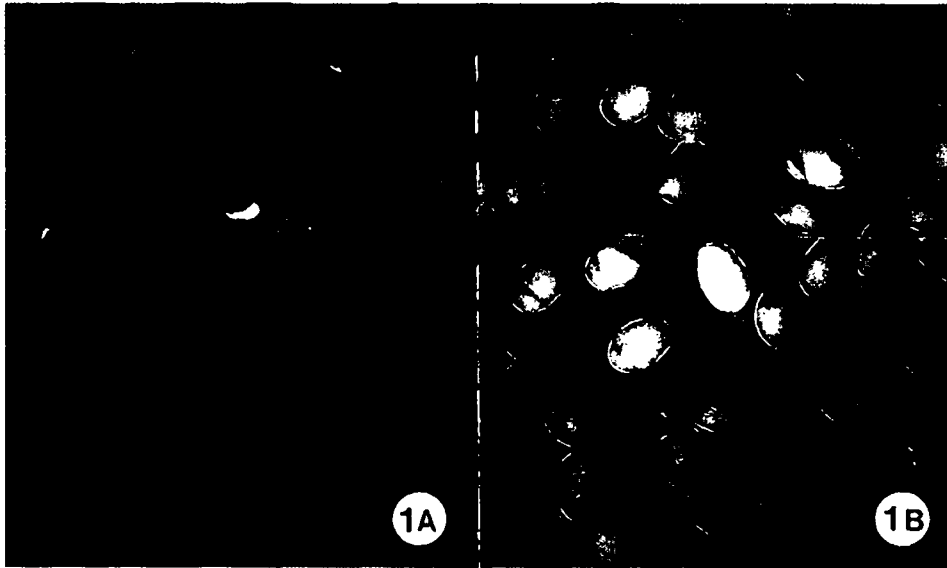


Fig. 2-1. Difference of fluorescent cocoon color by silkworm strains. 1A, the uniform blue of the strain by breeding : 1B, concurrence of blue and yellow cocoons in wild type strains.

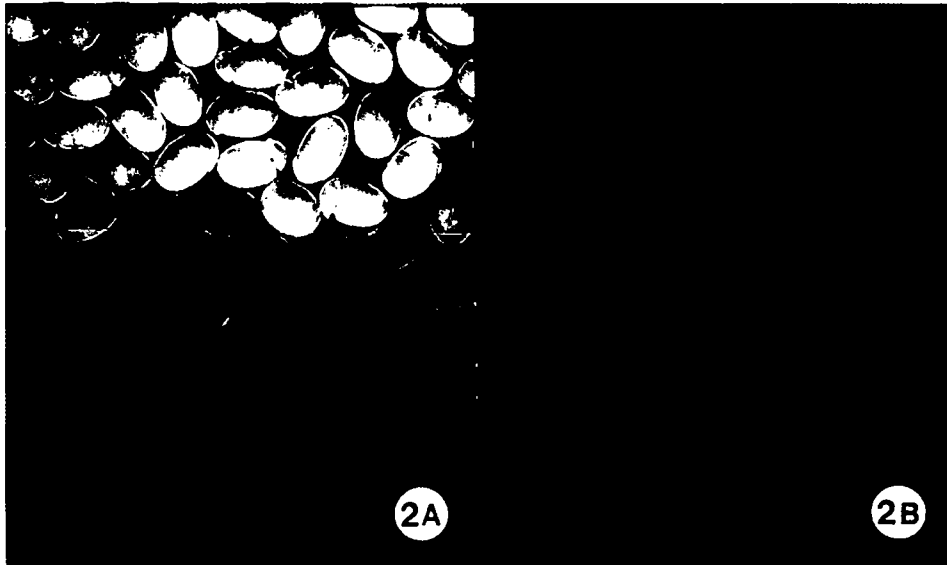


Fig. 2-2. Fluorescent color of silkworm cocoons for an evidence of sex-dependent inheritance. 2A, separative male (up) from female (down) with broad borderline : 2B, clearly segregated male of yellow from female of blue.

(Ajisawa, 1968 ; Chang and Nahm, 1988), 현재까지의 누에품종 수준과 원료견 생산기술을 고려할 때, 시험재료로서 적합한 靑色 또는 黃色의 균일한 형광색 원료견이 사용되었다고 인정하기는 곤란하다. 원자재의 고급 특화가 절실히 요구되는 시점에서, 특수형광색 형질의 유전양식 구명과 특수형광견의 개발 등은 현실적 요구에 부응할 수 있는 성과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3. 限性유전 형광색 고치 누에계통 선발

중국계 원종은 일본종과 달리, 누에고치 형광색이 자웅별로 분리되는 蛾區가 발견되었으며, 雌繭은 靑色계통 雄繭은 황색계통의 형광색을 나타내었다 (Fig. 2-2). 성별에 따른 형광색의 식별은 품종 및 계통에 따라 다르며, 靑色과 黃色이 연하거나 중간색을 띤 개체가 많아서 境界가 불명료한 경우 및 경계가 매우 뚜렷하게 구분되는 경우가 관찰되었다. (Fig. 2-2). 그러나 供試 일본종 계통의 黃色繭이나 기타 有色繭 품종에서는 누에고치의 限性형광색(Yamazaki and Taniguchi, 1932) 이 인정되지 않았다. 한편, 현행 장려품종 원종으로부터 선발된 5계통의 중국계 원종 Bc08, Dc20, Fc24, Hc14, Jc26 는 각각 잠108, 잠120, 잠124, 잠126 에서 선발된 계통으로서 성별에 따른 형광색의 차이가 관찰되었으며, 고치 형광색의 限性的 발현이 입증되었다.

누에고치는 외층과 내층의 형광색이 일치하지 않거나 외층 형광이 중간색인 경우를 중간색 부류로 취급할 경우 중간색의 개체는 전체의 4.4~49.6%를 차지하여 변이가 매우 컸다 (Table 2-4). 중간색 부류를 내층 형광색을 기준으로 판별한 경우에는 일반적으로 雌繭이 靑色 雄繭은 黃色이었다.

Table 2-4. Expression of fluorescent color on the white cocoons depending on their sexuality in the Chinese silkworm races

Strains	Repli- cates	Female Cocoons (%)			Male Cocoons (%)		
		Blue	Median	Yellow	Blue	Median	Yellow
Bc08	1	61	38	1	10	38	52
	2	24	76	0	0	2	98
	3	72	28	0	0	4	96
	4	51	49	0	0	16	84
	5	43	57	0	7	53	40
	Mean	50 ± 8.2	50 ± 8.2	0 ± 0.2	3 ± 1.5	23 ± 9.9	74 ± 11.8
Dc20	1	84	16	0	0	16	84
	2	17	83	0	0	32	68
	3	87	13	0	0	35	65
	4	58	42	0	8	0	92
	5	79	21	0	0	5	95
	Mean	65 ± 13.0	35 ± 13.0	0 ± 0.0	2 ± 1.6	18 ± 7.0	81 ± 6.1
Fc24	1	80	20	0	0	24	76
	2	93	7	0	10	32	58
	3	84	16	0	0	19	81
	4	75	25	0	0	21	79
	5	89	11	0	0	44	56
	Mean	84 ± 3.2	16 ± 3.2	0 ± 0.0	2 ± 2.0	28 ± 4.6	70 ± 5.4
Hc14	1	81	3	0	8	32	60
	2	87	13	0	0	19	81
	3	96	4	0	3	42	56
	4	100	0	0	1	6	93
	5	98	2	0	16	4	80
	Mean	92 ± 3.6	4 ± 2.3	0 ± 0.0	6 ± 2.9	21 ± 7.4	74 ± 7.0
Jc 26	1	90	0	10	5	15	80
	2	84	12	4	0	0	100
	3	67	26	7	2	16	81
	4	89	0	11	1	0	99
	5	95	5	0	13	22	65
	Mean	85 ± 4.8	9 ± 4.9	6 ± 2.0	4 ± 2.4	11 ± 4.5	86 ± 6.6

고치 外層의 형광색과 內層의 형광색을 종합적으로 감안한 경우 형광색의 限性的 발현은 더욱 뚜렷할 것으로 예상되었다. 위에서 조사한 5계통의 누에고치에 대하여 외층과 내층의 형광색을 고려한 경우 靑色雌繭 및 黃色雌繭의 限性率은 95% 이상이며, 특히 Dc20 은 98.8%, Fc24 는 99% 로서 매우 높았다 (Table 2-5). 지금까지 고치형광색의 순계분리 및 유전학적 연구결과는 다수의 누에계통을 대상으로 조사된 바 있지만 결과가 상반되거나 불확실한 경우가 있다. 그 이유는, 중국계 및 일본계의 구분이 엄격하지 않거나 그 기준이 명확하지 않고, 특정 白色繭과 黃色繭 계통에 관심이 편중된 점이다. 그리고, 靑色형광이나 紫色형광 또는 藍色형광 등 基本色の 인식에 관한 차이 (Yamazaki and Itinose, 1936 ; Yamazaki and Taniguchi 1932), 고치 외층 및 내층 형광색이 일치하는 순계의 고정미 미흡하였던 점 (Chen and Lin, 1988) 등도 오류의 원인이 될 수 있다.

선발계통이 아닌 장려품종의 중국계 원종 6계통을 대상으로 切開하지 않은 상태의 누에고치를 靑色형광 및 黃色형광 개체로 구분한 경우 靑色雌繭 및 黃色雌繭의 분리율은 94.7~99.6% 로서 높게 나타났다 (Table 2-6). 특히 잠120, 잠124, 잠136 등은 형광색에 의한 자동감별 효율은 매우 우수하였으며, 극히 드물게 존재하는 靑色雌繭 및 黃色雌繭은 蛹期에 致死하는 경우가 많거나 성충이 된 개체는 교미불능 또는 산란이상 등으로 생식력을 상실하였다. 자외선은 견사의 黃變에 관한 연구에 사용된 바 있으나 (Kawahara, 1996 ; Kuwahara, 1968 ; Matsubara, 1993), 자외선 조사에 의하여 발생하는 형광색은 (Lombardi, 1929) 분광성의 조사에 매우 유용하였다. 특히 366 nm 의 파장에서 관찰되는 누에고치 형광색은 표본채취간이 자동감별에 활용될 수 있을 뿐 아니라, 이와같은 분광성은 누에 유전 자원 관리 또는 계통보존을 위하여 편리한 수단을 제공할 수 있을 것이다.

Table 2-5. Sex-limited expression of fluorescent cocoon color in the original silkworm strain for commercial varieties

Silkworm Strain ¹⁾	Sexual Segregation of Silkworm Cocoons ²⁾		
	% Blue of Female Cocoon	% Yellow of Male Cocoon	Average (%)
Bc08	94.4±3.43	99.6±0.39	97.0±1.84
Dc20	97.6±2.40	100.0±0.00	98.8±1.20
Fc24	98.0±2.00	100.0±0.00	99.0±1.00
Hc14	93.6±2.70	100.0±0.00	97.6±1.36
Jc26	95.8±2.13	93.4±2.04	94.8±0.97

¹⁾ Data from 5 replicates ; 100 of female and male cocoons for each was inspected.

²⁾ Median fluorescent color of the cocoon surface was reconfirmed by those of inner layer.

Table 2-6. Probability of sexual discrimination by fluorescent color of the cocoon surface from original silkworm of Chinese races for commercial hybrid

Silkworm Varieties ¹⁾	Sexual Discrimination by Cocoon Fluorescence ²⁾		
	% Female of Blue Cocoons	% Male of Yellow Cocoons	Average (%)
Jam108	99.8±0.20	96.6±2.14	98.2±1.15
Jam120	100.0±0.00	98.4±1.60	99.2±0.80
Jam124	100.0±0.00	98.0±2.00	99.0±1.00
Jam114	100.0±0.00	94.4±2.94	97.2±1.47
Jam126	93.6±2.01	95.8±2.35	94.7±0.96
Jam134	99.8±0.20	99.4±0.40	99.6±0.24

¹⁾ Data from 5 replicates.

²⁾ 100 of blue and of yellow fluorescent cocoons with exception of those appeared median color.

중국계 들연변이종인 限性무늬 표준계통 누에 KWpB 를 대상으로 조사한 경우, 고치형광색을 기준으로 판별되는 限性率도 90% 이상으로서 매우 높은 것으로 확인되었다. 본 시험 결과를 종합하여 볼 때, Bc08, Dc20, Fc24, Hc14, Jc26, 잠108, 잠120, 잠114, 잠126, 잠134, KWpB 등 11개의 모든 중국계 원종에서 누에고치 형광색의 限性的 발현이 확인되었고, 이러한 현상은 우리가 현재 보유한 중국계 원종이 공통적으로 지니는 고유의 유전형질에 기인하는 것으로서 일본계 원종과는 특이하게 대조를 이루는 것으로 밝혀졌다. 경북대학 곤충병리연구실 보존계통 KWpB 는 비교적 안정된 限性무늬 계통으로서, 유충기에 체색 및 무늬에 따라 두 부류로 분리 사육하고, 나방이 된 다음 조사한 결과, 限性무늬의 限性率은 $99.3 \pm 0.44\%$ 였다 (Table 2-7). 그러므로, 현행 장려품종의 중국계 원종은 고치형광색의 限性率이 기존의 限性무늬에 못지않게 높은 限性率을 나타냄을 입증할 수 있었다.

Chen and Lin (1988)이 발견한 限性형광색 계통은 雌繭 白色형광 및 雄繭 黄色형광이었던 점과 비교할 때, 본 연구에서는 그와 동등한 근자외선 영역의 파장을 사용하였음에도 불구하고 雌繭-青色형광 및 雄繭-黄色형광의 명확한 대비를 보이는 특징이 있었다. 우리나라 장려품종인 중국계 白色繭 원종에서 보편적으로 형광색의 限性的 발현이 인정된다는 결과는 매우 놀라운 사실이며, 중국계 원종과 일본계 원종들 간에 현저하게 드러나는 분광성의 차이 또한 상당히 중시할 가치가 있는 발견이다. 형광색의 限性的 발현은 유전학적 입장에서 기존 限性遺傳 간의 유전양식 비교 등에 대하여 추구할 필요가 있으며, 순계의 고정에 따른 실용성의 개선 및 이와 관련된 응용연구가 추진되어야 할 것이다.

참고로, 원료견의 분광성 조사에 사용한 紫外線燈은 San Gabriel 社의 Minerallight lamp (Model; UVGL-58)로서, 가시광선 Spectrum 측에 가

Table 2-7. Sexual segregation of larval marking in the typical silkworm strain of KWpB for laboratory standard as comparative sex-limited inheritance

Replicates	Sexual Segregation of Silkworm Moths*		
	% Female with Larval Marking	% Male Absent Larval Marking	Average (%)
1	100	100	100.0
2	100	100	100.0
3	97	100	98.5
4	98	98	98.0
5	100	100	100.0
Mean ± SE	99.0 ± 0.64	99.6 ± 0.40	99.3 ± 0.44

* Each of 100 of moths from the larvae with or without larval mark were inspected for their sexuality.

까운 366nm 의 근자외선을 주로 이용하였고, 원자외선과의 중간영역 파장인 254 nm 에서도 관찰을 병행하여 결과를 비교하였다. 그리고, 暗 조건에서 UV를 照射하여 발생하는 누에고치의 형광색은 F-601 Nikon 카메라로 撮影하였다. 육종재료 및 유전자원 보존용 누에 19 계통과 국내산 멧누에 계통을 비롯하여 현행 장려품종의 일본계 및 중국계 원종 및 근연계통 16 종 등 35 종류의 원종과 5품종 이상의 교잡종 누에 등 40계통 이상의 누에고치와 다량의 수입산 고치를 대상으로 조사하였다. 국내산 고치는 상족 1주일 후 수견된 生繭 또는 열풍건조기 70 °C에서 6-7시간 정도 乾繭한 상태의 누에고치에 대하여 외층 및 내층 형광색을 조사하였다.

제3절 색고치 유전자 발현 검정과 우량계통 수립

집누에는 곤충유전 및 생리학 연구에 매우 유용한 생물종으로서, 지금까지 400여종의 돌연변이 유전자가 알려져 있다 (Fujii, H. et. al., 1996). 그 중에서 고치색에 관여하는 유전자는 약 20종으로서 (Nakajima, M. et al., 1986), 고치색의 발현에는 2종 또는 그 이상의 유전자 조합이 필요하며, 공존하는 우성 및 열성 유전자가 직접 또는 간접적으로 발현 및 억제작용에 관여한다 (Sakaguchi, 1984). 이는 carotinoid binding protein 이 관련된 생체내 물질수송 (Fujii, et. al., 1988) 등 현대 생물학의 과제인 생체막계에서 특정 분자의 轉移에 관한 연구 및 유전자 작용기구의 해명에 유용한 수단을 제공할 것이다. 또한, 견섬유 가공분야에서도 최근에 발표된 고치의 형광색을 비롯하여 (Han, 1997) 고치색 형질을 이용한 특수 견소재 생산 및 기술개발에 관련된 새로운 시도가 주목받고 있다 (Hata and Kato, 1996). 집누에고치는 일반 백색견사의 황변에 관하여 (Matsubara, et al., 1993), 야잠견사는 정련에 관하여 (Nakajima et al., 1993) 미세한 색택의 변화가 확인된 바 있다. 계통별 색체의 차이가 뚜렷한 유색견 누에품종의 경우에도 색채과학적으로 고치색이 구명된 바 없으며, 세계적으로도 양잠국가별로 직감에 의존한 관용 색이름이 사용되고 있다. 따라서, 개인의 견해나 국가별 언어의 차이를 초월하여 보편적으로 통용될 수 있는 색이름 및 과학적 표색법을 전제로한 고치색의 검토가 필요하다. 본 연구는 고유의 형질이 균일한 보존용 누에를 대상으로 각 계통별 고치색의 변이와 표준 색이름을 명확하게 규정짓고, 색채과학적 입장에서 검토하는 한편, 차대 교잡종의 고치색 및 이와 대응하는 유전자의 작용과 특이적 발현양식을 구명하였다.

1. 누에 고치색 분류 및 표준 색이름 결정

누에고치 색은 육안 판별능을 기준으로 색채식별역 (color difference limen)의 편차를 충분히 극복할 수 있는 수준으로서, 표준색사전 (Park, 1991)과 대조하는 방법으로 색상 명도 채도를 결정하였다. 고치색 관찰에는 자연광 조건의 실내에서 표준색과 대조하므로써, 직사광선, 강한 반사광, 照度부족 등에 의한 영향이 최소가 되도록 하였고, Munsell 표색법 (Park, 1995)으로 나타내고, 국제 표준색명으로서 영어색이름 및 한국어 색이름을 부여하였다.

각종 누에고치의 색채는 Pink 系, Orange Yellow 系, Yellow 系, Yellow Green 系, White 系 등 5 系統으로 크게 분류할 수 있고, 다시 계통색으로 세분류되며, 각 계통색에 포함되는 누에고치 색을 판정하여 Munsell 부호로 표기하고 일반 색이름을 규정하였다 (Table 2-8). 여기서 일반색이름은 표준이 되는 개정 색이름으로서 특정 고치색 마다 고유의 색상 명도 채도에 상응하는 한국 표준색표 일련번호(KS Code) 와 함께 영어 명도 함께 명시하였다.

Pink 系인 “靑色赤”의 누에고치는 지금까지 紅色 淡赤色 또는 粉紅色 이라는 관용 색이름으로 통용되었으나, 정확하게는 복숭아색 계통에 속하는 “노랑띵 분홍색” 으로 밝혀졌다. 그리고, Orange Yellow 系는 “매우 진한 등황색 계통” “등황색 계통” “밝은 등황색 계통” “엷은 등황색 계통” 등이 있고 이러한 계통색에 속하는 고치색으로서 등황색, 금잔화색, 치자색, 계란색, 등이 확인되었다. Yellow 系 고치색은 “매우 진한 노랑 계통” “노랑 계통” “밝은 노랑 계통” “엷은 노랑 계통” 의 4계통색 내에 위치한 해바라기색, 노른자색, 노랑, 벼색, 네이플즈 옐로, 황수선화색, 땅콩색, 크림색, 등이었다. 일반적으로 알려진 綠色靑은 모두 Yellow Green 系로서 “선명한

연두계통”의 청포도색, “밝은 연두 계통”의 백연두색, “엷은 연두 계통”의 백합꽃색 등이 확인되었다.

백색건을 제외한 유색 누에고치에 대한 관행 표색법은 담적색, 농황색, 적황색, 금황색, 담황색, 황갈색, 옥색, 연두색, 연미색 등 9종으로 제한되지만, 실제로는 Pink 系 1종, Orange Yellow~Yellow 系 12종, Yellow Green 系 3종으로서 16종류의 고치색이 확인되었다. 특히, 옥색(肉色)은 표준 색이름으로 살색에 해당되지만, 실제로 옥색건(肉色繭)의 표준 색이름은 살색이 아니라 계란색이 더 바람직한 것으로 밝혀졌다. 색채의 3속성에 따라서 색상 명도 채도를 고려할 때, 국제 표준 살색은 “밝은 노랑띵 분홍 계통”으로서 Pink系의 색채로 규정하고 있으나 (Park, 1991), 동방에서 주도해온 잠사업 분야에서는 Orange Yellow 系의 “엷은 등황색 계통”에 속하는 계란색을 살색으로 인식하고 있었다는 사실은 흥미롭다. 살색(5YR 8/4)과 계란색(7.5YR 8/4)은 계통이 다르지만, 명도와 채도가 같고, 단지 주파장의 차이가 3nm에 불과한 근연색으로서 식별이 어려운 점을 감안할 때, 동양인 고유의 색감각으로는 Pink系 보다 Orange Yellow 系 색채로 살색을 인식함은 극히 자연스러운 현상일 것이다.

세색건(笹色繭)은 濃綠色 및 淡綠色이 있으며, 濃綠色은 청포도색이며, 淡綠色은 백연두색 및 백합꽃색으로 세분할 수 있었다. 다갈색건(茶褐色繭)은 Yellowish Brown 系의 황갈색으로서, “진한 황갈색 계통”의 금갈색이나 호박석색 또는 “밝은 황갈색 계통”의 호두색과 유사한 고치색으로 추정되지만, 공시한 누에계통 중에서 고치색 형질 간의 대응관계는 불확실하다. 수색건(銹色繭)은 외층이 담황갈색이라면 (Nakajima et al., 1986), 다갈색과 같은 Yellowish Brown 系에 속하지만 다갈색건(茶褐色繭)보다는 명도가 높고 채도가 낮은 “밝은 황갈색”~“엷은 등황색” 계통인 점에 차이가 있다. 그런데, 수색건(銹色繭)과 다갈색건(茶褐色繭)의 색상은 모두 7.5YR~

Table 2-8. Color names and system for the cocoons produced by various strains of mulberry silkworm, *Bombyx mori*

Silkworm		Color Code		Color Name			Color System		
Strain	Origin	Munsell System	KS Code	Cus-tomal	KBS Manual	Inter-national	Kore-an	Inter-national	Color Class
Pk	Red Cocoon	10R 8/6	KS0130	담적색	노랑뽕 본뽕	Peach	복숭아색	moderate yellowish pink	Pink
Yg	G 7	10YR7/14	KS0302	농황색	등황색	Orange Yellow	매우진한 등황색	vivid orange yellow	Orange Yellow
Za	Zebra	7.5YR7/12	KS0260	적황색	금진화 색	Marigold	진한 등황색	strong orange yellow	
Fk	AskoriA	7.5YR8/8	KS0253	황갈색	치자색	Gamboge	밝은 등황색	light orange yellow	
Fn	AbenarN	7.5YR8/8	KS0253	황갈색	치자색	Gamboge		light orange yellow	
Fe	AbenarE	7.5YR8/8	KS0253	황갈색	치자색	Gamboge		light orange yellow	
Fc	C 27	7.5YR8/4	KS0251	옥색	계란색	Eggshell	엷은 등황색	pale orange yellow	
Rc	RY	2.5Y8/14	KS0341	금황색	해바라 기색	Chrome Yellow	매우진한 노랑	vivid yellow	Yellow
Yp	AP-(p)	2.5Y8/14	KS0341	금황색	해바라 기색	Chrome Yellow			
ZB	Black zebra	2.5Y8/14	KS0341	금황색	해바라 기색	Chrome Yellow			
Yc	C 7	2.5Y8/12	KS0340	황색	노른자 색	The Yolk of An Egg			
Le	L.T	5Y8.5/16	KS0375	황색	노랑	Yellow			
Ym	Chunmun	2.5Y8/6	KS0337	고색	벼색	Cream Yellow			
Qe	Q	2.5Y8.5/8	KS0332	담황색	네이플 즈옐로	Naples Yellow	밝은 노랑	light yellow	
Ww	Yulguk	5Y8.5/8	KS0372	담황색	황수선 화색	Primrose Yellow	엷은 노랑	pale yellow	
Ye	E 27	2.5Y8.5/4	KS0330	담황색	땅콩색	Peanut		pale yellow	
My	Wild Silkworm	5Y9/4	KS0366	담황색	크림색	Cream		pale yellow	
N7	N 74	2.5GY8/8	KS0498	농녹색	청포도 색	Yellow Green	선명한 연두	brilliant yellow green	Yellow Green
Xe	G1042	2.5GY8/8	KS0498	농녹색	청포도 색	Yellow Green	선명한 연두	brilliant yellow green	
Eg	White Egg (I)	5GY9/4	KS0524	담녹색	백연두 색	Light Yellow Green	밝은 연두	light yellow green	
Tg	Baghdad	2.5GY9/2	KS0492	담녹색	백합꽃 색	White Lily	엷은 연두	pale yellow green	
Ab07	Jam107	N 9.5	-	흰색	흰색	White	흰색	white	White

10YR의 범주에 속하게 되므로 명도와 채도가 다를 뿐 색파장의 영역은 같은 부류에 포함되었다. 한편, 고색견(靛色繭)의 표준 색이름은 벼색에 해당하지만, 땅콩색, 크림색 등은 누에 계통에 따른 벼색의 변이로 보인다. 그러나 이러한 변이계통의 발현에 관여하는 인자에 대하여는 쉽게 결론짓기 어려우며, C^s 와 Y 유전자 및 기타 누에계통별로 고치색 발현에 관여하는 유전형질의 존재 가능성에 대한 검토가 필요하다.

2. 특이 색파장과 고치색 유전자 간의 관계

459nm~630nm 의 가시광선 스펙트럼 상에서 Fraunhofer 線의 D혹선 (589nm)을 전후하여 누에고치 색파장이 위치하며, 최장 593nm 에서 최단 567nm 사이의 영역에 분포하였다. 고치색 파장은 593, 584, 580, 578, 575, 570, 567 (nm) 등 7종이 인정되므로, 7종의 색상을 바탕으로 명도와 채도를 달리하는 요인의 작용으로 발현되는 고치색은 공시 원종에서 16종 및 교잡종에서 새롭게 발현되는 2종류를 포함하여 18종이 확인되었다. 특히, 고치색 파장이 위치하는 총 26nm 의 구간 중 580nm 의 색파장을 중심으로 575nm~584nm 까지 9nm 의 범위에서 고치색 발현빈도가 제일 높았으며, 공시 유색견 누에 23 계통 중 78% 인 18계통이 여기에 포함되었다 (Fig. 2-3).

다수의 고치색 파장이 위치한 580nm 부근은 색채識別閾(color difference limen)이 1.3nm 로서 (Kim, 1991) 매우 예민하며, 그 때문에 미소한 색파장 변화에 따라 다양한 색이 분별된다. 누에는, 뽕잎의 색소물질 중 최소의 색파장 차이에 의해 다른 색채로 인식되는 물질을 이용한 결과, 한정된 색파장 영역에서 계통별로 다양한 고치색이 발현되는 것이다. 고치색 유전자에 따라 색파장 발현에 관여하는 범위는 차이를 보였으며, P_k

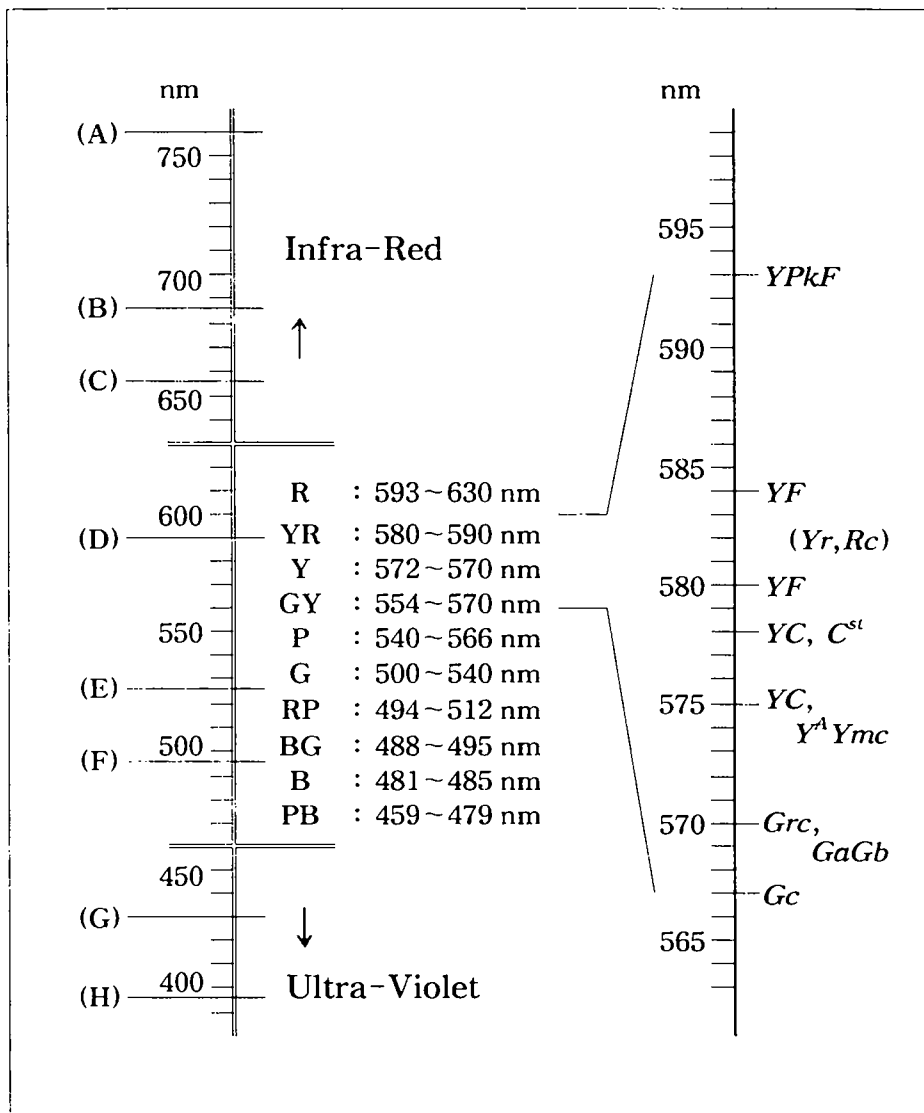


Fig. 2-3. Location of cocoon color wavelength with relative genes on the standard spectrum of sunlight. Italics represent cocoon color genes ; (A) to (H), specific black bands of light spectrum originated from the sun.

는 복숭아색에 국한된 593nm, *F* 는 밝은 등황색과 옅은 등황색 및 복숭아색 계통에 이르는 580~593nm, 녹색견과 관련된 *Grc* 및 기타 *G* 부류의 유전자는 567~570 nm 였고, 황혈유전자 *Y* 는 가장 폭넓은 575~593 nm 로서 18 nm 구간의 색파장에 관여하였다 (Fig. 1).

노랑띵 분홍 *Pk*(10YR8/6)과 청포도색 *Xe*(2.5GY8/8) 고치는 색파장 차이가 23 nm 로서 유전자 조합이 *YPkF/Grc* 인 정역 교잡종(F1)은 땅콩색 (2.5Y8.5/4)이었다. 이질적 고치색 유전자 조합에서 황색계의 발현은 *Y* 및 *C* 유전자 기능에 상당하는 형질이 *Grc* 에 존재할 가능성을 의미한다. F1 은 양친의 중간색인 동시에 명도가 증가하여 色光의 혼합에서 특징적인 加法混色 (additive mixture) 의 효과가 인정되었다. 주파장 간의 차이가 18nm 로서 황혈유전자 *Y*가 중복되는 노랑띵 분홍(10YR8/6)의 F1 이 양친의 중간인 치자색 (7.5YR8/8) 으로 발현된 것은 유전자 조성 *YPkF/YC* 로부터 예상되는 *YF* 의 작용으로 판단된다. 계란색(7.5YR8/4)의 *Fc* 계통에서와 같이 580nm 색파장의 진한 등황색 *Yg* 는 물론, 584 nm 의 금잔화색 *Za*, 치자색 *Fk*, *Fn*, *Fe* 등 Orange Yellow 계의 모든 고치색은 *YF* 유전자 발현을 반영하는 결과로 해석할 수 있었다. *Pk*(10R8/6)×*Le*(5Y8.5/16) 의 고치색은 명도가 양친의 평균보다 감소하여 色料의 혼합과 유사한 減法混色(subtractive mixture)의 결과로서, *Pk*×*Xe*에서 관찰된 加法混色 효과와는 상반된 특징을 보였다.

한편, 노랑 (5Y8.5/16) 과 청포도색 (2.5GY8/8) 간의 교잡종 (*Le*×*Xe*) 은 노랑 (5Y8.5/16) 및 근연계통인 바나나색 (2.5Y8/10) 의 두 종류로 분리되었으나, 반복수 및 개채수의 한계로 정확한 분리비가 확정되지는 않았다. 그러나 청포도색 (2.5GY8/8) 고치의 *Xe* 계통에 *Le* 계의 *YC* 발현에 관련된 형질의 존재 가능성을 입증하기에 충분한 결과로 생각된다. 백색 (N9.5) 과 해바라기색 (2.5Y8/14) 간의 교잡종 *Ab07*×*Yp*는 유전자 조합이

Table 2-9. Appearance of cocoon colors by crossing between silkworm strains with pink, green, yellow, and white cocoons

Parent Cocoon in Cross	Hybrid Cocoon		
	Munsell code	Color name	Frequency
Pk × Xe (10R8/6) (2.5GY8/8)	2.5Y8.5/4	Peanut	100%
Le × Pk (5Y8.5/16) (10R8/6)	7.5YR8/8	Gamboge	100%
Yp × Ab07 (2.5Y8/14) (N9.5)	2.5Y8.5/8	Naples Yellow	100%
My × Ab07 (5Y9/4) (N9.5)	5Y8.5/8 5Y 9/4 7.5Y9/6 N 9.5	Primrose Yellow Cream Citron Yellow White	varied
Xe × Le (2.5GY8/8)(5Y8.5/16)	2.5Y8/10 5Y8.5/16	Banana Yellow	44% ± 56% ±
Fn × Le (7.5YR8/8)(5Y8.5/16)	2.5Y8.5/8 2.5Y8.5/4	Naples Yellow Peanut	80% ± 20% ±

+^Y/Y 로서 황혈이며 고치색은 전부 네이플즈 옐로 (2.5Y8.5/8)였다. 모계의 “매우진한노랑”에 비교하여 +^YC/YC 으로 예상되는 유전자 조합에서 고치색 파장에는 변화가 없으나 명도가 높고 채도는 저하되었다. 백견과 황견의 F1은 그 중간형질을 나타내어 모계의 고치색 보다 열어진다는 주장이 (Sakaguchi, 1984) 여기에 해당되는 것으로 본다 (Table 2-9).

멧누에황견 (My)과 열성 백혈백색견인 집누에계통 (Ab07)의 F1의 고치색 관련 유전자 조성 +^YC/Y⁺Ymc 로 부터 기대되는 결과는 엷은 황색 견의 출현이다. 그러나, 예상과 달리 양친 중 멧누에 고유의 크림색 고치와

흰고치 및 황수선 화색과 병아리색 등으로 분리되는 경우가 확인되었으며, 이는 멧누에와 관련된 곤충생리 및 생태 탐구에 새로운 단서를 제공한다. 누에 고치색은 뽕잎성분 중의 carotenoid 계 또는 flavonoid 계 색소에 유래하며, 황견일 경우 누에 腸管 내에서 증장세포의 흡수는 $+^Y$ 유전자에 의해 차단되며, Y 유전자일 경우 腸管벽을 통과하여 中腸세포를 통과하여 혈액으로 이행된다. 증장세포에서는 I 유전자가 혈액으로의 운반을 차단하지만, $+^I$ 유전자는 혈액 까지 운반할 수 있고, C 유전자가 존재하면 색소물질이 혈액에서 건사선으로 이동하여 세리신과 함께 고치실로 분비되며, $+^C$ 의 경우 건사선 세포로 이행되지 않는다 (Fujii et. al., 1988). 멧누에는 중부건사선의 외층세리신이 없으므로 (Dai, 1994), 세리신에 함유되는 색소물질의 분비에 C 유전자가 충분히 관여할 수 없기 때문에 고치색 발현은 장애를 받을 것이다. 그렇지만, 집누에와의 교잡종은 중부 건사선에 외층 중층 내층 세리신이 모두 정상이기 때문에 C 유전자가 작용하여 집누에 황색견이 발현될 수 있다는 가설이 성립된다. 그러므로 집누에와 멧누에의 F1 인 $+^Y C/Y^{\Delta} Y m c$ 조합에서 밝은노랑 계통의 고치색이 분리되었으므로, $Y C$ 기능이 정상적으로 발현됨을 입증하는 결과로 해석된다 (Fig. 2-4).

$+^Y C/Y^{\Delta} Y m c$ 에서 출현한 황수선화색 (5Y8.5/8) 누에고치는 전형적인 $+^Y C/Y C$ 또는 $Y C/Y^{\Delta} C'$ 에서 발현되는 고치색 변이에 포함되며, 10세대 이상 선발로 멧누에 유충무늬 황수선화색(5Y8.5/8) 고치의 누에계통으로 고정되었다. $Y^{\Delta} Y m c$ 는 1차적으로 증장에서 carotenoid 투과성이 Y^{Δ} 에 의해 변경되고, 2차적으로 중부건사선 외층세리신 부족으로 C 유전자 발현의 필수적 요건이 결여되어 고치색 발현에 변경인자로 작용한 결과 크림색 고치가 된 것으로 해석할 수 있다. 황색의 변이가 누에계통별로 고유한 형질에 기인한다면 Le 계통의 $Y C$ 는 $Y C^{Le}$, $Y^{Le} C$, $Y^{Le} C^{Le}$, 중 어느 한 경우로 표기할 수 있다. 그러므로 연관군 및 좌위가 2-25.6 로서 Y 와 같은

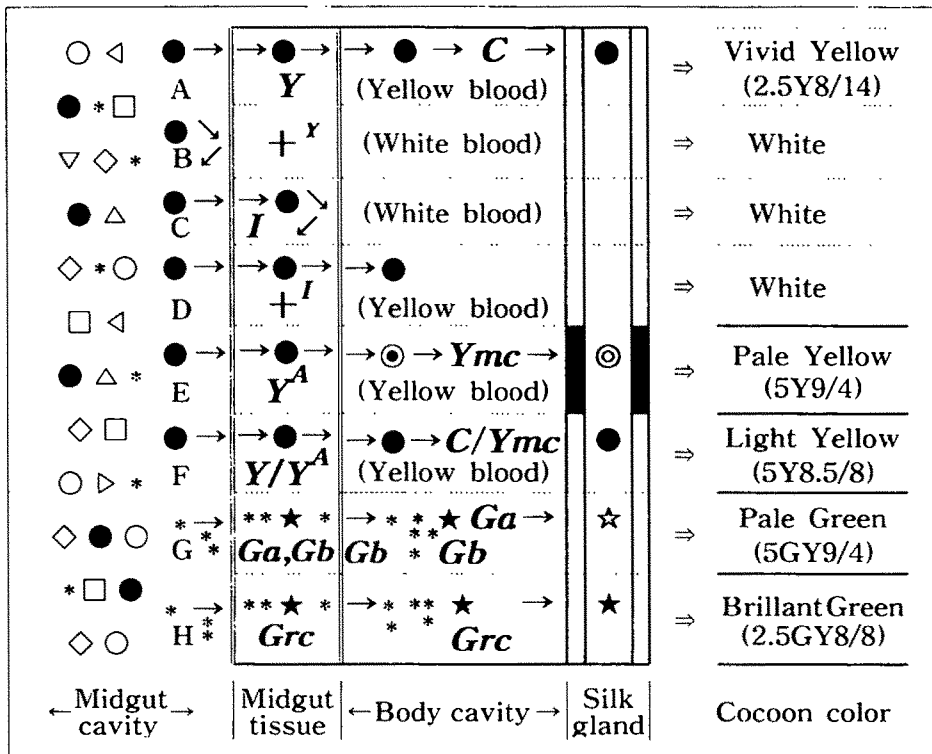


Fig. 2-4. Schematic expression for the transmission of carotenoids (●) or flavonoids (★) from midgut cavity to cocoon in the various silkworm strain of cocoon color. A, yellow cocoon expression by Y with C gene. B, inhibition of carotenoids uptake by the midgut with +^Y. C, the transmission stopped at midgut cell by Yellow inhibitor of I. D, inhibition of carotenoid uptake by +^I at silk gland. E, Y^AYmc in the *B. mandarina* deficient expression of YC. F, recovered expression by YC/Y^AYmc combination in F1 hybrid. G, biosynthesis or modification of flavonoids (★) from precursors(*) cooperative function of Ga and Gb in the midgut cell. Gb acts alone for the synthesis in blood system. Only the yellow green flavonoids could transport from blood to cocoon (★), Ga transport those from blood to silk gland, while, Gb participate in transmission from midgut to blood. H, metabolism and transmission of flavonoids controlled by Grc, both of yellow green and yellow brown flavonoids (★) transmittable to the cocoon. The cocoon of white (B,C,D), yellow (A,E,F), and green (G,H) by different gene expression.

멧누에의 Y^1 및 집누에의 Y^D 는, 색소운반 및 물질 투과성에 Y 와 특이적으로 작용하는 인자의 영향을 반영한다. 이러한 배경에서, C (12-7.2)와 동일한 연관군 및 좌위로 밝혀진 집누에의 C^D 와 C^{sc} 역시 근본적으로는 같고 누에계통별로 물질운반 및 투과성에 관여하는 변형인자에 따라 변이가 존재 할 수 있을 것이다.

$Y^1 Y_{mc}$, $Y^D C^D$, $Y C^D$, $Y C^{sc}$ 등의 발현 특성은 결국 유전자 발현에 특이적으로 관련된 요인에 따른 변이로서 $Y C$, $Y' C'$, $Y'' C''$ 등으로 표기될 수 있는 성질의 유전자 조성이라는 주장을 뒷받침한다. 한편, 멧누에 채집종의 실내사육에서, 집누에 황색견과 유사한 색 또는 두터운 견층이 발현되는 개체가 드물게 발견되므로, 야생 멧누에는 집누에와의 혼혈계통으로서 집누에 고치색에 관여하는 열성 유전형질이 내재할 가능성도 고려할 필요가 있다.

3. 고치색 발현과 유전자 간의 상호작용 해명

고치색 유전자 간의 상호작용 해명에는 녹색 및 황색계 형질을 이용하였으며, 녹색계통의 경우 濃綠色 및 淡綠色 원종을 사용하였고, 여기에 관여하는 유전자는 가칭 $G-1$ 에서 $G-4$ 까지의 4종으로서, $G-1$ 및 $G-2$ 는 청포도색, $G-3$ 는 백연두색, $G-4$ 는 백합꽃색이었다. 청포도색인 $G-1$ 및 $G-2$ 는 두 계통 간의 교잡에서도 고치색의 변화가 없고, 색체는 Grc 에 상응하는 특징을 보이며, $G-4$ 와의 F1에서도 큰 변화는 보이지 않았다. 그러나, $G-3$ 와의 교잡에서 $G-1$ 및 $G-2$ 는 상이한 색채가 발현되므로, 두 계통은 녹색 유전자에 관여하는 상이한 요인이 있는 것으로 밝혀졌다. $G-3$ 은 $G-1$ 에 대하여 열성으로서 $G-1$ 의 발현으로 녹색이 증가하였지만, 다른 G 계통 간의 교잡에서는 고유색의 변화가 인정되지 않으므로 $G-3$ 는 독립유전 녹색견 유전자 $Gc(15-?)$ 일 가능성이 높다. $G-4$ 는 매우 엷

은 연두색 계통으로 *G-1,2,3* 등의 유전자와 협력적으로 작용하여 녹색이 증가한 백연두색이 발현되므로, 이들 누에계통에는 고치색 발현에 상가적으로 작용하는 인자 또는 조건유전자의 내재성이 입증되고, *G-4* 는 *Ga* (-) 또는 *Gb* (7-7.0) 로 추정되었다 (Table 2-10). *Grc* 는 증장 및 혈액에서의 flavonoid 수식 및 견사선으로의 운반에 이르기 까지 고치색 발현의 전 과정에 단독으로 관여하지만, *Ga* 및 *Gb* 는 증장세포에서의 flavonoid 생합성 또는 수식에 협력적으로 작용하고 *Gb* 는 혈액 중에서 단독으로 그 기능을 발휘한다. *GaGb* 의 녹색견 발현은 증장세포에서 혈액중으로의 flavonoid 투과는 *Gb* 가 지배하지만, 혈액에서 견사선으로의 투과성은 다시 *Ga* 에 의존하게 되므로, 두 유전자의 공존은 필수적이며, 그 중 하나가 결여된 경우 흰색고치가 된다고 한다 (Fig. 2-4). 그러나, 색 이론을 적용하지 않은 종래의 방식으로는 백합꽃색도 흰색으로 간주되므로 籠色繭^{a,b,c} 속하는 *G* 그룹의 발현에 관하여는 연관군 검색을 병행한 상세한 연구가 필요하다. 한편, 곤충 체내에서 flavonoid 의 metabolism 이나 conjugation 에 관한 보고와 함께 생합성의 가능성에 관한 부정적인 견해도 제시되고 있으나 (Harbone and Grayer, 1994), 곤충의 flavonoid 합성 또는 수식 가능성은 완전히 배제될 수 없다. 특수한 누에계통의 경우 식물 유래의 flavonoid 골격을 이용한 합성대사 및 수식의 가능성에 관하여 곤충기능 개발의 차원에서 보다 적극적인 검토가 요구된다.

Yellow 系 간의 F1 교잡종 *Yc/Rc* 및 *Yg/Rc* 는 양친의 고치색 중 *Rc* 계통의 해바라기색이 발현되었고, *F*, *Pk*, *Grc* 등 이질적인 유전자의 개입이 없을 경우, 해바라기색 발현을 지배하는 *YC* 조합이 노른자색이나 등황색을 지배하는 *Y'C'* 보다 우위였다. 네이플즈 옐로 (2.5Y8.5/8) 와 해바라기색 (2.5Y8/14) 간의 교잡종 *Qe/Rc*는 모두 노른자색(2.5Y8/12)이 발현되어 F1 은 주파장이 양친과 같으면서 명도는 두 양친의 평균보다 낮은 중간색이므

Table 2-10. Expression of cocoon color by diallel cross among the silworm strains of *G* group (*G-1* to *G-4*) with various green of cocoon.

Male Female	<i>G-1</i>	<i>G-2</i>	<i>G-3</i>	<i>G-4</i>
<i>G-1</i> (N7)	2.5GY8/8	2.5GY8/8	2.5GY8/8	5GY9/4
<i>G-2</i> (Xe)	2.5GY8/8	2.5GY8/8	5GY9/4	5GY9/4
<i>G-3</i> (Eg)	2.5GY8/8	5GY9/4	5GY9/4	5GY9/4
<i>G-4</i> (Tg)	5GY9/4	5GY9/4	5GY9/4	2.5GY9/2

로 Le/Pk 에서와 같은 감법혼색 효과가 나타났다. Qe/Rc의 유전자 조합은 단순한 YC/YC 가 아니라, 엄밀하게는 양친 고유의 인자가 개입된 YC의 조합인 YC/Y'C' 로 판단된다. 이와같이 황견계통에서 밝혀진 고치색의 변이도 YC 유전자 발현에 관련된 누에형질이 부가적으로 관여하기 때문일 것으로 추정된다.

고치색 형질이 서로다른 계통 간의 교잡종에서 양친의 평균과 비교한 경우, 색상(hue) 은 주파장이 단파장 쪽으로 이동하는 특징이 뚜렷하고, 명도(value) 가 감소하는 경향이 많으며, 채도(chroma) 는 현저하게 감소하였다 (Table 2-11). 누에 고치색은 형광색 (Han, 1997)과 달리 장기간의 노출 또는 열풍건조로 (70℃, 12hr) 퇴색되기 쉬우나, 고치 색소물질의 고정방법 (Hata and Kato, 1996) 등 새로운 가공기술이 도입된다면, 유색 견종 누에는 식용으로서 뿐 아니라 제사용 특수원료건 으로서도 진가를 발휘하게 될 것이다.

Table 2-11. Comparison of cocoon colors between the original parent and hybrid silkworms following color qualities of hue, value, and chroma

Parent Cocoon	Hybrid Cocoon ¹⁾	Color Change in Hybrid ²⁾			Note ³⁾
		hue	value	chroma	
Yc × Rc (2.5Y8/12) (2.5Y8/14)	Yc/Rc (2.5Y8/14)	nm (0)	(0)	+1	Y*Y
Yg × Rc (10YR7/14) (2.5Y8/14)	Yg/Rc (2.5Y8/14)	-1	+0.5	(0)	Y*Y
Qe × Rc (2.5Y8.5/8) (2.5Y8/14)	Qe/Rc (2.5Y8/12)	(0)	-0.25	+1	Y*Y
Le × Pk (5Y8.5/16) (10R8/6)	Le/Pk (7.5YR8/8)	0	-0.25	-3	Y*P
Xe × Pk (2.5GY8/8) (10R8/6)	Xe/Pk (2.5Y8.5/4)	-3.5	+0.5	-3	G*P
Tg × Xe (2.5GY9/2) (2.5GY8/8)	Tg/Xe (5GY9/4)	(-3.0)	+0.5	-1	G*G
N7 × Tg (2.5GY8/8) (2.5GY9/2)	N7/Tg (5GY9/4)	(-3.0)	+0.5	-1	G*G
N7 × Xe (2.5GY8/8) (2.5GY8/8)	N7/Xe (2.5GY8/8)	(0)	(0)	(0)	G*G

¹⁾ Difference of hue, value, and chroma in contrast with the mean of parent cocoon, the "hue" was compared by color wavelength.

²⁾ Numbers in parentheses represent the same grade of which introduced in crossing.

³⁾ Silkworm strain pared with specific cocoon color : Y*Y, between yellow : Y*P, yellow and pink : G*P, green and pink : G*G, green.

4. 천연색소 함유 실크 및 식용누에 품종

누에고치 색은 곧 색을 지닌 물질을 의미하는 동시에 함유성분의 특성을 可視적으로 표출한다. Table 2-8 에서 밝혀진 계란색 등의 Orange Yellow 계 고치색은 β -carotinoid 의 존재를 나타내고, *Pk* 유전자가 도입된 노랑뽕 분홍색 고치는 배열입체이성질체인 *cis*- β -carotenoid 로의 전환을 의미하는 동시에, 중부견사선 後區의 물질 투과성을 반영한다. 또한, 해바라기색 등 Yellow 계 고치는 xanthophyll 류인 lutein 과 violaxanthin 의 존재를 의미하는 동시에, 색조에 따라 중부견사선 전반부 후반부 또는 全域의 물질 투과성이 입증된다. 즉, 외층 濃黃色 고치는 중부견사선 中區 전반부의 물질투과성과 *C* 유전자의 작용, 외층담황 내층농황색 고치는 중부견사선 中區 후반부의 물질투과성과 *C'* 유전자의 작용, 전층 담황색 고치는 중부견사선의 中區 전 부위의 물질투과성과 *C^D* 유전자의 작용을 나타낸다. Yellow Green 계 고치는 누에 증장세포 및 혈액 중에서 quercitrin, rutin, quercetin 을 전구체로 하는 flavonoid 합성 또는 수식능을 나타내는 지표로서, 소화관 및 견사선의 세포막 투과성을 비롯한 특이물질 관련 유전자 발현은 고치색으로 용이하게 판별된다. 누에 고치색 유전자의 작용과 고치색의 究明은, 특이 분자의 생체막 수송 및 유전자 발현 해명 등 곤충유전생리학의 입장에서 누에의 활용가치와 새로운 가능성을 제시한다.

계통보존용 집누에 *Bombyx mori mori* 및 아종 *Bombyx mori mandarina* 를 포함하여 (*Bombyx mori* 및 *Bombyx mandarina* 로 略記) 유색견 누에품종 28계통의 누대 시험사육 결과 고치색 발현이 유전적으로 고정된 21 계통을 供試하였다. 유색견 간의 교잡 및 대조에 사용한 백색견은 유전자 조합이 +^YC 인 일본계 및 중국계 표준 원종으로서 청색형광계통 Ab07 및 Bc08 계통 (Han, 1997)을 사용하였다. 고치색 형질의 선발을

위하여 검토한 주요 유전자 이름 및 유전자기호 (연관군-좌위) 는 아래와 같다 : 外層黃蘗, *C* (12-7.2) / 淡黃蘗, *C^D* (2-25.6) / 內層黃蘗, *C^L* (12-7.2) / 葉色蘗, *Cst* (12-7.2) / 肉色蘗, *F* (6-13.6) / 笹色蘗, *Grc* (-) / 笹色蘗a, *Ga* (-) / 笹色蘗b, *Gb* (7-7.0) / 笹色蘗c, *Gc* (15-?) / 黃血抑制, *I* (9-16.2) / 煤煙體色劣性黃血抑制, *I^S* (9-16.2) / 綠蘗抑制, *Ign-1* (6-7.5) / 紅色蘗, *Pk* (2-?) / 銹色蘗, *Rc* (2-31.8) / 黃血, *Y* (2-25.6) / 멧누에黃血, *Y^A* (2-25.6) / 淡黃血, *Y^D* (2-25.6) / 멧누에淡黃蘗, *Ymc* (6-18.7) / 茶褐色蘗, *Yr* (6-18.7).

이와같은 다양한 유전자 발현에 의한 고치색은 형광색유전자를 제외한 19종을 검토한 결과, Pink系, Orange Yellow系, Yellow系, Yellow Green系, White系の 고치색 중에서, Orange Yellow系와 Yellow系 위주로 계통을 선발하였다. 1차 선발한 계통은 일본계와 중국계 간의 관행 교잡에서와 같이 정도 이상의 잡종강세가 인정되는 상대적인 두 부류를 구분하여 LY系 4계통(*Le*, *Yp*, *Fn*, *Ze*) 및 RY系 4계통(*Rc*, *Yg*, *Yc*, *Qe*)을 교잡원종으로 육성하였다. 그리고 야생 멧누에 (M계통)은 유충체색 및 반문, 고치 분광성과 천연색, 고치형태 등에 따라 MA, MB, M(A)Y, M(B)Y, M(AB)등 5계통의 유색건을 육성하였다 (Table 2-12). 유색건용 교잡종으로서 최초로 확립된 LY×RY 는 단견중이 2.69g 으로서 생산성이 높고 속성보급에도 유리한 장점이 인정되었으며, 품종명은 GOLD 즉 “黃金蠶”으로 결정하였다 (Fig. 2-5). LY 및 RY 계통 간의 교잡효과는 2세대 이후의 초기단계부터 강하게 발현되며, 육종 과정의 어느 단계에서든지 교잡종을 제조할 수 있고, 강건하며 고치생산성이 높고 산란성도 우수하였다. 또한, 우수 교배조를 조합한 RYQ는 속성보급용 유색건 잠품종으로서, 계통보존 유색건 계통을 이용하여 단기간에 실용화 가능한 수준이었다 (Fig. 2-6).

Table 2-12. Silkworm strains selected by the character of colored cocoons for specific use of silk resources

Silkworm race	Strains	Cocoon Color	Character	Origin
LY-Race ¹⁾	Le	Yellow	European	L.T
	Yp	Chrome Yellow	European	Ap-(p)
	Fn	Gamboge	European	Abenari-N
	Ze	Marigold	European	Zebra
RY-Race ¹⁾	Rc	Chrome Yellow	Chinese	R-Whang
	Yg	Orange Yellow	European	Gu-7
	Yc	The Yolk of An Egg	Chinese	Ch-7
	Qe	Naples Yellow	European	Q
M-Race ²⁾	MA	Primrose Yellow	L-Race	M(A) × A
	MB	Primrose Yellow	R-Race	M(B) × B
	M(A)Y	Citron Yellow	L-Race	M(M × A)
	M(B)Y	Citron Yellow	R-Race	M(M × B)
	M(AB)	Cream	H-Race	MA × MB
H-Race ³⁾	LYR [Gold]	Chrome Yellow	H-Race	LY × RY
	YRQ	Orange Yellow	H-Race	Rc/Yg/Qe
	YPL	Gamboge	H-Race	Le/Pk/Yc
	XTN	Yellow Green	H-Race	Xe/Tg/N7

¹⁾ The L and R races are similar to Japanese and Chinese races however, not the same as always on the effect of heterosis.

²⁾ M-Race bred by crossing of Ab or Bb with *Bombyx mandarina*.

³⁾ Hybrid between the races of Japanese × Chinese or L and R type.

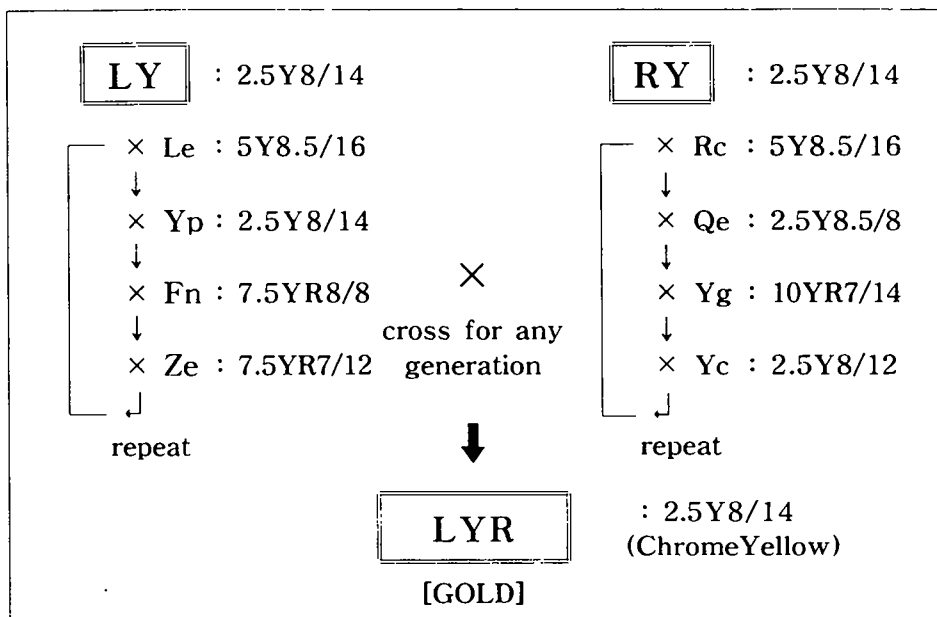


Fig. 2-5. Systems of breeding for silkworm strain of yellow colored cocoon, and production of hybrid varieties, LYR (commercial name of "Gold") by combination between LY and RY lines for any of the generation.

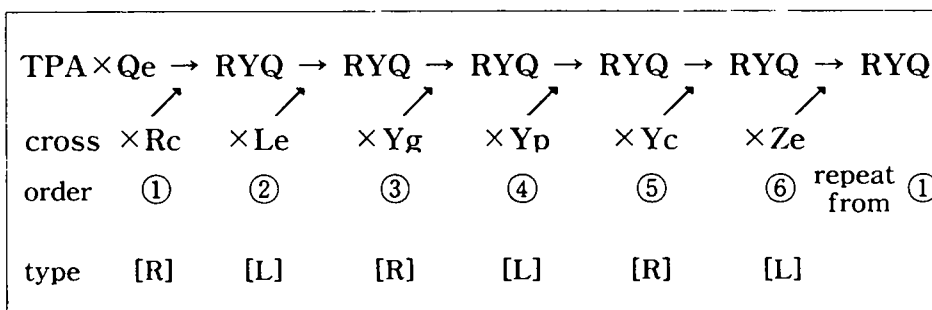


Fig. 2-6. Short term strategy to supply silkworm eggs for temporary use on the production of yellow colored cocoon : RYQ maintained high productivity of by accumulation of heterosis following cross with the L- and R-type strains alternately.

제4절 수용성 누에고치와 *Nd-s* 유전자원 개발

不眠蠶을 비롯하여 소위, 치사형 돌연변이 계통 家蠶에서 관찰되는 유전적 異常은 병리학적 관점에서 自然死, 미생물성 전염병, 물리 화학적 傷害, 기타 비전염성 外因에 의한 치사와는 뚜렷이 구분된다. 치사에는 반드시 死因이 있기 마련이지만, 염색체의 전좌, 결실, 절제, 중복, 역위 등과 수반되는 치사 외에 原死因과 直接死因이 불명확한 기타 유전적 치사도 치사인자(Lethal factor)에 포함시킬 수 있다. 그러나, 일반적인 사육환경에서는 치사형 돌연변이 계통이라도 치사인자가 直接死因이 아닌 경우에는, 특별한 간호 또는 물리 화학요법을 도입한 사육방식 즉 간호사육법 (Nurse Rearing)으로 치사형 돌연변이체가 생존할 수 있는 가능성이 제시된다.

400여종의 집누에 유전자 돌연변이 중에서 생식이나 발육생리 등 생존에 불리한 변이를 수반하는 돌연변이가 있으며, 그 부작용이 치명적인 유전자는 치사유전자로 간주된다. 그런데, 절대적인 치사는 아니지만, 사육 관리 조건에 따라 치사잠이 다발하는 경우도 포함하여 “치사형 유전자”로 폭넓게 취급할 수도 있다. 치사형 유전자로 간주할 수 있는 유전자를 조사한 결과 150종류 내외로 추산되며 (Table 2-13), 이와같은 돌연변이와 함께 특이한 변이를 수반하는 경우로서, *Nd-s* 유전자는 누에고치 단백질의 물리적 성질이 변한 결과 수용성 고치를 짓는다.

치사형 돌연변이 계통으로 간주되는 일부 유전적 불면잠에서는 *Nd-s* 잠의 경우와 유사한 수용성 누에고치를 짓는 경우가 관찰되며, 이러한 개체를 생존시킬 수 있다면, 치사형질의 완화 또는 치사형질과 공존하는 미지의 특이 유전자를 분리 육성할 수 있을 것이다.

Table 2-13. List of the genes (linkage group-locus) in relation with abnormalities of non-molting, genetic disease, and other lethal factors of the silkworm, *Bombyx mori*

al (5-37.9) / *ap* (3-22.3) / *As* (-) / *Bb* (-) / *bd* (9-22.9) / *Bo* (11-26.6) / *Bu* (11-28.7) / *cal* (7-?) : / *cd* (-) / *cot* (-) / *cv* (-) / *dep* (-) / *Df* (-) / *Df-t* (20-11.0) / *Dus* (10-3.9) / *dw* (-) / *dw-k* (10-0.0) / *e^l* (1-36.4) / *E^{ca}* (6-0.0) / *E^{cd}* (6-0.0) / *E^{cl}* (6-0.0) / *ED* (6-0.0) / *E^{Dc}* (6-0.0) / *E^{Ds}* (6-0.0) / *E^{En}* (6-0.0) / *E^H* (6-0.0) / *E^{Ka}* (6-0.0) / *E^M* (6-0.0) / *E^{lc}* (6-0.0) / *E^{Ms}* (6-0.0) / *E^{Mu}* (6-0.0) / *E^N* (6-0.0) / *E^{Nk}* (6-0.0) / *E^T* (6-0.0) / *E^{Tc}* (6-0.0) / *flc* (3-49.0) / *fs* (-) / *Gl* (19-0.0) / *Gl^R* (19-0.0) / *gn* (9-22.0) / *gn^d* (9-22.0) / *Gr^{col}* (2-6.9) / *ki* (6-8.6) / *ki^c* (6-8.6) / *ki^t* (6-8.6) / *L^c* (4-15.3) / *l-10* (11-31.2) / *l-19* (19-?) / *l-72* (-) / *l-a* (1-1.6) / *l-b* (1-46.0) / *l-be* (-) / *l-bk* (-) / *l-bl* (-) / *l-br* (9-34.3) / *l-d* (-) / *l-db* (-) / *l-hb* (-) / *l-k* (6-17.7) / *l-m* (3-10.8) / *l-mn* (-) / *l-n* (12-0.0) / *l-n^h* (12-0.0) / *l-ne* (1-?) / *l-nl* (15-33.1) / *l-r* (-) / *l-rb* (-) / *l-sp* (12-?) / *l-w* (4-28.4) / *Lan* (21-17.9) / *lem^l* (3-0.0) / *Lk* (11-37.4) / *mal* (4-30.1) / *m^f* (12-39.8) / *mse* (-) / *ms-2* (-) / *mus* (11-?) / *nb* (19-12.0) / *Nc* (6-1.4) / *Nd* (25-0.0) / *Nd^H* (25-0.0) / *Ndb* (-) / *Nd-s* (14-19.2) / *Nd-t* (23;25) / *nfad* (25-?) / *Ng* (12-21.8) / *Nl* (14-35.2) / *Nl^l* (14-35.2) / *Nl²* (14-35.2) / *nm* (11-11.6) / *nm-b* (2-25.1) / *nm-d* (9-16.3) / *nm-g* (17-?) / *nm-i* (26-30.6) / *nm-k* (4-?) / *nm-m* (13-27.9) / *Np* (11-30.5) / *o-5* (-) / *o-21* (-) / *o-115* (-) / *od* (1-49.6) / *Odc* (16-29.7) / *og* (9-23.6) / *og^t* (9-23.6) / *oi* (-) / *op* (23-?) / *oq* (12-26.3) / *os^l* (1-0.0) / *p^B* (2-0.0) / *p^{Ss}* (2-0.0) / *p^{Ss-2}* (2-0.0) / *pe^l* (5-0.0) / *peg* (-) / *rd* (12-45.0) / *Rg* (3-24.9) / *Rg-q* (17-?) / *rh* (-) / *rm* (3-6.5) / *Rt* (2-?) / *rw* (1-22.8) / *sb* (-) / *Set* (1-35.5) / *sk* (4-41.1) / *sku* (22-7.1) / *Sl-v* (21-19.4) / *Slg* (15- ?) / *slo* (-) / *slp* (-) / *sls* (-) / *sm* (3-41.8) / *smⁿ* (3-41.8) / *sm-2* (13-0.0) / *Sme* (2-?) / *sol* (6-?) / *Spc* (4-48.4) / *Sph* (21-8.4) / *Spl* (-) / *spli* (1-?) / *spr* (10-12.1) / *st* (8-0.0) / *Str* (15-?) / *Swl* (-) / *tub* (23-6.9) / *U^{Br}* (14-40.5) / *Vg* (1-38.7) / *vo* (-) / *w-3^{ol}* (10-19.6) /

1. *Nd-s* 유전자와 *Nd* 및 *SS* 형질의 속성

Nd-s 또는 *SS* 유전형질의 누에는 소위 “세리신잠”으로 알려져 있으며 (Watanabe, 1959a; 1959a; 1960), 일본에서는 주로 생리 유전학적 기초연구가 수행되어 왔다. 한편, 국내에서는 최근에 응용연구로서 관심이 집중되고 있으며, 본 연구팀은 1993년 독자적으로 분리 육성한 누에계통을 최초로 확보하였다 (Ahn, 1995; Han, 1998). *Nd-s* 유전자 발현에 수반된 고치형질은 열탕에서 용해되는 성질을 보유한 絹이므로 “*Water-Soluble Silk*”라는 의미에서 *SS* 고치로 名하였다. 그 후 “*SS*형질”의 연구결과, 소위 세리신잠과 동일하게 *Nd-s* 유전자에 의해 발현되는 것으로서, “*SS*견단백질”의 물리화학적 성질을 구명한 결과 피브로인의 존재가 입증되었다 (제3장 3절에 자료 제시).

Nd-s 유전자에 의해 발현되는 표현형질은 *Nd* 형질 (naked pupa=裸蛹) 과 *SS*형질 (水溶性 누에고치)로서, 동일 유전자에 의해 발현되지만, 결과적으로는 성격이 전혀 다른 두가지의 독립적인 형질로 구별된다. 즉, *Nd-s* 는 裸蛹(naked pupa) + 세리신견(sericin cocoon) 에 유래하며, 고치를 짓지 않는 개체(裸蛹)가 많이 발생하며 (*Nd* 형질), 또한 고치를 짓게된 경우에는 세리신견을 생산한다 (*SS* 형질)는 뜻이다. 그러므로, 서로 다른 두가지 형질 즉 “*Nd*” 및 “*SS*” 를 구별하여 취급할 경우, *Nd-s* 라는 이름은 쓰임새가 매우 부적합하다. 특별히 두 형질을 구별할 필요가 없는 경우라도, 세리신 만의 고치가 아니라 피브로인이 함유된 것으로 밝혀진 이상 “세리신잠” 또는 “세리신견”이라고 부르는 것은 더욱 타당하지 않다. 왜냐하면, 일반 누에고치 및 *Nd-s* 잠의 고치는 공통적으로 피브로인과 세리신을 함유하므로 차이점이 인정되지 않는다.

또한, *Nd-s* 뿐 아니라 *Nd*, *Nd^H*, *Nd-t*, 등의 裸蛹 형질이 발현될 경우에는 모두 SS type 의 수용성 누에고치를 얻을 수 있다. 그리고, 이들 견단백질도 *Nd-s* 유전자의 경우와 동일하게 모두 피브로인을 함유할 가능성이 매우 높다. 그런 경우에도 모두 “세리신견”으로 부르기는 부자연스러우며, 더구나 세리신견의 세리신 함유율이 피브로인 보다 높지도 않기 때문에 사실과 일치하지도 않는다 (3장3절 참조). 특히, 누에고치 형질에 대하여는 세리신 또는 피브로인 등으로 구별하는 모순 보다 포괄적으로 부를 수 있는 “수용성견” 이 더 타당하다. 본 유전형질을 지닌 누에 및 그 산물은 SS 잠, SS고치, SS단백질, SS실크로 부르는 것이 합리적인 것이다. 두 유전형질이 밀접한 관련성을 지니며 항상 동시에 발현되지만, 목적에 따라 각 형질을 구분할 필요가 있을 경우에는 “SS” 및 “Nd” 로 구분하여 표현하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

그런데, 유전자 이름은 이미 결정된 이름이기 때문에 경솔하게 정정하는 것도 곤란하며, 수용성 고치의 “SS” 형질이 결국 내용인 Nd 형질을 항상 수반할 가능성이 높고 하나의 유전자 이름으로써 표기될 수밖에 없다. 따라서, 유전자명 *Nd-s* 는 그대로 사용하되, “-s” 에 부여될 의미는 현행의 “sericin cocoon”이 아닌 “soluble cocoon” 또는 “soluble silk” 로 개정하여 새롭게 이해한다면, “Nd” 형질과 “SS” 형질을 함축적으로 나타내는 유전자명으로서 *Nd-s* 는 손색이 없을 것이다.

국내에서는 경북대학교 곤충병리연구실의 본 연구팀에 의해 처음 시도된 *Nd-s* 유전형질의 연구목적은, 비전염성 유전질환에 관련된 특이 형질의 유용성 개발이었다 (Ahn et al., 1995; Han, 1998). *Nd-s*계 SS형질은 일본에서 “세리신견”으로 이름지은 바와같이 기초연구는 당연히 일본이 앞서 있지만, 우리는 기초연구의 성과를 바탕으로하되 당초부터 응용이 관심사였다는 것은 본 유전자원에 대한 시각의 차이를 시사한다. 최근에는 국내의

많은 전문가들이 별도의 연구팀을 구성하여 연구에 착수하고 있고, 일본에서도 *Nd-s* 유전자와 수반된 특이적 발육생리의 응용에 관련된 연구가 추진되고 있다 (Yamazaki et al., 1997). 이와같은 연구동향은, 특히 유전자원의 분리 육성 및 유용형질 개발에 관한 연구분야에 기술경쟁이 심화되고 있음을 반영한다. 국내에서는 이와 관련된 연구기관 간에 무모한 경쟁으로 노력을 허비하는 일이 없도록, 전문가들 간에 상호 협력체제를 구성하여 합리적인 연구를 추진해야될 필요성이 있다.

Nd(裸蛹) 계통 유전자는 견사선의 퇴화가 원인이 되어 고치를 짓지 못하는 개체가 다수 발생하게되는 만큼, 생리적 특성상 성장 탈피 등 생존전략에 불리하다. 따라서, 고치를 짓지 않는 개체를 이용할 목적으로 무작정 *裸蛹* 비율을 증대시킬 경우 자연 치사율은 현저히 증가하게 된다. 본 연구팀의 경우 SS 형질을 발견하는 계기를 제공한 치사형 자연돌연변이 누에란 결국, *Nd-s* 유전자를 보유한 누에계통으로서 치사형질 발현이 강한 계통을 의미한다. 이러한 고유의 성질 때문에 치사 개체가 다발하는 *Nd-s* 유전자는, 발굴단계에서 그 동기가 이미 곤충병리와 밀접한 관련이 있으며, 금후의 용도 개발 등에서도 곤충병리학의 기초를 소홀히 한다면 큰 성과를 기대하기 어려울 것으로 예상된다.

2. *Nd* 및 SS 변이계통 누에의 간호사육론

곤충병리학의 입장에서 치사형 돌연변이 계통의 死因을 구명한 결과, 吐絲量이 적거나 또한 실의 물리성이 비정상적이므로, 原死因은 고치실의 分泌異常이었다. 그리고, 非正常的인 고치실 분비에 따라 眠期에 腹肢가 누에자리에 잘 고정되지 못하므로 허물을 벗는데 실패하여 결국 치사하였으므로, 直接死因은 脫皮不全으로 밝혀졌다. 일반적인 사육환경에서는 치사형

돌연변이 계통이라도 치사인자가 直接死因이 아닌 경우, 인공적인 탈피施術로 致死型 돌연변이체가 생존할 수 있다는 理論이 성립된다 (Fig. 2-7).

이와같은 理論을 근거로 창안된 看護飼育法(Nurse Rearing)은 특별한 시술 및 물리 화학적 간호요법을 도입한 사육방식으로 정의할 수 있다 (Ahn et al, 1995; Han, 1998). 따라서, 간호사육을 시도한 결과, 5령 기잡이 될 무렵 최종령의 유충탈피시 다발하는 불탈피잡의 경우, 人工的인 脫皮施術이 특히 용이하였다. 다수의 개체가 人工的인 脫皮施術 등 간호사육에 의해 생존할 수 있었고, 간호사육론은 역으로 특수 누에계통에서 발견되는 치사형 돌연변이에 대하여 병리학의 입장에서 直接死因을 재확인할 수 있는 방법론을 제공할 수도 있음을 입증하였다.

간호사육으로 생존한 계통에서 고치의 물성이 특이한 개체가 관찰되었으므로, 성충화에 성공한 개체는 특이형질 분리를 위한 供與親(donor parent)으로 사용하였다. 탈피율 개선 및 강건성 증대를 위한 backcross breeding 에서 反復親(recurrent parent)은, 청색형광선 일본계 Ab 및 청색형광 중국계 Bb를 도입하였다. 이들 계통은 분광성을 응용한 순계분리 및 교잡육성 단계를 거쳐 일본계 SSA 및 중국계 SSB 로 육성하였다. 일반적인 누에 유전자원 개발은 제사원료견 위주로서 고치실 생산량 또는 품질에 관심이 지나치게 편중되었다. 그러나, 21세기의 무제한 경쟁의 산업체제에서는 특수화 고급화가 경쟁 우위의 확보에 우선 전략이 될 것이므로, 특수형질 또는 특수 누에품종 발굴은 앞으로 더욱 중시될 것이다. 간호사육은 특수 견소재 또는 첨단 생물공학 용도의 신소재 개발과 연계되며, 일반 원료견 품종에 치중된 관행 연구의 범주를 초월하여 다각적이며 차원을 달리한 전개방법의 가능성을 보여주었다.

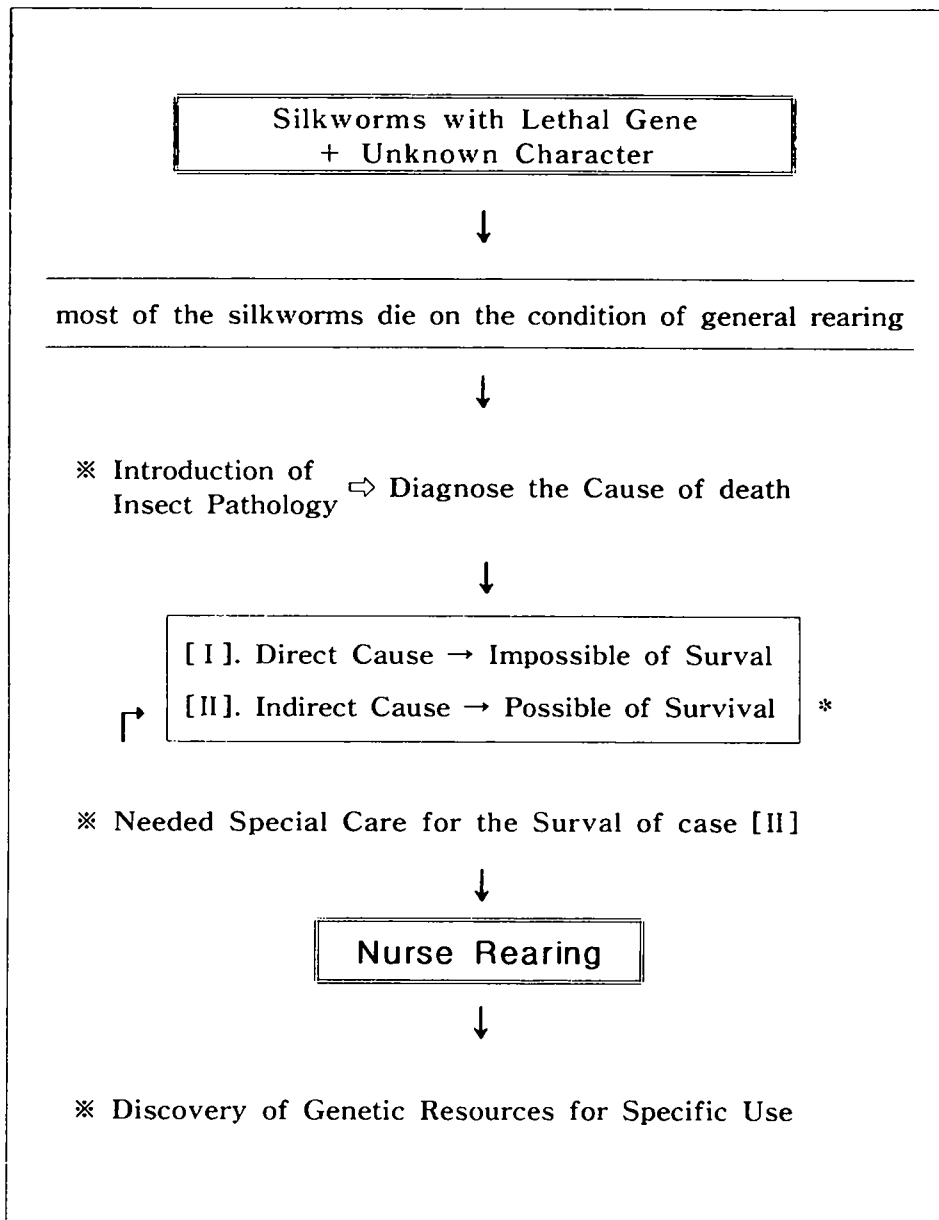


Fig. 2-7. Theory of Nurse Rearing, and its apply to the silkworms with lethal character to isolate unknown genetic resources.

3. Nd-s 계 슈퍼누에의 계보와 연관군 검색

한편, SS 형질은 Nd-s 유전자와 유사성을 나타내므로 연관군 검색을 수행하였다. 유전자 조합 $UNd-s/A \times AA$, $US/A \times AA$, $US/B \times BB$ 의 차대잡에서는 곰무늬(Ursa) 인 경우와 아닌 경우가 1:1로 분리되었으며, U (14-40.5) 유전자를 함유하는 곰무늬 누에를 분리 사육한 결과 모두 SS형 고치를 짓는 것으로 확인되었다.

따라서, SS 형질은 제 14 연관군에 소속되며, 물리화학성의 동질성 등을 고려할 때, 19.2 유전자좌에 위치한 유전자, 즉 Nd-s (14-19.2)에 의해 지배됨을 입증하였다 (Fig. 2-8). 본 결과의 재확인을 위하여 유전자 조성이 $UNd-s/oa \times oa/oa$ 경우 차대잡의 분리비에서 확인되는 SS 형질의 연관관계 및 분리 수집된 SS형 누에고치의 물성 과 비교한 경우에도 재현성이 인정되었다.

SS계통은 매우 독특한 형질로서, 누에가 섭취한 영양분이 체성장 위주로 분배되어 번데기 무게가 97% 이상으로 일반품종의 74%의 1.3배를 넘고, 고치는 얇으며 열탕에서 용해되는 수용성 실크소재를 생산할 수 있다. 또한 SS 계통을 이용한 교잡종 SS×Bb 및 Ab×BS 의 단견중은 2.4g 및 3.0g 정도로서 기존 장려품종 교잡종의 150% 까지 생산량이 증대되는 “슈퍼누에”를 만들 수 있을 것으로 전망되었다.

여기서 “슈퍼누에”의 범주를 규정할 필요가 있는데, 일반적으로 누에의 육종에서 양적인 증대는 관행 품종의 10% 이상을 초월하기 어려운 수준이다. 그러므로 10%의 2배 이상을 초과하는 수준을 기점으로 설정하여, 크거나 체중 등이 관행 장려품종의 120% 수준 이상일 때 “슈퍼누에”로 규정할 수 있다. 양적으로 관행 품종과 동등한 수준 또는 그 이상이면서 질적

으로 관행 품종의 150% 이상에 상당하는 부가가치를 지니도록 개량이 되었을 때에도 역시 “슈퍼누에”로 규정하여 무방할 것으로 생각된다.

Nd-s 계 SS잠은 그 특유의 발육생리 및 견단백질 생합성 상의 특성을 고려할 때, 다음과 같은 용도에서 연구개발 가치를 인정할 수 있었다 :

- ① 섭취한 영양분은 체 성장 위주를 이용되므로 식용 또는 의약품생산 및 재조합 유전자 발현계용 실험곤충으로서 유리하다.
- ② 체구가 큰 “슈퍼누에”는 동충하초 배양에 유리하며, 슈퍼누에가 아닌 경우에도 누에고치가 얇기 때문에 동충하초 생산시 영건 후 감염치사한 고치의 切斷에 소요되는 노력이 절감될 수 있다.
- ③ 누에고치의 92% 이상은 수용성 견단백질이므로, 첨단 신소재용 특수 고분자 견단백질 생산 및 이와 관련된 누에 신제품 개발에 응용될 수 있을 것이다.

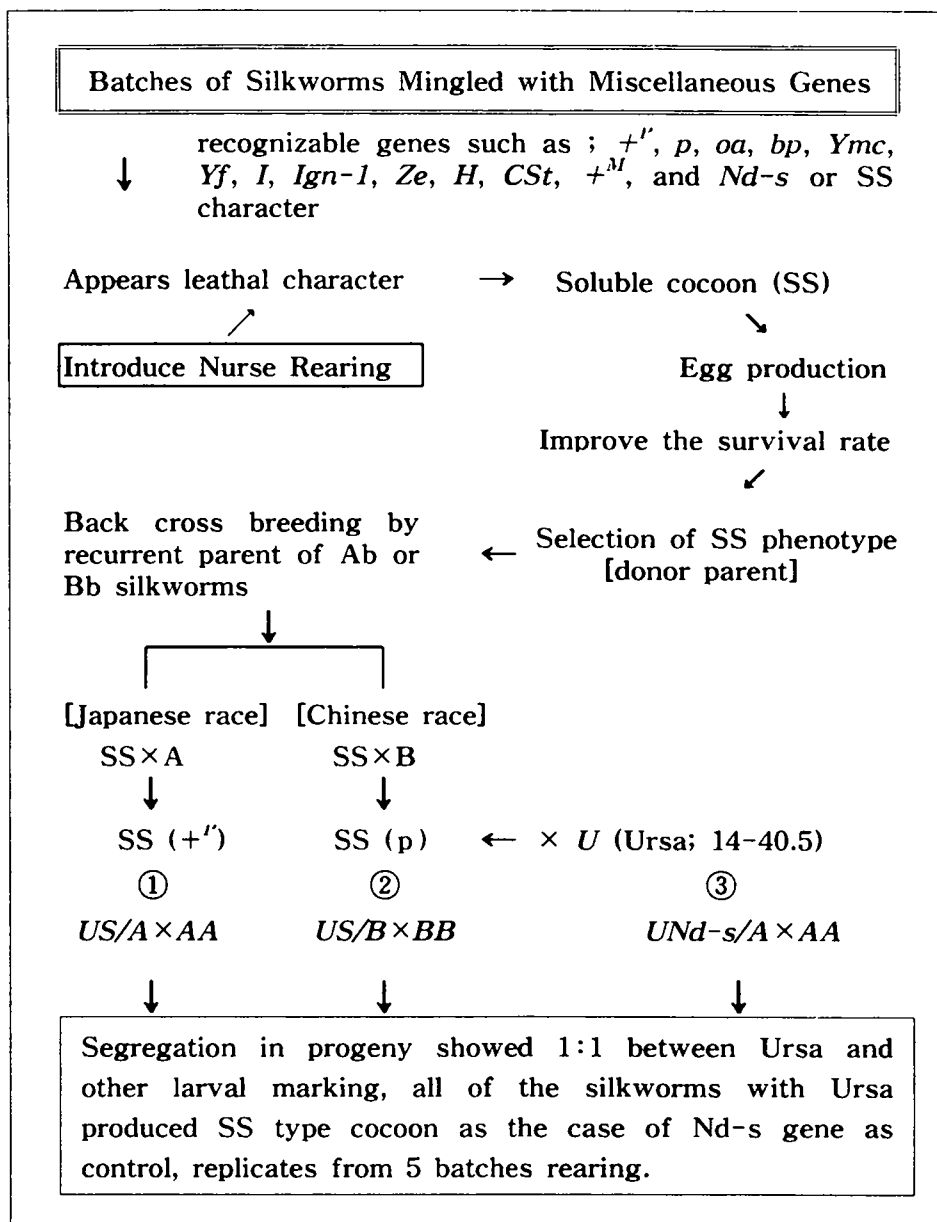


Fig. 2-8. Genealogy and linkage analysis of the genes related to SS character of the silkworm. (The gene of SS character was found as the *Nd-s* (14-40.5))

제5절 결 론

고급 특수건용 유전자원 개발

1. 특수분광성 원료건 생산용 누에품종 육성

紫外線에 의한 누에고치 형광색은 254 nm 에서 보다 近紫外線 영역인 366 nm 에서 더욱 명확하게 구분되었다. 白色繭의 형광색은 청색과 황색을 비롯하여 흰색과 중간색 등이 존재하며, 黃色繭과 기타 有色繭의 형광은 고유색과 무관하게 계통에 따라 황색 청색 회색 분홍 보라 등 다양하게 관찰되었다.

白色繭 장려품종 누에의 원종 및 교잡종 고치는 청색 황색 중간색 형광이 混在하고 중간색을 띠는 개체가 다수를 차지하는 점이 類似하였다. 그러나, 원종에서는 濃靑 및 濃黃色의 발현이 교잡종 보다 현저하여 濃靑色の 비율이 濃黃色 보다 1.7~8.6배정도로 높았으며, 열풍건조한 경우와 생고치의 형광색은 뚜렷한 차이가 없었다. 色立體에서 色座標 상의 양극에 대립하는 黃色 및 靑色 형광은 장려품종에서 純系가 分離되었으나, 藍色, 濃紫色, 淡紫色, 淡黃色, 白色, 기타 中間色은 選拔效果가 없었다. 그러므로 현행 장려품종의 형광색은 靑色과 黃色이 基本色이며 두 형질을 지배하는 유전자의 상호작용으로 중간색과 기타 형광색이 발현되는 것으로 추정하였다.

일본계 원종에서는 白色繭이나 黃色繭 및 기타 有色繭도 형광색의 雌雄別 차이가 인정되지 않았다. 그러나, 供試한 모든 중국계 원종에서 普遍的으로 고치 형광색은 雌繭-靑色系 및 雄繭-黃色系의 對比를 보였다. 고치의 내외층 형광색을 동시에 고려할 때 多數의 중국계통은 限性的 發現이 더

육 뚜렷하여 또다른 중국계통인 限性무늬의 限性率 $99.3 \pm 0.44\%$ 와 유의차가 없었다. 靑色-雌繭 및 黃色-雄繭 기준에 의하면, 중국계통에서 Fc24 및 Dc20 의 雌雄鑑別 效率이 가장 높은 $99.0 \pm 1.00\%$ 및 $98.8 \pm 1.20\%$ 였고, 극소수의 靑色雄繭 및 黃色雌繭은 나방이 되기 전에 대부분 致死하였다. 누에고치 형광색은 簡易 雌雄鑑別이나 표본채취에 유용하며, 分光性의 응용은 누에 遺傳資源 개발 및 系統保存에 편리한 수단을 제공할 것이다.

누대사육 및 선발 육성 결과 형광색 純系의 고정과 遺傳樣式 구명 및 실용성의 개선으로 균일한 靑色 또는 黃色형광 原料繭의 생산이 가능하였다. “특수형광 원료견” 생산이 가능한 새로운 누에계통으로서 “청색형광견” 원종 8계통 및 “황색형광견” 원종 5계통이 육성되었다. 청색형광견은 일본계 원종 Ab, Cb, Gb, Ib 및 중국계 원종 Bb, Db, Hb, Jb 등이며, 황색형광견용 누에의 경우 Ay, Cy, Dy, Gy, Jy 등 5계통을 선발 육성하였다. 균일한 형광색 원료견 생산기술의 확보는 고급 특수화와 관련된 加工 및 利用技術 개발을 위하여 필수적인 전제요건을 제공하였다.

2. 색고치 유전자 발현 검정과 우량계통 수립

각종 고치색을 검정하여 Pink 계, Orange Yellow 계, Yellow 계, Yellow Green 계, White 계 등 5 계통으로 정리하고, Munsell 부호와 한국표준색표 일련번호를 명시하는 동시에 영어 및 한국어 색이름을 규정하였다. 色 이론을 도입한 표색계에서는 공시한 21종의 유색견 고치색은 Pink 계 1종, Orange Yellow~Yellow계 12 종, Yellow Green계 3 종으로서 16 종이 확인되었다. Pink 계는 노랑띵 분홍색 ; Orange Yellow 계는 등황색, 금잔화색, 치자색, 계란색 ; Yellow 系는 해바라기색, 노른자색, 노랑, 벼색, 네이플즈 옐로, 황수선화색, 땅콩색, 크림색 ; Yellow Green 계는 청

포도색, 백연두색, 백합꽃색이 확인되었다. 관용 색이름인 肉色繭은 *F* 유전자가 지배하는 치자색 및 살색으로 세분되며, 藥色繭은 C^{st} 는 벼색, 땅콩색 등을 포함하는 부류로 간주할 수 있었다. 고치색 유전자와 관련된 색파장 범위는 *Pk* 가 593nm, *F* 는 580~593nm, *Grc* 및 *Ga Gb Gc* 계열은 567~570 nm 였으며, *Y* 유전자는 가장 폭넓은 575~593 nm 의 색파장에 관여하였다.

가시광선 스펙트럼 593~567 nm 범위에 7종의 파장을 기본으로 18종 이상의 고치색이 성립되며, 특히 575~584 nm 영역은 유색견 21 계통 중 78% 가 포함되어, 580 nm 를 중심으로 色彩識別閾이 예민한 색파장 영역에서 최소폭의 변화로 다양한 고치색 발현이 가능한 것으로 밝혀졌다. 중부견사선 외층세리신이 정상인 멧누에와 집누에 교잡종($+^Y +^C/Y^A Ymc$)은 고유의 멧누에고치(5Y9/4) 외에 황수산화색 (5Y8.5/8)이 분리되었다. *YC* 발현에서 *Y* 와 동일한 연관군 및 좌위 (2-25.6)인 Y^A , Y^D 등은 누에계통 별 특이 인자가 관여한 결과로 추정되며, 이와같이 C^J , C^{st} 도 *C* 와 동등한 유전자일 가능성이 제기되었다.

녹색견은 *Grc* 와 관계되는 2종의 청포도색, 독립유전 녹색견 *Gc* 와 유사한 백연두색, *Ga* 또는 *Gb* 와의 관련성이 추정되는 백합꽃색이 확인되었다. Pink 계×Yellow 계 고치색은 가법혼색의 경향을 보이고, Yellow 계의 “매우 진한 노랑” 고치 간의 교잡에서는 해바라기색이 우위로 발현되었다. 그러나, 일반적으로 유색견 원종 간의 F1 고치색은 감법혼색의 결과와 유사하며, 교잡종 고치색은 양친의 평균과 비교하여 색파장은 단파장 쪽으로 이동하고 명도와 채도가 저하되는 경향을 나타내었다.

Orange Yellow系와 Yellow系 위주로 우랑계통을 선발하였고, 1차 선발한 계통은 일본계와 중국계 간의 관행 교잡에서와 같이 정도 이상의 잡종강세가 인정되는 상대적인 두 부류를 구분하여 LY系 4계통(Le, Yp, Fn,

Ze) 및 RY系 4계통(Rc, Yg, Yc, Qe)을 육성하였다. 그리고 야생 멧누에 (M계통)은 유충체색 및 반문, 고치 분광성과 천연색, 고치형태 등에 따라 MA, MB, M(A)Y, M(B)Y, M(AB)등 5계통의 유색견을 육성하였다.

유색견용 교잡종으로서 최초로 확립된 LY×RY 는 단견중이 2.69g 으로서 생산성이 높고 속성보급에도 유리한 장점이 인정되었으며, 품종명은 GOLD 즉 “黃金蠶”으로 결정하였다. LY 및 RY 계통 간의 교잡효과는 2세대 이후의 초기단계부터 강하게 발현되며, 육종 과정의 어느단계에서 든 지 교잡종을 제조할 수 있고, 강건하며 고치생산성이 높고 산란성도 우수하였다. 또한, 우수 교배조를 조합한 RYQ는 속성보급용 유색견 잠품종으로서, 계통보존 유색견 계통을 이용하여 단기간에 실용화 가능한 수준이었다

3. Nd-s유전자 및 SS형질과 특수 잠품종 개발

일반적인 사육환경에서는 致死型 돌연변이 계통이라도 致死因子가 直接 死因이 아닌 경우, 특별한 간호 및 물리화학 요법을 도입한 사육방식으로 致死型 돌연변이체가 생존할 수 있다는 理論이 성립된다. 이와같은 이론적 근거에 의하여 창안된 看護飼育法(Nurse Rearing)을 시도한 결과, 소위 치사형 돌연변이 계통으로 간주되는 일부 유전적 不眠蠶의 생존이 가능하였다. 또한, 간호사육법으로 확보된 자연돌연변이 계통으로서 수용성 고치를 짓는 누에형질은 SS계통으로 命名하였다.

이들 계통은 분광성을 응용한 순계분리 및 교잡육성 단계를 거쳐 일본계 SSA 및 중국계 SSB 로 육성하였다. SS형질과 곰누에 (U; 14-40.5) 간의 교잡종을 이용한 연관군 검색 결과, SS형질은 제 14 연관군에 소속되며, 물리화학성의 동질성 등을 고려할 때, 19.2 유전자좌에 위치한 유전자, 즉 Nd-s (14-19.2)에 의해 지배됨을 입증하였다.

Nd-s 유전자를 지닌 SS계통은 누에가 섭취한 영양분이 체성장 위주로 분배되어 번데기 무게가 94% 이상이며, 고치는 얇고 열탕에 용해되는 성질을 나타낸다. 또한 SS 계통을 이용한 교잡종 SS×Bb 및 Ab×BS 의 단견중은 2.4g 및 3.0g 정도였다. 일반적으로 누에 육종에서 양적 증대는 관행 품종의 10% 이상을 초월하기 어려운 수준이기 때문에, 크기나 체중 등이 10%의 2배 이상을 초과하는 수준을 기점으로 관행 품종의 120% 이상인 수준을 “슈퍼누에”로 규정하였다. 또한, 양적으로 관행 품종과 동등한 수준 또는 그 이상이면서 질적으로 관행 품종의 150% 이상에 상당하는 부가가치를 획득한 경우에도 역시 “슈퍼누에”로 간주하는 기준을 설정하였다.

따라서, 기존 장려품종 교잡종의 130% 이상 생산량이 증대될 것이므로 슈퍼누에품종 생산에 응용될 수 있으며, 다음과 같은 용도에서 개발가치를 지닌 것으로 전망되었다 : ① 체 성장 위주이며 누에고치가 얇기 때문에 동충하초 생산시 감염치사가 늦어질 경우 영견 후 절견에 소요되는 노력을 절감할 수 있고, 의약품생산 및 재조합 유전자 발현계용 실험곤충으로서 유리하다. ② 수용성 견단백질이 92.3% 이상으로서, 첨단 신소재용 특수 고분자 견단백질 생산 및 이와 관련된 누에 신품종 개발에 응용될 수 있을 것이다.

제 3 장 특수 견소재의 분광학적 구명

제1절 서 론

집누에 (*Bombyx mori mori*) 고치의 견섬유는 생체 친화성을 지니며 구조 전이가 용이하여, 의류용 외의 섬유 및 분말, gel 의 형태로 식품이나 화장품첨가물 등에 이용되고 있다. 또한 silk fibroin film에 효소를 고정화한 bio-sensor 를 비롯하여 고기능성 신소재로서의 개발 가능성이 높다 (Demura & Asakura, 1989 ; Demura et al., 1989). 이와같이 미래형 첨단 신소재로서 활용가치가 기대되는 견섬유는 물리화학적 구조와 기능적 특성의 연관성을 구명함으로써 용도 개발을 위한 체계적이고 과학적인 접근이 가능하다. 여기에 활용된 주요 분석방법은 핵자기공명법(NMR), 적외선분광분석(FT-IR), 시차주사열량측정(DSC), 아미노산 및 원소분석 등이었으며, 누에고치 기타 원료견은 1단계에서의 분광성은 자외선에 의한 형광색을 주로 이용하였고, 2단계의 물리화학적 조사에는 위에 제시한 분광학적 정밀 분석 방법을 도입하였다. 그러므로, 본 과제는 방법론적으로 “분광학적 연구”로 특징지을 수 있으며, “원료견”은 목적과 수단이 고도의 다양화 추세를 보이는 최근 양잠 현장에서 취급하는 제사원료견 및 잠체성분 기타 견소재의 포괄적 의미로 규정한다.

시험용 견은 일본계 Cj19 누에로부터 순계분리 및 누대선발에 의해 육성된 균일한 황색형광의 Cy19 누에고치를 이용하였고, 정련 효과의 비교에는 동일 선조인 Cj19 에 유래하면서 균일한 청색형광의 Cb19 누에고치와 비교하였다. 견단백질의 Tyr 거동은 [1-¹³C]-Tyr 및 ¹⁵N-Tyr 부분이

labeling 된 원료견을 사용하여 조사하였으며 (isotopic labeled *Bombyx mori* cocoon), labeling 은 10%의 [1-¹³C]-Tyr 및 ¹⁵N-Tyr (99.5% ¹³C enrichment, Isotech Co., Miamisburg, Ohio, USA)을 뿔잎에 도달하여 5령 5일째 누에 한 마리 당 10~12mg 을 첨식하였다.

고체 분말시료 및 배향시료는 Rhee & Yeo (1996)와 동일한 방법으로 조제하였다. 액체시료는 정련된 피브로인 섬유를 9M LiBr 수용액과 함께 40°C에서 1시간 처리하고, 흐르는 물에서 4일간 투석하여 완전히 염을 제거한 다음 5%(w/v)가 되도록 농축시켰다. 그 다음 Orange II염 (Tokyo Kasei Co. Ltd.)을 넣어 최종적으로 각각 3%(w/v) 및 1.6 %(w/v)의 농도가 되도록 조절하였다. 또한 수소이온 농도에 따른 Tyr 잔기의 거동은 Orange II염과의 혼합용액의 pH 7.0~12.0 범위에서 조사하였다.

¹³C NMR의 측정은 25°C 의 상태에서 JEOL FX- 90Q NMR 분광광도계를 사용하여 측정하였다. 이때의 화학적 이동의 기준은 tetramethylsilane, (CH₃)₄Si을 외부기준으로 하여 benzene 피크를 기준으로 나타내었다. [1-¹³C]-Tyr 및 [¹⁵N]-Tyr 정련견사 및 미정련 견사의 배향시료는 그 섬유축을 배향축으로 4.5×4.5×12(mm) 크기로 만든 후에 JEOL EX-400 NMR 분광기를 사용하여 25°C에서 각각의 고체 CP (cross polarization) 배향 NMR 스펙트럼을 측정하였다. 시료는 정련견사와 미정련견사에 대하여 섬유축 (배향축)의 각도를 정자장 방향에서 0° , 30° , 60° , 90° 각도에서 측정된 스펙트럼의 simulation으로 부터 성분의 정량적인 차 및 microfibril 섬유의 배향을 조사하였으며, 그 외의 조건은 Rhee & Yeo(1996)의 방법과 동일하게 하였다.

제2절 특수 형광색 견소재의 분광학적 특성

1. 특수 형광색 견사의 물리 화학적 성질

특수 고급화 소재의 개발을 위해 발굴 육성된 누에 유전자원을 이용하여 물질 생산단계 까지 성공한 경우, 다음 단계로서 견소재의 물리화학적 특성에 관한 해명이 필요하다. 특수 소재로서의 가치 판단 또는, 새로운 용도개발의 가능성 검토를 위한 물리 화학적 특성의 구명에 있어서 먼저, 기본적인 성상의 조사 및 일반 섬유 용도로서의 물리적 성질을 조사한 결과는 다음과 같다.

Instron을 이용한 원료견사의 강신도 측정은 cut strip method (KS K 0520법)에 준하였고, 시료는 4반복으로서 재료당 5반복 시험치의 평균으로 성적을 산출하였다. 21d (21중)의 견사를 조사한 결과, 청색형광견사의 강신도는 4.5g/d, 21.6% 였으며, 현행의 품종의 누에고치에서 제조한 국산 생사는 4.3g/d, 21.8%였다. 균일한 청색형광을 띤 특수생사 (BFS)는 대조구의 관행 생사에 비하여 5% 정도 강도가 우수하였으며, 伸度(elongation)는 큰 차이가 인정되지 않았고, 고치실의 섬도는 평균 2.07d 로서 시험구와 대조구가 동등하였다 (Table 3-1). 따라서 형광색 형질의 개선에 따라 견사의 강신도 등 일반적인 성질의 지하 등 부작용은 전혀 없으며, 오히려 물성이 개선되는 경향이 인정된다.

새로 개발된 견소재의 열에 대한 저항성을 파악하고, 일반 견사와 비교하기 위하여 용점측정기에서 온도 상승에 수반되는 시료의 연화점 (softening temperature) 과 용점(melting point)을 측정하였다. 특수견소재 개발을 목적으로 생산된 생사 BFS 는 연화점 204~210℃, 용점 240~

245℃로서, 일반 생사의 연화점 200~205℃, 용점 235~240℃ 와 거의 같거나 다소 높은 수준을 나타내었다 (Table 3-2).

고급 견소재 개발을 위한 원료견의 분광학성은 견사의 균일성을 통한 고급화는 당연히 포함되지만, 해서울과의 직접적인 관련성이 제기된 만큼 견사의 품질에 큰 영향을 초래할 수 있다 (Kataoka and Imai, 1985). 누에고치 형광색 - sericin 溶解性 - 고치실의 폴림새 - 조사능율 - 품질 - 의 관계에 착안하여, 균일한 형광색 고치를 생산하므로써 고품질 원료견을 생산하려는 본 과제는 1995년도 착수되어 최종 성과를 보고하게 되었다. 그런데, 최근에는 일본에서도 이와 관련된 연구가 추진되고 있으며, 해서울이 좋은 원료견의 경우 황색형광 누에고치 비율이 월등하게 높은 성질을 이용하여, 형광색에 따라 고치를 선별하여 품질 향상을 도모하려는 시도가 있다 (Ajisawa, 1998). sericin 의 용해성이 불균일하면 繰絲張力의 차이가 생겨서 실의 폴림새가 고르지 않고, 해서사장과 해서사랑에 직접적으로 불리한 영향을 주며, 마디가 많이 생기거나 강신도가 나빠져서 繰絲능률의 저하는 물론 품질 향상에 부정적인 요인이 된다.

제사원료견의 균일성 제고를 위해, 청색 및 황색형광의 단일종의 형광색고치를 생산할 수 있는 누에품종이 개발된다면, 繰絲능율 및 견사의 품질 향상을 기할 수 있을 것이라는 가설이 제시된 바 있다 (Oku, 1933; Hamano and Okano, 1988). 본 연구개발 과제를 통하여, 그와같은 가설이 실현 가능함을 입증하였으며, sericin 정련감량의 呑齊-성에 의한 품질 저하를 막을 수 있다. 또한, 균일한 형광색 고치가 확보되므로써, 형광색의 차이가 품질에 미치는 영향을 더욱 명확하고 정밀하게 구명할 수 있게 되었다. 육비 1 : 50(v/w)의 증류수에서 120℃ 로 50분간 정련하였을 때, sericin 정련감량은 황색형광견이 27.1%로서 청색형광견의 24.2% 보다 높았다 (Table 3-3). 그러므로 황색형광 원료견의 해서울이 양호한 원인이

Table 3-1. Comparison of strength and elongation between the raw silk of blue (BFS) and general (control) fluorescent produced by the silkworm strain of newly bred and traditional wild type : each of the replicates presented mean from 5 data, estimated by cut strip method (KS K 0520) with Instron

Replicates	Strength (g/d)		Elongation (%)	
	BFS	Control	BFS	Control
1	4.38	4.16	20.67	22.54
2	4.61	4.35	19.90	23.72
3	4.53	4.29	22.82	19.79
4	4.38	4.30	22.87	17.82
Mean	4.48 ± 0.338	4.28 ± 0.235	21.57 ± 1.144	20.97 ± 1.520

Table 3-2. Comparison of softening temperature and melting point between the raw silk of blue (BFS) and general (control) fluorescent produced by the silkworm strain of newly bred and traditional wild type

Softening temperature (°C)		Melting point (°C)	
BFS	Control	BFS	Control
204 ~ 210	200 ~ 205	240 ~ 245	235 ~ 240

sericin의 용해도가 높기 때문인 것으로 입증되었으며, 원료건의 형광색이 불균일한 경우 sericin 용해도의 불균일로 플림새가 고르지 않게 된다. 제사 공정에서는 조사능율이 떨어지는 것은 물론, 縲絲장력이 불균일하고, 플림새가 불량하여 마디실 고착실 갈린실 영킨실 등이 발생할 우려가 높으므로 품질의 저하를 초래한다.

세리신 용해도에 기인하는 품질 저하로서 견사의 경우는, 제조(winding) 섬도(sizingt) 사조반(evenness) 대중절 소절(neatness), 강력(strength) 신도(elongation) 포합(cohesion) 정련(scouring) 등 검사성적의 저하이다. exfoliation 성적 불량 lousiness 발생 등을 비롯하여, 견직물에서는 경사반(mixed warp), 경사땡김(tight thread), 위사반(mixed filling), 위사땡김(tight filling), craping defect, shinning, nap, chika, floating, 등 결점의 발생율이 증가한다. 또한, 정련감량의 조절이 어렵기 때문에 주문제작의 경우 견직물의 중량 조정 등에도 불리한 영향을 초래하여 수출 견직물류의 규격을 조정하기 어렵게 된다.

특히, 누에고치는 고온다습 조건의 상족 등 환경요인에 의해서도 해서율이 저하된다고 하지만, 일관성 있는 시험결과를 얻기 어렵고, 상족 환경의 과습 조건과 고치형광색 간의 관계도 명확하게 밝혀져 있지 않다 (Kataoka and Imai, 1986). 상족 습도와 고치형광색, 인공사료 및 상업육 간의 고치형광색 등에 관하여 명확한 결론을 유도할 수 없었던 이유는 고치형광색이 균일하지 않는 누에품종을 사용했기 때문인 것으로 고찰할 수 있다. 그런데, 본 과제를 수행하므로서 개발된 황색형광견은, 고온 다습한 조건에서 상족할 경우 누에고치는 과도한 습기에 노출된 부위의 형광색이 청색으로 변색됨을 알 수 있었다.

황색형광견 계통은 상족 후 과습상태의 영견조건에서 발현된 청색형광이 유전적인 청색형광 보다 어둡고 질감에 다소 차이가 있었다. 그리고, 뿔

繭 과정에서 고치의 모든 부위가 상대습도 100% 에 가까운 극도의 과습환경에 노출된 경우를 제외하고는 습기에 노출된 부위에 한하여 특이적으로 청색이 발현되었다. 따라서, 유전적인 청색형광의 경우 환경조건에 큰 영향을 받지 않으며, 고치 전체에 고르게 나타나는 점과 구별되었다. 양잠현장에 황색형광견 계통을 위주로 보급될 경우, 상족후 족중관리상태에 따라 결정되는 원료견의 플림새는 형광색의 검사 만으로도 쉽게 판정할 수 있다. 이와같은 기술은 특히 상족 시기가 장마철과 겹치게 될 때, 족중 관리의 철저로 원료견의 품질에 부응하는 등급 판정과, 해서불양견의 출하를 사전에 예방할 수 있는 기술로 활용될 수 있으며, 새로운 품종 육성에도 응용될 수 있을 것이다.

생사 제조에 있어서 繅絲능을 및 품질 향상을 위한 제사기기 또는 물리 화학적 공정 등 기계적 요소는 고도의 자동화와 첨단 기술을 실현하였으나, 원료견의 질적 개선이 없이 기계 및 화학공학적인 공정의 개선 만으로는 고품질화의 한계에 도달한 상태이다. 해서불양은 생사 제조시의 생산효율 및 생사품질과 깊은 관계에 있다는 사실에 입각하여, 상호관계의 구명을 위한 유전적 요인, 영견시의 환경조건, 수견 후 원료견의 보존 및 취급조건 등을 고려한 종합적인 연구를 추진하여 왔다. 그 이상의 품질 향상을 위하여는 고급 원료견 생산을 위한 기술전략으로서, sericin 용해도가 균일한 우량품종의 육성을 시도한 바 있다. 현재까지 얻어진 결론을 종합적으로 고찰할 때, 해서울이 다른 누에품종은 sericin 조성에 차이가 있는 등 유전적 요인이 존재함은 분명한 사실이다 (Haga, et al., 1991).

그러나, 지금까지는 방법론은 해서가 양호한 품종을 집단선발하거나, 해서가 불량한 품종을 도태하는 등 개체단위의 선발이 불가능하였다. 명확한 표지 유전자를 이용하지 못하고 개체단위가 아닌 막연한 개체군 단위의 선발을 시도한 방법론의 한계로 큰 성과를 얻지 못하였다. 형광색에 착안한

본 연구에서는 견사의 품질 및 생산능율에 관련된 유전적 요인을 고치실의 해서와 관련성을 확인하고, 그와 관련된 물질의 특성과 기능 즉 세리신의 용해도와 형광색 간의 관계 구명이 결정적인 근거를 제공하였다. 그 다음, 우수계통의 선발 단계에서는 개체군 단위가 아닌 “개체단위 선발”로서, 標識 유전형질인 고치형광색을 이용하므로써 고치실의 폴립새 및 기타 물리 화학적 성상이 균일한 누에의 육종이 가능하였다. 성상이 균일하며 고품질화에 유리한 누에고치를 생산이 가능한 누에품종을 보급한다면, 해서울 및 균일성에 절대적인 영향을 미치는 고급화 기술상의 가장 중요한 문제를 해결할 수 있을 것이다.

기타 해서울에 관련이 있을 것으로 예상되는 견충의 蠟물질 즉 지질 등도 주로 sericin 층에 존재하며, C₁₄-C₄₂의 직선 및 분지상 구조의 탄화수소 화합물 또는 C₁₆-C₂₉의 연속된 n-paraffin 혼합물로 알려져 있다 (Iwa, 1998). 그리고 低溫조건에서 繅絲가 가능한 품종은 sericin 의 3 성분 (S-1, S-2, S-3) 중에서 S-2 존재하지 않는 등 품종에 따른 변이도 밝혀져 있다 (Haga, et al., 1991). 그리고, 고치실의 폴립새가 양호한 원료건의 sericin 성분 조성은 친수성 아미노산 함량이 많은 특징도 구명되었다. 이에 관한 상세한 연구는 저에너지 고품질 제사기술 개발의 새로운 가능성을 시사하며 금후 추구해야될 과제이지만, 문제점 해결의 핵심은 역시 sericin 에 귀착된다. 고급 특수화와 관련된 지속적인 연구는, 가잠 견사의 저온繅絲 뿐 아니라 야잠사의 해서울 향상 등을 위하여도 더욱 효율적이며 새로운 고품질 및 특수화 기술의 개발이 가능할 것이다.

1995년도 본 과제가 추진된 이후, 형광색이 균일한 원료건이 개발되므로써, 견사 및 견직물 품질 향상에 있어서 문제시 되었던 기술적인 한계를 실질적으로 해결할 수 있는 주요 성과물로 평가된다. 일본에서도 고치형광색에 관한 연구에 새로운 관심을 보이게 되었으며, 최근에는 당면한 해서

불양의 단기적인 개선방안으로서 형광색과 관련지어 다음과 같은 기술대응책을 제시하였다. 즉, 제사원료건은 고유의 분광학성에 따라 개체별로 선별하고, 형광색 특성에 따라 별도로 구분된 고치 집단에서 생사를 제조한다는 기술내용이다 (Ajisawa, 1998). 그러나, 본 연구과제의 수행을 통하여 밝혀진 형광색 형질의 특성을 참조할 때, 현실적으로 일본에서 제시된 방법은 다음과 같은 이유 때문에 실용화가 불가능함을 알 수 있다.

- ① 수백만~수천만개 이상의 원료건을 하나씩 개체별로 선별하는 일은 일반적인 제사공장에서 현실적으로 거의 불가능하며, 시간과 노력이 많이 소요되므로 고급화가 가능할 경우라도 과중한 인건비를 부담할 수 없게된다.
- ② 형광색의 색광은 명도 채도 색상대비 등의 효과가 증폭되므로, 명료한 황색 또는 청색과 인접한 고치는 고유색을 판별하기 매우 어렵고, 육안 선별은 곤란하다.
- ③ 만일 고액의 자동 선별기를 개발하더라도 불가능한 이유는, 일반 누에품종의 wild type 원료건은 고치 외층과 내층 형광이 다른 경우가 있어서 외부 형광의 관찰 만으로는 정확한 선별이 불가능하다.
- ④ 외층 형광색의 경우도 황색 및 청색형광이 혼재하는 개체가 있어서 선별기준이 애매 모호하여, 선별이 곤란하거나 분류집단의 구분이 복잡하고 비효율적이다.
- ⑤ 황색형광건의 경우 상족조건이 과습환경일 때 청색을 띠게 되므로 고유의 유전적 청색형광과 환경요인에 의한 청색형광의 구별이 번거롭고, 그에 따른 원료건의 취급방침이 모호하다.

Table 3-3. Difference of sericin solubility (%) between the blue and yellow fluorescent cocoon by autoclaving at 121°C for 45 min. after chopping the shell : with reference to the data of boiling for 10 min. in water reported by Ajisawa (1998)

Replicates	Sericin solubility (%)	
	Blue fluorescent cocoon	Yellow fluorescent cocoon
1	24.8	26.9
2	23.2	27.3
3	24.6	26.8
4	24.4	27.9
5	24.0	26.6
Mean	24.2±0.28	27.1±0.23
Referred to Ajisawa	20	30

2. Tyrosine 거동과 실크 고분자의 구조 해석

집누에 견단백질을 구성하는 아미노산 중 Tyrosine (Tyr)은 피브로인의 비결정 부분을 구성한다는 이론과 함께 이와 상반된 주장도 제기되고 있다 (Takahashi, 1983). Tyr 함량은 5% 정도로서, Tyr 잔기는 탄소골격의 쇄운동(chain dynamic)과 결합부위의 강화등에 중요하며 (Asakura, 1994), Tyr 방향환의 거동은 열 및 광선에 의한 견섬유의 황변현상에 관여하는 것으로 밝혀져 있다 (Matsubara, 1993). 이러한 사실을 감안할 때, 고체 및 용액 상태의 견단백질에 대하여 국소적환경에서 Tyr 잔기의 거동을 파악하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 분광학적 방법에 의하여 견단백질의 Tyr 잔기에 대한 정량적 해석을 검토하였다.

청색형광 누에고치는 세리신 함량과 무관하게 항상 청색을 나타내었지만, 황색형광 고치는 정련처리 후 황색형광이 소실되고 피브로인 고유의 청색형광 만이 관찰되었다. 황색형광 고치를 정련하여 366 nm 자외선(UV) 하에서 황색형광이 완전히 소실된 경우 연감율은 27 % 였다. 그러므로 정련 견섬유에서는 미시구조상 피브로인 분자 내에 황색형광 물질이 존재하고 있지 않는 것으로 판단되었다. 따라서, 견섬유에 함유된 세리신이 제거된 정도를 용이하게 판별할 수 있는 황색형광견을 이용하여 Tyr 잔기의 거동을 분석하였다. ^{15}N -Tyr의 고체 CP NMR의 스펙트럼에서 정련견사에는 피브로인만의 구조에 관한 정보가 관찰되었으며 (Fig. 3-1A), 미정련 견사의 경우 세리신에 함유된 황색형광이 관찰되므로 세리신 분자를 구성하는 Tyr 신호와 피브로인을 구성하는 Tyr 신호가 동시관측된 것으로 판단되었다 (Fig. 3-1B). 이 스펙트럼은 미시적 차원에서 섬유분자 내의 결정 또는 비결정 부위를 반영하므로, ^{15}N 은 수소결합에 의한 분자축 간의 각도를 추정할 수 있는 정보를 제공하는 동시에 그 분자축의 각도를 달리하는 성분이

나 배향의 정도를 달리하는 집합체의 존재를 파악할 수 있다 (Asakura et al., 1984).

집누에 견단백질의 결정부분을 구성하는 아미노산 조성은 glycine, alanine, serine 성분이 약 85%이상을 차지하는 것으로 확인된 바 있다 (Kweon & Park, 1994). 결정 및 비결정의 구조는 서로 다르며, 세리신과 피브로인의 구조 또한 다를 것이므로 Fig. 3-1 에서 A 및 B 의 두 스펙트럼을 비교하고 그 성분을 분리하므로써 ^{15}N -Tyr 의 분자축에 대한 해석이 가능하였다. 즉, 피브로인 중 Tyr 의 미시적 분자의 성분을 나타내는 동시에 피브로인을 구성하는 microfibril의 배향을 나타내는 Fig. 3-1A 의 스펙트럼 simulation 에서는 배향의 정도를 나타내는 성분(P)이 54° 로 나타났다. 본 결과는 결정상태인 ^{15}N -Gly 잔기가 배향된 부분이 83° 로 82% 존재한다는 사실(Rhee & Yeo, 1996) 과 비교할 때, 무정형은 아니며 결정인 경우와도 다른 점을 주목해야 한다 (Table 3-3).

한편, ^{15}N -Tyr 에서 섬유축과 N-H의 각도는 ^{15}N -Gly 잔기와 같은 83° 로 산출되었으므로 분자축의 각도를 달리하는 집합체의 성분은 인정되지 않았다. 따라서, ^{15}N -Tyr 의 경우 ^{15}N -Gly 과 같은 긴 섬유축을 중심으로 N-H의 방향은 변함이 없으면서 다소 완화된 배향을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 본 연구 만으로 ^{15}N -Tyr 의 잔기가 결정 또는 비결정부분을 형성한다고 단정지을 수는 없으나, polyamide 계의 어떤 섬유는 비결정의 부분이 집합체로 존재할 수 있다는 연구결과를 고려할 필요가 있다 (Asakura et al., 1994). 그러므로, 만일 피브로인의 Tyr 잔기가 비결정부분을 형성한다고 가정할 경우라도 고치실의 토사 과정에서 견단백질에 작용되는 물리적인 영향을 감안할 때, 배향을 이룰 가능성은 충분하다. 그러나, Tyr 잔기는 연구자에 따라 결정부위, 혹은 비결정부위를 구성한다는 상이한 의견이 제기되고 있어서 정확한 결론을 내리지 못한 상태이다

(Takahashi, 1983 ; Asakura et. al., 1994). 그런데, Fig. 3-1의 결과를 종합할 때 피브로인의 Tyr 잔기가 결정부분을 구성한다고 보기에는 미흡하며, 비결정 부분을 구성한다는 견해가 더 타당한 것으로 밝혀졌다. 따라서, ^{15}N -Tyr 은 “무정형 상태에 가까우면서도 어느정도의 배향을 이룬 집합체”로 간주할 수 있었다.

세리신은 섬유상 단백질이 아닌 球狀 단백질 및 수용성의 단백질이며, I ~ V의 층상구조를 형성하고 (Komatsu, 1980), 또한 세리신 만으로는 배향 시료를 만들기 어렵다. 미정련 견사의 ^{15}N -Tyr 에는 약 30% 정도의 세리신 분자축 배열이 포함될 것이므로 Fig. 3-1B의 스펙트럼에서 피브로인의 스펙트럼을 구별하므로써 세리신에 관한 정보를 추적하였다. Fig. 3-1B의 두 성분 중 Fig. 3-1A와 유사한 스펙트럼은 피브로인의 성분이며, 피브로인의 스펙트럼과 명확한 차이를 보이며 저자장 측에서 관측되는 작은 스펙트럼은 세리신의 ^{15}N -Tyr 잔기 배향을 나타낸 것으로 동정하였다. N-H의 각도는 저자장 측으로 갈수록 섬유축을 중심으로 벌어지기 때문에 (Rhee & Yeo, 1996), Fig. 3-1B의 simulation에서 저자장측의 半值幅(half width)이 넓고 크기가 비교적 작은 스펙트럼 성분은 섬유축을 중심으로 N-H의 각도가 벌어졌다고 볼 수 있다.

피브로인의 배향 54° (Fig. 3-1A)를 기준으로 Fig. 3-1B의 simulation에서 배향의 분포를 산출한 결과, 세리신의 Tyr으로 추정되는 성분이 40% 존재하고 그 배향의 정도는 훨씬 낮은 23° 로 나타났다. 또한 N-H의 각도의 계산치는 50° 였다 (Table 3-4). Tyr이 40%로 계산된 결과는 연감률 27%와 다소 거리가 있으나, 배향의 분포를 나타내는 23° 는 분자축의 배향이 거의 무정형에 가깝다고 말할 수 있을 것이다. 분포각도가 낮을수록 거의 무정형(비결정)에 가깝다는 이론을 고려하는 동시에 누에가 토사할 때의 배향 상태를 감안할 때, 피브로인 주위를 피복하고 있는

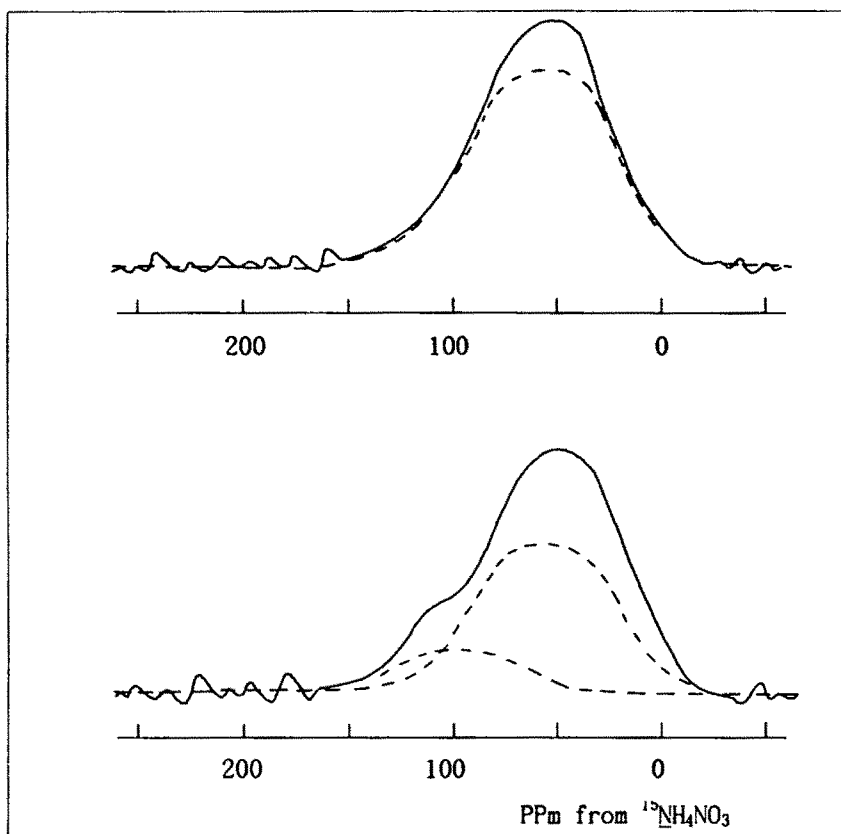


Fig. 3-1. Comparison of the experimental (solid line) and calculated (broken line) ^{15}N -Tyr CP-NMR spectra parallel to the magnetic field for degummed (A) and non-treated silk fibroin fiber (B).

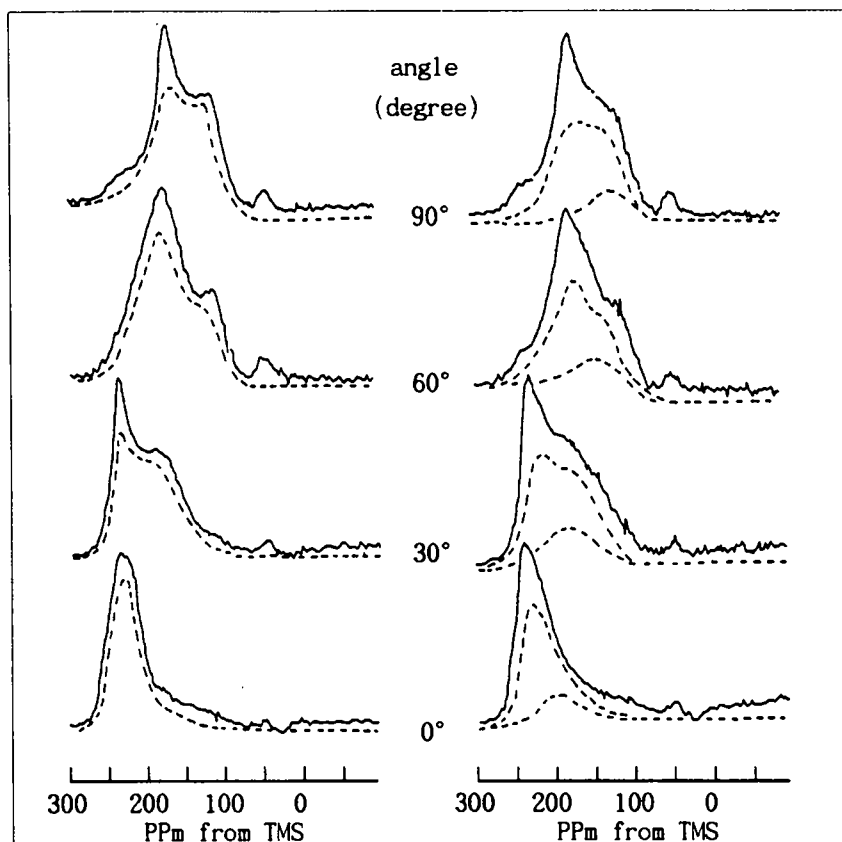


Fig. 3-2. Angular dependence of spectral pattern of $[1-^{13}\text{C}]$ -Tyr silk fibroin fiber : A, degummed ; B, non-treated silk fibroin fiber.

Table 3-4. Comparison of the spectra simulation data of ^{15}N -Tyr and $[1-^{13}\text{C}]$ -Tyr labelled *B. mori* silk fiber.

Items	^{15}N -Tyr			$[1-^{13}\text{C}]$ -Tyr		
	degummed	non-treated		degummed	non-treated	
Content(%)	100*	60*,	40**	100*	55*,	55**
P(degree)	54	54,	23	58	56,	20
N-H(degree)	83	83,	50	-	-	-

p, orientational distribution around the silk fibroin.

*, component of *B. mori* silk fibroin.

** , component of *B. mori* silk sericin.

세리신의 Tyr 은 무정형에 가까운 것으로 인정된다. 이러한 결과를 재확인하기 위하여 $[1-^{13}\text{C}]$ -Tyr 배향시료의 몇가지 각도 의존 스펙트럼 결과, 정련견사 (Fig. 2A)와 미정련 견사 (Fig. 3-2B) 모두 ^{15}N -Tyr (Fig. 3-1) 보다 복잡한 스펙트럼이 관측되었다.

특히 배향축이 正磁場의 방향과 0° (평행)인 경우와 90° (수직)인 경우 명확하게 다른 양상의 스펙트럼을 보였다. Fig. 3-2A의 정련견사는 단일 성분으로 simulation 이 가능하였으며, 그 함량 및 배향의 정도(P)는 Fig. 3-1의 성분을 기준으로 거의 같은 정도였다. Fig. 3-2 에서 점선으로 표시한 스펙트럼의 simulation 결과를 Fig. 1과 비교 검토하였으며, 동정 결과는 실선 (실측 스펙트럼)과 점선 (simulation)의 계산치가 가장 작게 나오게 하는 이론을 바탕으로 최종 결과를 확정하고, 그 결과를 종합하여 정리하였다 (Table 3-4).

3. Orange II 염료 및 황변현상과 Tyr 잔기의 상관

Tyr 방향환의 거동은 열 및 광선에 의한 견섬유의 황변현상에 관여하는 것으로 밝혀져 있으며 (Matsubara,1993), 고유의 결합방식이 염료와의 반응기구에 대한 단서를 제공해줄 수 있는 가능성을 가지고 있다. 그러므로, 견섬유의 Tyr 잔기와 Orange II 염료 간의 상관관계에 따른 변화를 조사하는 한편, 균일한 형질의 형광색견 (Han, 1997)을 이용하여 견섬유의 Tyr 잔기와 Orange II 염료 간의 상관관계에 따른 변화를 조사하였다.

견단백질에 Orange II 염이 존재할 경우 피브로인 분자의 일정 부위와 반응하여 결합할 것이므로, 결합된 상태에 대한 수소이온 농도 의존성은 NMR의 특성을 이용하므로써 결합 분자의 국소적 환경에 대한 변화를 감지할 수 있었다 (Fig. 3-3). Orange II 염료 함유 집누에고치 피브로인 수용액의 방향환 및 Tyr 내 탄소의 신호를 나타내는 NMR 스펙트럼에서, Tyr의 분자구조에 착안하여 벤젠환의 운동을 추적함으로써 OH 그룹의 탈수소화 거동이 관측되었다.

여기서 carbonyl 탄소의 화학적 이동 (chemical shift) 범위를 170~177 ppm (Rhee & Yeo, 1996)으로 동정하였고, 표기되어 있지 않는 그 외의 피크는 전부 Orange II의 피크로 동정되었다. Fig. 3-3에서 주목할 부분은 Tyr의 골격을 구성하는 벤젠환의 탄소 신호로서, C^γ, C^δ, C^ε, C^ζ의 피크이며, 그 중에서도 특히 Tyr 분자에서 벤젠환의 회전이 가능한 C^γ, C^ζ부분의 신호로부터 화학적 이동에 관한 거동을 파악할 수 있다. Orange II의 피크 중 pH 7에서는 다른 pH 영역에 비하여 피크의 半值幅이 넓은 편인데, 이와 비교할 때 중성영역을 벗어나는 pH 8 이후부터 점차적으로 좁아지는 양상을 나타내고 있다. 또한 Orange II 피크는 pH 8 이상으로 높아질수록 그 분리의 양상이 더 빠르게 나타나게 되며, 그것은

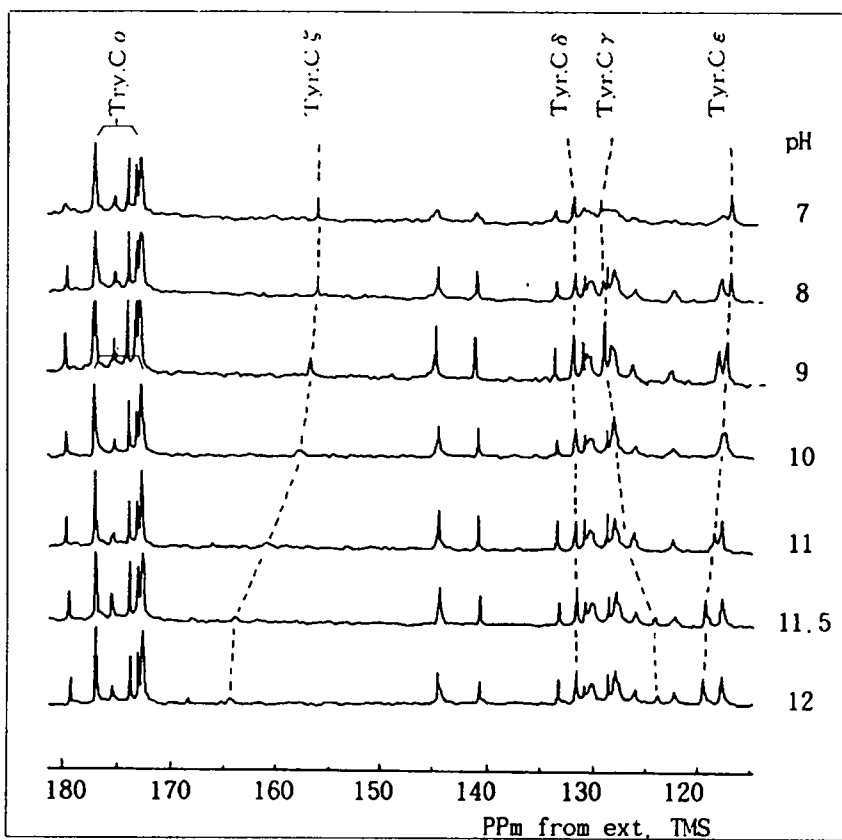


Fig. 3-3. ¹³C NMR spectra of the aromatic and carbonyl regions of *B. mori* silk fibroin-orange II in aqueous solution as a function of pH.

어떤 영향 또는 상호작용의 결과 Orange II 분자가 분해되고 있음을 의미한다.

이러한 변화는 Tyr 잔기의 탈수소화에도 영향을 미친다고 볼 수 있는데, 특히 pH 10에서 부터 pH 11 및 pH 11.5 부근에서 급격한 화학적 이동을 나타내는 곡선이 관찰된다 (shift). pH10 이하의 조건에서 화학적 이동의 변화가 일어나지 않았던 것은 Tyr 과 Orange II 분자 간에 별도의 소수적 상호작용에 따른 영향을 받고 있음을 의미하고, 그것이 탈 수소화로 부터 Tyr 잔기의 OH 그룹을 보호하고 있기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 이는 또한 Tyr 측쇄와 Orange II 분자 간 환의 집적의 효과에 기인하는 것으로 추정된다.

피브로인 수용액은 산성영역에서 gel화가 일어나므로, Tyr 의 수소이온 농도 의존성은 중성영역을 기점으로 알칼리측의 범위에서 추적하였다. 또한 Orange II 염료는 전형적인 이온결합형으로서 염료분자는 하전되기 쉬운 상태이므로, 일반적으로는 pH3 내외의 산성 조건에서 염색한다. 그러므로, 염착량이 현저히 저하되는 알칼리 조건에서 Orange II 와 피브로인 간의 화학결합에 관한 정보는 입수하기 어렵다. 한편, 피브로인은 알칼리 조건에서 쉽게 용해되는 동물성 단백질이므로 알칼리 조건에서의 황변현상과 관련된 분자차원의 화학반응 또한 해명된 바 없다.

본 실험에서 밝혀진 Tyr 잔기의 탈 수소화 반응을 참작할 때, 알칼리 조건에서 일어날 수 있는 황변은 중성영역을 벗어나는 pH 8 이후 부터 시작되고, pH 10 부터 가속화 되며, pH 11.5 부터 정점을 이룬다고 추정할 수 있다. 이 결과는 높은 pH 영역일수록 현저한 화학적 이동은 Tyr 잔기 내의 O⁻ 그룹과 Orange II 분자의 SO₃⁻ 간의 정전기적 반발에 의하여 탈 수소화가 용이하게 일어난다는 의미로 해석할 수 있었다. Orange II와 결합된 집누에 견단백질을 이용한 NMR 스펙트럼은 분자 수준에서 Tyr 방향

환의 거동이 견섬유의 황변에 작용한다는 가설 (Matsubara, 1993)을 뒷받침하는 실험적 증거를 제공하였다. 그리고, 분광학적 방법에 의한 정량적 해석을 통하여 견 피브로인에 존재하는 소수 작용기의 상호작용이 분자화학 반응에 상당한 영향을 준다는 사실도 밝혀졌다.

집누에 견단백질의 화학적 구조를 해명함에 있어서 다양한 관점과 방법이 도입될 수 있지만, 아미노산 배열과 특정 아미노산의 역할에 착안한다면, 용도 개발 및 염색 가공기술 개선을 위해 보다 체계적인 접근방식을 제공할 수 있을 것이다. 특히 화학구조 상 소수성을 띠는 Tyr 은 효소반응에서 활성부위로서의 기능에 관하여 보다 체계적으로 추구할 필요가 있으며, 아울러 피브로인 분자와 염료 및 주요 가공제 간의 화학반응 등에 관한 분자 화학적 구조 해명에 관한 연구에 있어어도 분광학적 방법은 크게 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

제3절 수용성 견소재 “SS”의 분광학적 특성

견단백질 합성에 관련된 돌연변이는 고치를 잘 짓지 못하는 일반적인 특징 외에, 고치를 짓는 경우에도 얇은 고치 또는 열탕 처리에 가용성인 고치를 짓는 경우가 알려져 있다 (Banno, 1995 ; Gamo, 1980). 이와 같은 돌연변이 유전자로는 제3염색체상의 薄紙繭 (*flc*, 3-39.0), 제14염색체의 세리신견 (*Nd-s*, 14-19.2), 제25 염색체의 裸蛹 (*Nd*, 25-0.0), 기타 Nd^H , $Nd-t$, $Nd-s^D$, $Nd-b$, 등이 있다. 그 중에서 Nd^H (25-0.0)는 *Nd*와 대립관계에 있으며, $Nd-s^D$ (14-?)는 *Nd-s* 와 대립관계에 있다 (Gamo and Sato, 1985). *Nd-t*는 제23 및 25 염색체 융합으로 발생한 T(23:25)*Nd*이며, $Nd-b(-)$ 는 裸蛹b, $Nd-s^D$ 는 DES (diethylstilbestrol) 처리에 의해 유발된 세리신견이다 (Banno, 1995 ; Gamo, 1980).

이와같은 유전형질은 제 2장에서 논한 바와 같이 *Nd* (裸蛹; naked pupa) 및 SS (水溶性絹; water soluble silk) 가 있으며, 그 중 SS견은 특이한 수용성에 관련된 특성의 개발가치가 주목된다 [* 裸蛹은 고치를 짓지 않는 누에를 뜻하며 일반곤충학 용어의 정의와 다름]. 제사 원료견으로서의 전통적인 용도로서 SS 형 누에고치는 세리신 성분조성에 주목한 해서울의 관계 구명에 이용되고 있다 (Haga et al., 1988; 1991). 그러나, 수용성 누에고치 즉 SS 고치를 구성하는 SS 실크 고분자 자체의 특수용도 개발 가능성을 중시하여, SS 견단백질의 물리 화학성에 관하여 중점적으로 구명코자 한다. 특히 수용성인 실크고분자 SS 견은 원천적으로 순수한 상태로서 gel, sol, film, powder 등의 제조에 용이하며, 의료 및 비의료용 실크 coating, 화장품, biosensor 또는 bioreactor 기타 기능성 재료로서 응용범위가 매우 넓기 때문에 무공해 고급 특수 소재로서 개발이 기대된다.

수용성 고치단백질의 용도 개발에 관련된 연구로는 sericin을 이용한 흡수성 polymer 제작이 시도된 바 있으며, 이 때 용출된 견단백질의 분자량이 60,000 이하가 되면 吸水能이 현저하게 떨어지므로 일정한 크기 이상의 분자량이 요구된다 (Akiyama et al., 1993). 실크 고분자가 물에 불용성인 경우 용출이 번거롭지만, 수용성인 경우에는 열탕에서 간단한 처리로 sol 또는 gel 상태로 분리되어 고분자 상태로 얻기 쉽다. 그리고, 유기용매를 이용한 견단백질 용액에서는 나중에 용매를 제거하는데 어려움이 있다. 수용성 견단백질인 경우 수분을 쉽게 제거할 수 있으며, 원천적으로 유기화합물이 첨가되지 않으므로, 투석을 비롯하여 불필요한 용매의 제거를 위한 특별한 조작이 생략된다. 실크 고분자는 그 외에도 효소 고정화 연구 (Asakura et al., 1988; Demura, et al., 1992; Demura and Asakura, 1989; Asakura et al., 1994; Furuhashi et al., 1996a, 1996b), 첨단 신소재로서 성형 가공에 관련된 용해 (Goto et al., 1990) 및 필름이나 분말의 제조 (Demura et al., 1991; Yoshimizu and Asakura, 1990a) 등의 연구가 활발하게 전개되고 있다.

실크 구조의 해명은 단순한 현상의 이해를 초월하여, 보다 높은 기능성의 요구를 충족시키기 위한 기초 이론의 확립과 방법론의 체계화를 전제로 한다. 분자의 형태 및 구조에 관한 연구도 상당한 진전을 보이고 있다 (Asakura et al., 1991b, 1992; 1993b; 1994; Ishida et al., 1990; Nicholson et al., 1993; Yeo et al., 1994; Yeo et al., 1996; Yoshimizu and Asakura, 1990b). 따라서 구조와 기능에 관한 연구는 분자운동의 해석과 물성의 발현 또는 분자설계에 필요한 정보를 제공할 것이다. 실크 고분자의 연구는 반도체 기억소자의 1만배 이상을 증대시킬 수 있는 Biochip이나 분자스위치 개발 Biosensor 또는 Biosensor 등 첨단 생물 신소재로서의 이용가치 개발을 위한 연구로 전개될 수 있을 것이다.

1. Nd-s계 수용성견(SS)의 FT-IR 분석

Nd-s 유전자에 의해 발현되는 형질 중에서 SS (水溶性絹; water soluble silk) 고치단백질은 수용성에 관련된 물리 화학적 특성의 개발가치가 주목된다. 일반 견단백질의 주 성분 중에서 물에 불용성인 fibroin 및 수용성 성분인 sericin 을 SS견단백질과 비교 분석하기 위하여 시료는 다음과 같이 준비하였다. 먼저 fibroin 은 Cy 계통 황색형광견 누에고치를 이용하였으며, 1×1mm 이하로 잘게 썰어서 1%(w/v) 마르셀 비누액에 육비 1 : 50(v/w) 으로 100℃ 에서 30분간 정련하였다. 비누용액에서 정련 후 증류수로 5회 washing 하여 세리신을 제거하는 일련의 정련과정을 2회 반복한 다음, 건조 후의 정련상태는 분광학적 특성을 응용하여 자외선 하에서 청색형광을 기준으로 정련상태를 재확인하였다. 잘게 썰어서 준비한 누에고치의 일부는 육비 1 : 25(w/v)의 증류수에 넣고 autoclaving (121℃, 30min) 하여 추출된 세리신은 액온이 낮아져서 gel 로 된 다음에 동결건조하여 분석하였다.

모든 분자들은 일반적으로 고유의 진동을 하고 있으며, 고유의 진동을 하고있는 분자에 적외선(IR) 파장을 연속적으로 조사하면, 분자 고유의 진동과 같은 수의 주파수는 흡수되고, 분자구조에 대응하는 스펙트럼을 얻을 수 있다. 적외선 분광분석 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy ; FT-IR) 결과, sericin (A), SS cocoon (B), fibroin (C) 은 각각 특유의 spectrum 을 나타내었다 (Fig. 3-4).

1,800 cm^{-1} 및 600 cm^{-1} 에서는 fibroin 의 특징을 잘 나타내고 있으며, 1,650 cm^{-1} 부근의 Amide I, 1,500 cm^{-1} 부근의 Amide II, 1,200 cm^{-1} 부근의 Amide III, 650 cm^{-1} 부근의 Amide IV 흡수대가 인정된다. 특히, random coil 또는 α -helix 구조에서 전이된 1,500 cm^{-1} 부근의 Amide II

및 $1,200\text{cm}^{-1}$ 부근의 Amide III 구조는 fibroin 에서 뚜렷하였다. SS견 에 서도 fibroin 의 존재를 반영하는 흡열피크가 인정되나 그 강도 및 량적 감 소가 뚜렷하고, sericin 에서는 특징적인 피크가 명확하게 관찰되지 않았다.

결정영역에 관여하는 $3,200\text{cm}^{-1}$ 의 shoulder 부분에서 sericin 의 IR spectrum (A)은 SS견 (B) 및 fibroin (C) 과 비교할 때 명확한 차이를 보 였다. $3,200\text{cm}^{-1}$ 의 shoulder 및 $1,200\text{cm}^{-1}$ 의 Amide III 흡수대는 그 특성 상 IR-crystallinity 를 정량적으로 산출할 수 있는 영역으로 알려져 있으므 로, 상대적인 수치로 부터 crystallinity를 계산하였다 (Table 3-5). 그 결 과 결정부분의 비율은 sericin (A)이 약 30%, SS견 (B)은 44%, fibroin (C)은 70%로서, SS견이 sericin 보다 무정형 구조를 더 많이 함유하였다.

결과적으로 SS견과 sericin은 화학적 조성이 다르지만, 구조적 특성이 거의 무정형에 가깝다는 사실을 알 수 있었다. 특히 $1,200\text{cm}^{-1}$ 의 Amide III 흡수대는 random coil 부분과 β 구조의 공존을 반영하므로, SS견의 경 우 spectrum의 peak는 소량의 fibroin 성분을 함유하는 것으로 인정할 수 있다(Fig. 3-4B).

Table 3-5. FT-IR crystallinity of the soluble silk from SS type* cocoon produced by *Nd-s* gene, as compared with normal fibroin and sericin of the silkworm, *Bombyx mori*

Silk Samples	Fibroin	Sericin	SS type silk
FT-IR Crystallinity	70%	30%	44%

* SS type cocoon shells with *Nd-s* gene could be dissolved by boiling in water.

2. *Nd-s* 계 수용성견(SS)의 DSC 측정

SS견은 sericin 과 달리 fibroin의 존재가 인정되지만 수용성이므로, 특이한 구조가 예상되며, 측정온도 범위 내에서 일정하게 온도를 증가시키면, 전이가 일어나는 온도로부터 구조상의 특징에 관한 정보를 얻을 수 있다. 전이현상을 보이지 않는 기준물질의 에너지 공급량은 일정하게 유지되지만, 측정용 시료는 특정온도에서 전이가 일어나고, 이에 따라 공급되는 에너지의 양은 변화할 것이기 때문이다.

시차주사열량측정 (Differential Scanning Calorimetry ; DSC)에서 관찰된 흡열곡선은 위로부터 sericin (A), SS견 (B), fibroin (C) 이며, 100°C 이하에서 실크분자 간 수소결합에 기인하는 extended configuration의 분해 양상이 각기 독특하게 나타났다 (Fig. 3-5). 즉, fibroin (A)은 74°C 부근에서 흡수된 물의 휘발에 의해 β -configuration의 파괴가 발생하고 있음을 의미한다. 이와 같은 흡열피크가 SS견에서는 (B) 34°C 및 84°C에서 두 번 관찰되므로, 수분을 흡수하기 쉬운 구조적 특징을 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 그리고, sericin의 경우 (C) 다소 복잡한 양상을 보이며, β -configuration을 형성하지 않는 것으로 알려져 있지만, 본 시험 결과에서 I ~ IV의 결정구조를 형성하는 특성을 부정할 수 없는 사실과 관련이 있을 것으로 생각된다. 그러나, sericin은 fibroin 보다 훨씬 낮고, SS견에 비하여 다소 높은 48°C 부근의 온도에서 수분에 의한 구조적 변이 또는 수분 흡수가 용이하다는 사실을 알 수 있었다.

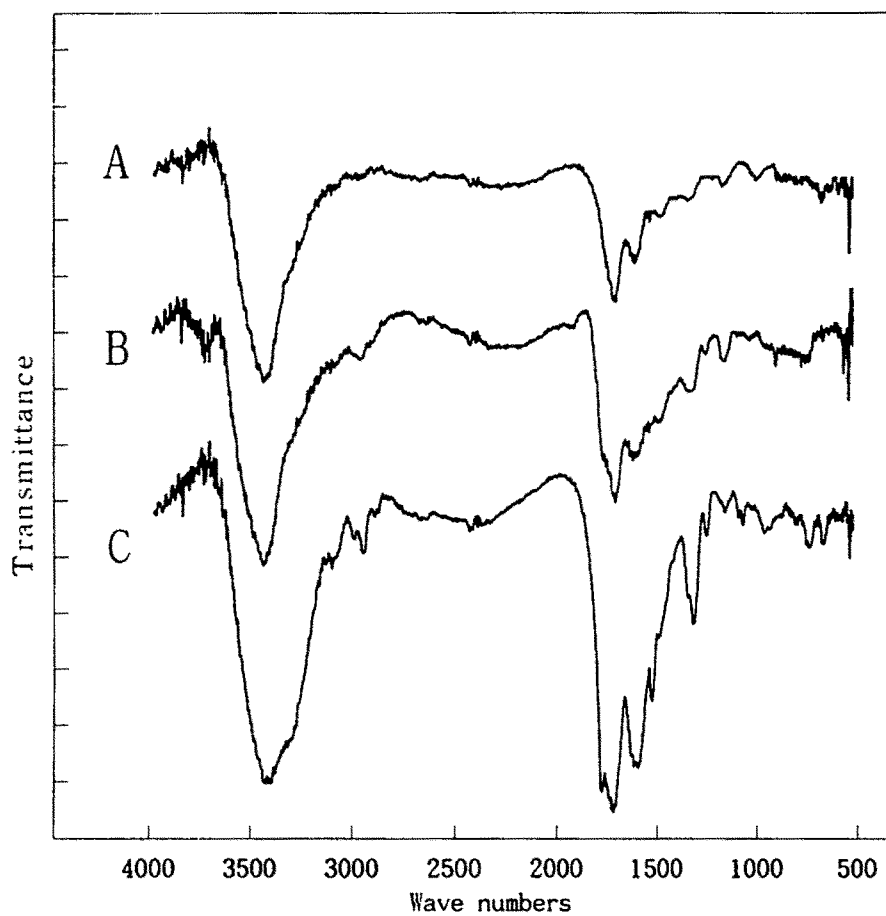


Fig. 3-4. FT-IR spectra of the sericin (A), SS type silk (B), and fibroin (C), produced by the silkworm, *Bombyx mori* : silks of A and C produced by normal gene, while that of B by abnormal mutant with *Nd-s* gene.

또한, SS견의 유리전이점(glass transition temperature ; TG) 은 110℃ 로서, fibroin 보다 10℃ 이상 높기 때문에 그만큼 열적 성질이 강하다는 결론을 얻었다. 300℃를 전후한 위치의 broad한 피크는 polypeptide 가 완전히 분해되는 온도로서, fibroin은 정확하게 333℃에서 분해되었음을 보여준다. SS견은 명료한 구조적 차이를 나타내며, 190℃에서 매우 완전한 피크로서 α -helix 결정 내 분자활동이 활발해지고 326℃에서 β -form 으로 변한 다음 분해한 것으로 추정된다. 이와같은 DSC 곡선은 SS견이 fibroin 보다 α -helix 구조를 더 많이 함유하고 있으며, fibroin 도 함유하고 있음을 동시에 입증하였다.

견단백질의 열분해에 있어서 300 ℃ 이상의 온도영역에서 관찰되는 흡열곡선에서는 分子配向도가 높은 精練絹 fibroin 이 分子配向도가 낮은 fibroin 보다 낮은 흡열피크를 나타낸다 (Tshkada et al, 1988). 그러므로, 일반 fibroin의 333℃ 보다 낮은 온도의 326℃에서 분해된 SS견 단백질에는 分子配向도가 높은 fibroin 의 존재 가능성을 의미한다.

3. SS잡의 유전자형과 SS견의 DSC 분석

실크 고분자를 고기능성 소재로서 개발하기 위하여 분자설계 및 구조 해석에 관련된 방법론의 확립을 위해 실크 생합성에 관한 생물공학적인 접근 방식이 시도되고 있다 (Asakura et al., 1990, 1991a, 1993a; Yeo, 1996). 이와같은 노력과 병행하여, 실크고분자 생합성에 관여하는 누에 고유의 유전형질 발현에 관하여도 유전형과 표현형에 대한 정밀한 검토가 요구된다. 특히, 여기서 주목하는 표현형이란, 단순한 외관이나 촉감을 다루는 종래의 기준과 다르며, 고분자 구조를 반영하는 차원에서 물리 화학적 성질의 표현형을 의미한다.

*Nd-s*에 유래하는 SS 형질은 *Nd-s* (14-19.2)와 동일하게 *U* (14-40.5)와 연관관계에 있으므로 제14연관군의 19.2 유전자좌에 위치할 것으로 예상되지만, 이와 관련된 실크 고분자의 구조적 차이점을 명확히 규정할 필요가 있다. 제2장에서 제기한 바와 같이, *Nd* 계통 누에의 *Nd* 형질(裸蛹)과 SS형질(수용성견)은 동일한 *Nd* 계통 유전자에서 발현되어도 엄밀하게는 별개의 유전형질이다. 수용성견(SS) 형질에 관련된 이와같은 주장은 유전자형(genotype)과 표현형질(phenotype)인 실크 고분자의 구조 분석을 통해 명확하게 입증할 수 있을 것이다.

실크 고분자에 관한 근층유전학 이론의 도입과 물리화학적 분석 간의 접목을 통하여 유전자형과 실크 고분자 구조의 표현형에 관한 정보를 얻을 수 있다. 이를 위한 표현형의 물리화학적 분석에는 수용성 고치 누에계통으로부터 생산된 homotype 고치를 S/S, 정상적인 일반 견형질을 +/+, 그리고 SS 및 +/+ 간의 F1인 hetero 형 고치를 S/+ 으로 규정하고 DSC를 측정하였다 (Fig. 3-6). 여기서 DSC 측정온도 범위가 Fig. 3-5와 다르므로 40°C 이하의 저온 및 400°C 이상의 고온 영역에서의 변화는 측정되지 않았으나, 74°C 및 84°C 에서는 전형적인 흡열피크가 인정되었다.

각 유전자 조합별 누에고치의 DSC곡선은 그림의 상단으로부터 S/+ (A), S/S (B), +/+ (C)를 나타내며, hetero 형인 F1 고치 S/+는 homo 형인 양친 S/S 및 +/+ 의 중간적인 성질을 나타내었다. 즉, S/+ 의 표현형질은 fibroin 및 SS견의 물리화학적 성질이 혼합된 상태의 물리화학적 성질로 인정할 수 있으며, fibroin 함량의 우열관계는 S/S < S/+ < +/+ 로 판단된다. 따라서, *Nd-s*잡의 후부견사선에서 소량이긴 하지만 fibroin의 mRNA가 합성되며, 量的 우열관계는 *Nd-s/Nd-s* < *Nd-s/+* << +/+ 로 알려진 생리유전학적 연구의 결과와 일치하였다 (Suzuki, 1974). *Nd-s* 잡의 고치도 fibroin을 함유하기 때문에 (Tsukada et al., 1988), 본 시험

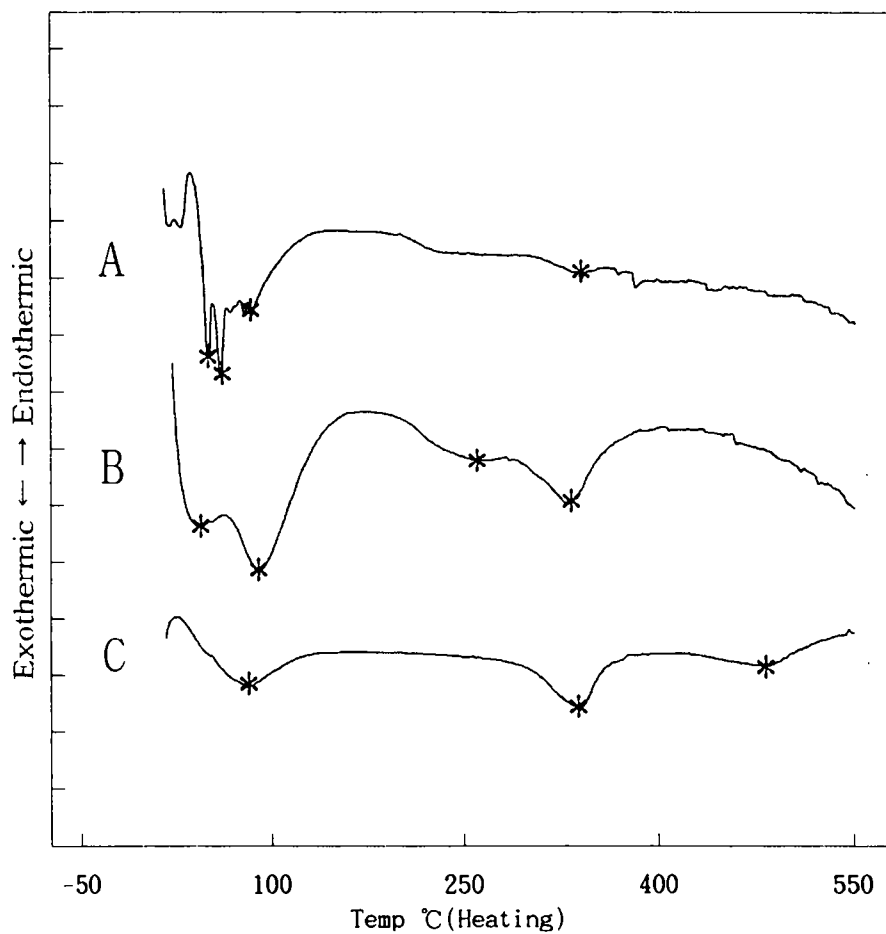


Fig. 3-5. DSC thermograms of silk sericin (A), SS type silk (B) and fibroin (C).

에서 fibroin 의 존재가 확인된 SS건은 제2장 3절의 연관군 검색 결과 등을 종합할 때, *Nd-s* 계 SS 임을 재확인할 수 있었다.

*Nd-s*잠의 경우 변이계통인 *s-2^v* sericin을 합성하며, 정상누에와의 교잡종 차대(F2) 에서 정상 및 *Nd-s* 잠이 분리되지만, 이 때 *s-2^v* 형질은 *Nd-s*잠과 정상잠에 무작위로 분포하였다 (Gamo, 1980). 그러므로, 실크 고분자 변이 유전자는 裸蛹 형질(*Nd*)과 별도로 존재한다는 사실이 입증된다. 이러한 결과는, 현재까지 알려진 *flc* (3-39.0), *Nd-s* (14-19.2), *Nd* (25-0.0), T(23:25)*Nd*, 등에 관한 일반적인 견해로서 fibroin 구조유전자의 돌연변이는 아닐 것으로 추정되고 있다.

*Nd*잠에 있어서 유전자 조성이 homo 및 hetero 인 경우 모두 fibroin H鎖의 mRNA가 합성되지 않으므로 (Gamo, 1980), *Nd* 는 *Fib-H* (25-?) 발현에 관여하는 조절유전자의 돌연변일 것이라는 주장이 제기된 바 있다. 그러나, 분자유전학적 연구 결과, *Nd* 유전자는 fibroin H 유전자 (*Fib-H*) 가까이 위치하지만, *Fib-H* 구조유전자 및 조절유전자에 정상인 누에와 명확한 차이가 인정되지 않았다 (Hyodo et al., 1982).

한편, *Nd-s* 누에의 경우에는 fibroin의 저분자 아단위 (*Fib-L*)가 존재하지 않는 등 정상적인 누에와의 차이점이 구명되어 있다 (Gamo and Sato, 1985). 견사의 단면구조에 관한 형태학적 관찰에서 *Nd-s* 견은 fibroin 으로 구성된 core 부분이 중심부에 치중되어 위치하며, *Nd* 견은 이와 다르게 線狀이며 무작위하게 혼합되어 있는 상태로 존재한다. fibroin 함량은 *Nd-s*가 *Nd* 보다 많으며, 견물질의 분비양상에서도 *Nd-s* 및 *Nd* 간에 뚜렷한 차이를 인정할 수 있다 (Tsukada, 1988). 그러므로, *Nd-s* 및 *Nd* 잠은 견단백질 생합성 뿐 아니라 분비기능 상의 차이를 동시에 야기하는 유전자의 존재를 의미한다. 따라서, 두 계통에서 생합성되는 실크 고

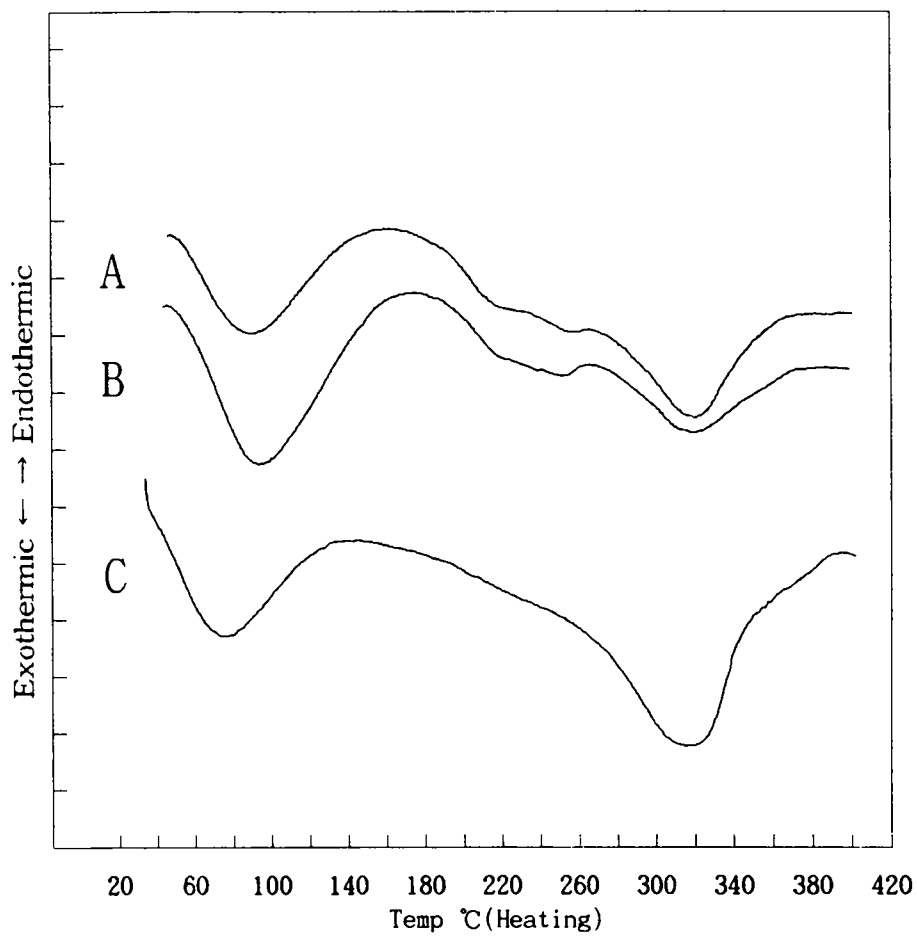


Fig. 3-6. DSC thermograms showed the difference of phenotype silk proteins by the genotypes, S/+(A), S/S(B), and +/+(C) in the silkworm, *Bombyx mori*.

분자는 아미노산 조성, 용해성, 열적 특성, 결정구조, 등의 독특한 성질을 나타내게 된다 (Zhu et al., 1996).

그런데, *Nd-s*계 SS견은 정상 누에의 중부견사선 前區에서 다량 분비되는 세리신의 *S-2* polypeptide (분자량 180,000d)가 없는 대신 *S-2^V* polypeptide (164,000d)가 존재한다. 이와같이 *Nd-s*계 SS견은 fibroin의 L鎖가 결여된 외에 sericin 성분도 정상 누에와 다른 특성을 지닌다. 이와는 대조적으로, DES 처리로 유발된 *Nd-s^D*의 경우에는 표현형이 외관상 *Nd-s*와 매우 유사함에도 불구하고, sericin의 성분은 정상이라는 점에 명백한 차이가 인정된다.

*Nd-s*계 SS견은 제14 염색체에 존재하는 *Fib-L* (14-?)의 변이로서 L鎖 fibroin 합성 저해의 결과 누에고치의 fibroin 함량이 매우 적은 동시에 수용성을 나타내는 등, 물리화학성이 특이한 견단백질이 합성되었음을 보여준다 (Fig. 3-6). 한편, *Nd*계의 SS견은 제25 염색체 상의 fibroin H鎖 유전자인 *Fib-H* (25-?)의 변이에 의해 H鎖 fibroin 합성 저해로 간주할 수 있다. 그런데 *Nd-s*계 SS견은 fibroin 합성 저해로 sericin만 합성하는 것이 아니라, L鎖 fibroin이 결여된 대신 H鎖 fibroin 위주로서 보통 견단백질보다 α -helix 구조를 더 많이 함유하는 특수한 물리적 성질을 나타내게 되었다.

裸蛹의 정도가 매우 강한 변이계통으로서 *Nd* (2)는 제25 염색체 상의 fibroin H鎖 유전자 변이이지만, 제14 염색체에 존재하는 *Fib-L* 유전자에 작용하여 fibroin L鎖가 존재하지 않게 된다. 이와같은 경우 *Nd* (2)잠에서는 *Fib-H* 유전자의 轉寫단계에서 억제되므로 H鎖가 합성되지 않으며, *Fib-L* 유전자는 정상이므로 후부 견사선 세포 내에는 L鎖가 합성되어 있다. 그런데도 불구하고 fibroin L鎖가 존재하지 않는 이유는, H鎖의 부재

로 H鎖 간의 결합이 불가능하게 되며, 그 결과 L鎖의 분비가 저해되기 때문일 것으로 생각된다.

Nd잠은 Golgi 장치가 극히 작고 변형되어 있으며 후부견사선에는 정상 누에와 다르게 전자밀도가 높은 과립이 관찰되지만, Nd-s잠은 Golgi 장치가 정상이지만, 그 액포 내에 fibroin 전구체가 관찰되지 않는 경우가 많다 (Gamo and Sato, 1985). 결과적으로 두 계통은 모두 fibroin 합성량이 상당히 감소하게 되는 문제가 생기지만, Nd계 SS견은 H鎖 결합에 의해 독특한 물성의 실크 고분자가 합성된다. 그리고, Nd-s계 SS견은 L鎖 결합이므로 H鎖 결합인 Nd계 SS견과 달리, 각기 성질이 특수한 견단백질을 합성할 수 있게 될 것이다.

H鎖 및 L鎖 fibroin 유전자는 상호 우성적인 대립유전자로서 서로 다른 염색체 상에 존재하며, 돌연변이 계통에서는 유전자 간의 상호작용 결과 특수한 단백질을 합성할 수 있다. 실크 고분자의 생합성과 분비에 관한 기초 생리유전 및 생화학적 연구는 생체고분자 물리 등의 분과와 접목을 시도할 가치가 있다. 이와같은 연구 개발의 시도는, 특수 기능성 실크 고분자 개발 등 응용 생물공학 연구에 매우 흥미롭고 진취적인 과제로서 새로운 가능성을 제시한다.

제4절 황견잠 및 특수 견소재의 성분 분석

1. SS견의 아미노산 조성과 물리적 성질

*Nd-s*계 SS견을 이용하여 아미노산을 분석하고, fibroin 및 sericin을 각각 공시하여 그 특성을 비교한 결과, *Nd-s*계 SS견은 fibroin 또는 sericin 과 다른 독특한 성분조성을 나타내었다. fibroin은 결정부분에 관여하는 것으로 보이는 glycine (Gly), alanine (Ala), serine (Ser)이 85% 이상을 차지하며, Gly 42.9%, Ala 30.0%, Ser 12.2% 로서, 특히 Gly 과 Ala 함량이 많은 특징을 보였다. 한편, sericine은 Gly 13.5%, Ala 5.6%, Ser 33.4% 로서, 특히 Ser 함량이 현저히 높아서 fibroin 의 2.7배 이상을 기록하며 fibroin 에 비하여 aspartic acid (Asp), Glu (glutamic acid), arginine (Arg) 함량이 상대적으로 많았다. 그런데, SS 견은 Gly 41.9%, Asp 14.86%, Ser 8.83%로서, Gly이 많고 Ser 및 Arg 함량이 적음은 fibroin과 유사하지만, Asp, Glu 가 비교적 많고 Ala 가 적은 점은 serine 과도 닮은 중간적 특성을 나타내었다 (Table 3-6).

소위 “세리신견” 이라는 이름을 지닌 *Nd-s*계 SS견은, 실제로 sericin 의 주 성분인 serine 의 함량이 오히려 fibroin 보다 적고, 실크 분자의 돌연변이에서도 sericin 보다는 fibroin의 L鎖의 변이가 더 현저하였다. 그러므로, *Nd-s* 또는 *Nd* 등에 수반되는 바 물리적 성질이 특이한 견형질은 “수용성 누에고치”로 규정하고 “SS형질”로 간략하게 표기하는 방식 (제2장 4절)이 타당함을 지지할 수 있다.

견단백질을 구성하는 소수성 아미노산에 대한 친수성 아미노산 함량비는, sericin에서 7.7, fibroin은 1.9, 수용성 실크인 *Nd-s*계 SS는 3.4로서,

Table 3-6. Amino acid composition of water soluble cocoon (SS) in comparison with normal fibroin and sericin of the silkworm, *Bombyx mori* : comparative composition of high(◀) and low(◁) in fibroin, high(●) and low(○) component in sericin, different from neather of fibroin nor sericin (※)

Amino acids (%)	<i>Bombyx mori</i> Silk Proteins		
	SS cocoon	Fibroin	Sericin
Arginine (Arg)	0.34 ◁	0.50 ◁	3.10 ●
Aspartic acid (Asp)	14.86 ●	1.90	16.71 ●
Cysteine (Cys)	1.05 ※	0.03	0.15
Glutamic acid (Glu)	5.21 ●	1.40	4.42 ●
Glycine (Gly)	41.90 ◀	42.90 ◀	13.39
Histidine (His)	-	0.20	1.30
Lysine (Lys)	1.38	0.40	3.30
Serine (Ser)	8.83 ◁	12.20 ◁	33.43 ●
Threonine (Thr)	3.11 ●	0.90	9.74 ●
Tyrosine (Tyr)	-	4.80	2.61
Alanine (Ala)	4.37 ○	30.00 ◀	5.59 ○
Isoleucine (Ile)	2.69 ※	0.60	0.72
Leucine (Leu)	4.81 ※	0.60	1.14
Methionine (Met)	0.56 ※	0.10	0.04
Phenylalanine (Phe)	1.19 ※	0.70	0.53
Proline (Pro)	3.02 ※	0.50	0.68
Tryptophane (Trp)	1.17 ※	-	-
Valine (Val)	4.95 ※	2.50	2.75

친수성 아미노산의 비율은 fibroin에서 매우 낮았다. 물에 불용성인 fibroin 과는 다르게, 수용성인 sericin 이나 SS 단백질의 경우에는 친수성 아미노산 함량비가 높은 수치를 기록하였다. SS 단백질은 Ala 을 제외한 모든 소수성 아미노산 함량비는 fibroin 및 sericin 에 비해 다소 높았지만, 전체적으로 친수성 아미노산 함량이 fibroin 보다 현저하게 많았다. 그리고, SS 견은 70% 또는 그 이상 농도의 Ethyl alcohol 용액에 침지 또는 분무처리 결과, 쉽게 물에 불용인 상태로 용해성이 변하였다.

열탕 처리에 따른 견단백질의 용해성에 관한 거동은 당연히 그 구성단위인 아미노산의 차이에 기인할 것이며, 친수성 아미노산이 많으면, 분자는 random coil을 형성하며 분자 간에 수소결합을 형성하기 쉽다. sericin 의 경우 random coil 로부터 β 化 구조로의 전이에 의해 용이하게 망상구조를 형성하여 gel化 된다 (Zhu, 1995). 한편, 결합이 느슨하게 형성된 이와같은 gel 분자에 물의 침입이 용이하며, 가열에 따른 열운동으로 수소결합이 절단되어 망상구조가 파괴되어 물에 쉽게 용해된다 (Zhu, 1996). SS 견은 열탕에서 쉽게 용해되어 sol 상태로 되었고, 액온이 하강함에 따라 gel 을 형성하였으며, 5~6회 가열 및 냉각을 반복하여도 sol-gel 의 熱可逆的인 轉移가 확인되었다. SS견은 sol-gel 의 熱可逆性이 sericin 과 유사하였으며, 이는 친수성 아미노산을 많이 함유하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 친수성 아미노산을 다량 함유할 경우, random coil로 부터 분자간 수소결합에 의해 β 구조로 쉽게 전이되고 망상구조를 형성하여 gel이 되지만, 온도가 상승하면 망상구조의 파괴로 sol 상태로의 전이도 용이하게 되는 것으로 설명할 수 있다.

이와 대조적으로 fibroin 은 일단 gel 로 되면 가열해도 용해되지 않고 열에 관하여 비가역적인 상태로 된다고 한다 (Kratky and Shauenstein, 1951). 소수성 아미노산을 많이 함유하는 fibroin 은 특히 결정영역이 Ala

및 Gly 이 반복된 구조이다 (Lucas et al., 1957). 따라서, 加熱에 따른 분자운동으로 분자鎖가 引伸되어 β 化가 일어나고, 분자 간에 다수의 수소결합 형성으로 치밀하게 集束되고 서서히 망상구조를 형성하여 gel이 된다. fibroin을 물에서 가열하면 50℃부터 random coil 또는 silk I (fibroin α)의 분자가 silk II (fibroin β)로 전이가 일어나며, 이와같은 열변성에 의한 불용화로 비가역적인 성질을 띠게 되는 것으로 해석할 수 있었다.

sericin 에는 fibroin 보다 측쇄에 극성기를 가지는 아미노산이 많으므로, 이와같은 반응성을 이용하여 효소를 고정화할 수 있다면, 그 기능성을 살릴 수 있을 것이다. 그러나, sericin은 fibroin 과는 달리 충분한 강도의 membrane 형태로 이용할 수 없기 때문에, polyvinylalcohol(PVA) polyvinylpyrrolidone (PVP) 등의 작용기가 다른 혼합막을 제조하는 방법이 고안된 바 있다 (Tsukada et al., 1988). 본 연구에서 Nd-s 계 누에로부터 생합성되는 SS 견단백질은 극성기를 많이 지닌 sericin 의 장점과 fibroin 이 지니는 물리적 기능특성도 보유할 것이므로 可變性이 우수하며, 효소반응에 필요한 熱이나 pH 조건에 대한 안정성을 증가시킬 수 있을 것이다.

2. 황색견 누에의 원소 및 아미노산 분석

黃繭 계통 누에로서 본 과제를 통하여 육성된 신품종 “黃金繭”(GOLD) 은 L계 및 R계 교잡원종인 LY×RY 이며, 해바라기색 고치를 짓고, 강건하며 생산성이 매우 높은 특성을 지닌다 (제 2장 및 3장 참조). 본 품종은 근래에 널리 시행되고 있는 건강 보조식품용 누에로서의 용도 및 아직 미개발 상태인 특수 천연색 생사 생산을 위한 용도로 활용가치를 모색할 필요가 있다.

먼저 건강보조식품용 누에로서의 가치를 평가하기 위하여 5령 5일이 누에를 70℃ 에 열풍건조한 경우 일반 백색견 장려잠품종 Ab×Bb(기초 성상은 철보잠과 같음)에 비하여 무기염류 함량이 풍부하였다. 특히 함량이 높은 무기원소 (白繭種인 철보잠 대비 함량비)는, Mg 1,424ppm (108%), Ca 544 ppm (118%), Fe 1.7 ppm (243%), Cu 0.70 ppm (161%) 였다. 여기서 칼슘(Ca)이나 마그네슘(Mg) 등은 사람의 정상적인 발육과 생물학적 기능을 유지하는데 있어서 무기물의 형태로 다량 요구되는 대량원소(bulk element) 로서, 하루에 많은 량을 필요로 하는 성분이다.

특히 Ca 은 뼈의 무기질 또는 hydroxyapatite 의 구성성분이며, Mg은 인체의 구성성분으로서 중요하며 혈세포 골격 등 체내에 폭넓게 분포하고 각종 효소작용 및 생리활성에 필수적인 원소이다. 기타 비타민 요구량과 같은 정도로 필요한 필수 미량원소로서 철(Fe), 구리(Cu), 아연(Zn), 코발트(Co), 니켈(Ni) 등을 함유하며, 이들 무기염류는 각종 효소작용에 보결분자 또는 보조인자로 작용하며, 비타민의 구성 성분이 되기도 한다. 그밖에 작용기구가 완전히 해명되지는 않았으나 크롬(Cr) 등은 혈당의 적절한 이용에 필요할 것으로 예상되는 등, 황색견 누에성분은 인체에 필요한 무기염류 조성이 우수한 것으로 판단되었다 (Table 3-7).

한편, 잠체성분의 아미노산 조성은 실크 고분자의 용도와 달리 식용 위주이며, 특히 노약자 중심이므로 영양학적인 관점에서 고찰할 필요가 있다. 그러므로, 특히 소화 흡수가 용이한 유리상태의 아미노산을 분석한 결과, 누에 체액 중의 유리아미노산 함량비에서 황혈 및 백혈계통 누에 간에 큰 차이를 보이지 않았으나 절대량은 큰 차이를 나타내었다. 황혈 황색견 누에 품종인 黃金蠶(GOLD)는 백혈 백색견인 Ab×Bb 보다 유리 아미노산 함량이 월등하게 많았다. 유리 아미노산은 특별한 소화과정을 거치지 않고도 흡수율이 높을 것이므로 노약자 어린이 등의 건강보조식품으로서 매우 유용

할 것이다. 그러므로, 동충하초 배양이나 식용누에 특산물의 부가가치 증대를 기할 수 있는 새로운 누에 자원의 확보는 잠상 산물의 새로운 용도 개척에 기여할 것으로 전망된다 (Table 3-8).

한편, 특수 섬유소재로서의 黄蘗에 함유된 천연색 색소는 carotenoid로 알려져 있으므로 (Fujii et al., 1988), 별도의 분석은 생략하였으나, Seriaze-konku 또는 Biopuraze 등 효소의 이용은 천연의 색채를 살릴수 있는 가능성을 시사한다 (Hata and Kato, 1996). 이와 같은 용도에 대비한 제사기술이 개발된다면 黄蘗을 이용한 특수 생사의 제조 및 이를 紋織이나 交織 등에 응용하는 연구를 추진한다면 특수한 효과를 가미한 견직물 생산도 가능할 것으로 전망된다.

천연색소의 이용을 추구하는 관점에서는 carotenoid계 색소로서 황색 누에고치에 존재하는 carotene류인 β -carotenoid, neo- β -carotenoid, xanthophyll 류의 lutein, violaxanthin 등에 관하여 이용가치를 검토할 필요가 있다. 특히, 누에고치의 flavonoid계 색소는 quercitrin, rutin, quercetin 을 전구체로 9종이 누에로부터 확인되며, sericin 뿐 아니라 fibroin 에도 포함된다. 이와같은 색소물질은 각종 금속염을 이용한 媒染 등 기술 개발에 따라 특수한 발색효과를 기대할 수도 있을 것이다 (Sakada et al., 1997a, 1997b; McGregor, 1972).

Table 3-7. Inorganic content of the silkworm strains with the character of yellow and white cocoons : 5 days old silkworm larvae of 5th instar were dried at 70°C of forced blow for 1 day, and powdered

Elements	Yellow Cocoon			White Cocoon
	Female	Male	Mean	
Mg (ppm)	1,355.00	1,493.00	1,424.00	1,317.00
Ca (ppm)	536.00	552.00	544.00	460.00
Al (ppm)	<0.02	0.06	0.04	0.32
Fe (ppm)	1.90	1.50	1.70	0.70
Zn (ppm)	1.60	1.40	1.50	1.30
Cr (ppb)	9.8	16.7	13.3	11.7
Co (ppb)	2.8	2.8	2.8	1.9
Ni (ppb)	30.0	31.6	30.8	22.9
Cu (ppb)	790.0	606.0	698.0	434.0
Cd (ppb)	0.1	<0.1	<0.1	0.2
Pb (ppb)	2.2	4.3	3.3	3.1

Table 3-8. Free amino acids of silkworm hemolymph on the yellow blood¹⁾ strain (Gold) and white blood²⁾ in general strain (Ab×Bb) : larval hemolymph of 6 days after molting at the 5th instar were analyzed

Amino acids (%)	Amount (pmol)		% Amount	
	Yellow ¹⁾	White ²⁾	Yellow ¹⁾	White ²⁾
Arginine (Arg)	146.749	63.739	3.25	3.08
Aspartic acid (Asp)	313.785	174.237	6.95	8.42
Cysteine (Cys)	10.086	4.078	0.22	0.20
Glutamic acid (Glu)	566.152	248.308	12.54	12.00
Glycine (Gly)	644.254	365.372	14.27	17.65
Histidine (His)	201.167	69.945	4.46	3.38
Lysine (Lys)	229.672	25.843	5.09	1.25
Serine (Ser)	446.013	220.874	9.88	10.67
Threonine (Thr)	194.196	92.464	4.30	4.47
Tyrosine (Tyr)	83.557	38.728	1.85	1.87
Alanine (Ala)	641.419	309.756	14.21	14.97
Isoleucine (Ile)	151.882	64.541	3.36	3.12
Leucine (Leu)	179.766	79.267	3.98	3.83
Methionine (Met)	55.768	25.456	1.24	1.23
Phenylalanine (Phe)	231.165	109.794	5.12	5.30
Proline (Pro)	181.679	70.537	4.02	3.41
Tryptophane (Trp)	11.621	1.779	0.26	0.09
Valine (Val)	225.060	105.125	4.99	5.08

제5절 결 론

특수견소재의 분광학적 구명

1. 특수 형광색 견소재의 분광학적 특성

원료건의 형광색이 불균일한 경우 sericin 용해도의 불균일로 폴립새가 고르지 않게 된다. 제사 공정에서는 조사능율이 떨어지는 것은 물론, 縲絲 장력이 불균일하고, 폴립새가 불량하여 마디실 고착실 갈린실 엉킨실 등이 발생할 우려가 높으므로 품질의 저하를 초래한다. 품종별 집단선발이 아닌 개체선발로서 균일한 형광색 고치를 생산할 수 있는 누에계통을 육성하였으며, 이로써 형광색의 차이가 품질에 미치는 영향에 대하여도 더욱 정밀하게 구명할 수 있었다.

황색형광견은, 고온 다습한 조건에서 상족할 경우 누에고치는 과도한 습기에 노출된 부위의 형광색이 청색으로 변색되며, 유전적인 청색형광과 구별되었다. 양잠현장에 황색형광견 계통 위주로 보급될 경우, 족중관리상태에 따라 결정되는 원료건의 폴립새는 형광색의 검사 만으로도 쉽게 판정할 수 있을 것이다.

정련을 실시한 황색형광 집누에 견단백질의 피브로인에서는 특이 형광을 발견할 수 없는 점으로 미루어 누에고치의 형광색을 나타내는 물질이 세리신 분자내에 흡착 혹은 존재하고 있는 것으로 확인되었으며, 황색형광의 누에고치는 세리신의 정련 여부를 쉽게 판별할 수 있고 형질이 균일하므로 견물질의 분자구조 해명을 위한 연구재료로서 유용한 것으로 인정되었다.

[1-¹³C]-Tyr 및 ¹⁵N-Tyr 부분의 고체 NMR배향 시료의 스펙트라 시뮬레이션의 결과로 부터 정련 실크 피브로인의 경우 54°의 배향을 나타내었다. 또한 미정련 견사는 세리신 내의 Tyr 부분이라고 생각되는 부분이 40% 존재하고 섬유축을 중심으로 23°의 낮은 배향의 분포를 하고 있음을 알았다. 즉, Tyr 잔기의 경우는 어느정도의 집합체상태를 이루나, 무정형에 가까운 형태인 것으로 확인되었다.

Orange II가 견 피브로인 내에 존재하는 Tyr 잔기의 거동은 수소이온 농도가 알칼리 측으로 갈수록 Tyr에 존재하는 OH 그룹의 탈 수소화가 일어나기 쉬워져서, pH 10부터 급격한 변화를 보였다. 이것은 알칼리 측의 pH 영역이 될수록 Tyr 잔기의 O⁻구름과 Orange II 분자의 SO₃⁻간의 정전기적 반발에 의하여 탈 수소화가 일어난 결과로 해석되었다.

2. 수용성 견소재 SS의 분광학적 특성

SS견은 FT-IR 분석에서 1,200cm⁻¹의 Amid III 흡수대가 random coil 부분과 β 구조의 존재를 반영하므로 피브로인이 인정되며, 결정화도는 세리신의 30% 보다 많은 40%로 산출되었다. SS견은 “세리신견”과 동일한 제14 염색체의 Nd-s 유전자 발현에 의한 것으로서 피브로인의 존재가 확인되었다. 그러므로 Nd-s잠과 누에고치를 “세리신잠” 및 “세리신견”이라고 부르는 것은 불합리하며, 누에는 SS잠 고치는 “SS견” 또는 “수용성 견”으로 부르는 것이 바람직할 것이다.

DSC에서 ++ 견의 피브로인은 β-configuration의 파괴에 의한 흡열 피크가 74°C 부근에 존재하지만, SS 견은 34°C 및 84°C에서 2회 관찰되었다. 그리고, β-configuration을 형성하지 않는 것으로 알려진 세리

신에서도 I~IV 의 결정구조를 반영하는 특성이 인정되지만, 흡열피크는 피브로인 보다 훨씬 낮은 48 ℃로서 SS 견과 명확한 차이를 보였다.

특히 SS 견의 유리전이점 (transition temp. ; TG)은 110℃로서 피브로인 보다도 10℃ 이상 열적 성질이 강하였다. 한편, 고온 영역에서 관찰되는 흡열 피크는 SS 견은 피브로인을 함유하는 동시에 세리신 보다 α -helix 구조를 더 많이 지니고 있음을 재확인 할 수 있었다.

hetero 형인 F1 고치 S/+는 homo 형인 양친 S/S 및 +/+ 의 중간적인 성질을 나타내었다. 즉, S/+ 의 표현형질은 fibroin 및 SS견의 물리화학적 성질이 혼합된 상태의 물리화학적 성질을 지닌 것으로 확인되었으므로, fibroin 함량의 우열관계는 S/S < S/+ < +/+ 로 인정된다. Nd-s 계 SS견은 fibroin 합성 저해로 sericin 만 합성하는 것이 아니라, L鎖 fibroin 이 결여된 대신 H鎖 fibroin 위주로서 보통 견단백질 보다 α -helix 구조를 더 많이 함유하며 특수한 물리적 성질을 나타내게 되었다. Nd (25-0.0) 및 Nd-s (14-19.2) 유전자의 응용으로, Nd계 SS견에서는 L鎖 fibroin 함유 특수견, Nd-s계 SS견은 H鎖 fibroin 함유 특수 견단백질 합성 등을 기대할 수 있을 것이다.

피브로인은 결정부분에 관여하는 것으로 보이는 glycine, alanine, serine 이 85% 이상을 차지하며, glycine 42.9%, alanine 30.0%, serine 12.2% 였다. 그리고 세리신은 glycine 13.5%, alanine 5.6%, serine 33.4% 였다. 한편, SS 견은 glycine 41.9%, alanine 4.4%, serine 8.8%로서, glycine 함량이 많고 serine 이 적은 것은 피브로인과 유사하며, aspartic acid 가 비교적 많고 alanine 함량이 적은 점은 세리신과 닮은 특징을 나타내었다.

3. 황견잠 및 특수 견소재의 성분 분석

잠체성분의 아미노산 및 원소 조성은 실크 고분자의 용도와 달리 식용 위주이며, 특히 노약자 중심이므로 영양학적인 관점에서 고찰할 필요가 있다. 黄色 고치를 짓는 누에 계통으로서 본 과제를 통하여 육성된 신품종 “黄金蠶”(GOLD=LY×RY)의 원소분석 결과, 일반 백색견 장려잠품종에 비하여 무기염류 함량이 풍부하였으며, Mg 1,424ppm (108%), Ca 544 ppm (118%), Cu 698 ppm (161%), Fe 1.7 ppm (243%) 였다.

특히 유리상태의 아미노산을 분석한 결과, 누에 체액 중의 유리아미노산 함량 비율에서 황혈계통인 황금잠은 histidine과 lysine 이 많았고, 그 외에는 백혈계통 누에 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 특히, 황혈 황색견 누에품종인 黄金蠶(GOLD)는 백혈 백색견인 Ab×Bb 보다 유리 아미노산 절대 함량이 월등하게 많았다. 유리 아미노산은 특별한 소화과정을 거치지 않고도 흡수율이 높을 것이므로 누에 가공품은 노약자 어린이 등의 건강식품으로서 매우 유용하며, 동충하초 생산 등에 새로운 부가가치를 얻기 위하여 활용될 수 있는 누에 자원으로 전망된다.

한편, 특수 섬유소재로서의 黄蘗에 함유된 천연색 색소는 carotenoid 로 알려져 있으므로 별도의 분석은 생략하였으나, Seriaze-konku 또는 Biopuraze 등 효소의 이용은 천연의 색채를 살릴수 있는 가능성을 시사한다. 이와 같은 용도에 대비한 제사기술이 개발된다면 黄蘗을 이용한 특수 생사의 제조 및 이를 紋織이나 交織 등에 응용하는 연구를 추진한다면 특수한 효과를 가미한 견직물 생산도 가능할 것으로 전망된다.

제 4 장 특수 잠품종 대량육 실증시험

제1절 서 론

고급 특수화 특수 잠품종 대량육 실증시험은 특수형광색견 신품종의 대량 실증사육을 실시하고, 생산된 고치는 형광색 및 일반 계량형질을 조사하여 생산성을 비교하는 한편, 특수형광색 원료견을 이용하여 생사를 제조하였다. 특히 형광색의 경우 세리신 용해도-고치실의 폴립사-생사 및 견직물의 품질 등으로 직결되는 문제이며, sericin 용해도와 직접적인 상관이 있는 표지 유전형질로서 누에고치의 형광색 간의 관계가 입증되었다 (제3장 2절). 그러므로, 기술개선 방안으로서 일본에서도 최근에 고치의 형광색과 해서울에 착안하여 품질 향상을 기하려는 접근방식이 제시된 바 있다 (Hamano and Okano, 1988). 그러나, 일반적으로 누에고치의 형광색 발현은 품종별 개체별 및 부위별로 매우 다양하며, 잡다한 형질이 혼재하는 특성이 밝혀진 바 있다 (Han, 1997). 그러므로, 현행 장려품종 누에 중에서 최대한의 이점을 지닌 계통을 선택하는 경우라도, 경비나 노력을 감안할 때 현장기술로서 실행될 수 없다 (3장2절). 따라서, 생사 및 견제품의 고급화를 위한 특수분광성 누에고치 즉 형광색이 균일한 원료견 생산은 지금까지 개발된 제사공정의 토대에서 그 이상의 품질향상을 추구하는 전략상 유일한 기술방안이다. 따라서 고급원료견으로서 특수분광성 고치 생산을 위한 누에 신품종의 대량육 실증시험은 계량형질의 조사 및 특수형질 발현의 유전적 안정성 여부를 검증함에 있어서 매우 중요하다.

또한, *Nd-s* 유전자 발현에 수반되는 나용 외에 수용성 견단백질 SS 실크 및 고치실·생합성 보다 체성장 위주의 비정상적인 영양분배형은 누에의 입장에서는 오히려 정상으로 간주될 수도 있다. 이와같은 유전형질을 양잠현장에서 물질 생산에 어떻게 활용될 수 있는지에 대하여 실증 사육시험을 통한 조사가 필요할 것이다. 그 뿐만 아니라 고유의 유전형질의 표현형은 결과적으로 치사를 수반하게되는 돌연변이로 밝혀졌으므로, 사육방법에 대한 특별한 처치 및 관리상의 주의가 요구된다. 실증시험에서는 이와같은 기술 상의 문제점을 개선하고 현장기술로서 정착될 수 있는 보완책을 강구할 필요가 있을 것이다.

천연색소를 함유하는 황혈 누에계통은, 지금까지의 사견양잠에서는 관심의 대상이 되지 못하였고, 아열대 양잠국가에서는 저품질의 생사 제조용 품종으로 이용되고 있을 정도이다. 그러나, 미래를 대비하여 저에너지 고효율 환경친화적 물질생산 기술을 추구한다면, 누에의 독특한 기능에 대하여 biomachine 의 차원에서 활용가치를 연구할 필요가 있다. 따라서, 본 과제를 통하여 육성된 유색견 누에품종에 대한 생산성 검정 등 실증시험은 본 품종을 동충하초 생산 또는 식용 건조누에 생산에 도입할 경우를 대비한 기반 기술의 강화를 도모할 수 있다. 그 뿐만 아니라, 미지의 유용 유전자원을 적극적으로 개발하는 입장에서는 집누에 뿐만 아니라, 야생종 멧누에 유전형질에 대한 조사도 필요하다. 집누에인 *Bombyx mori mori* 의 아종에 속하는 멧누에 *Bombyx mori mandarina* 는 뽕밭 해충으로 간주되며, 지금도 야생상태로 우리나라에 널리 분포하고 있다. 양잠 기반의 쇠퇴와 함께 뽕밭면적이 급감함에 따라 멧누에의 발생밀도 역시 급격하게 감소하고 있다. 그러므로, 더 이상 분포밀도가 줄어들기 전에 야생종을 채집하여 유전자원을 확보하며, 멧누에가 보유하고 있을지도 모르는 미지의 유전자원을 발굴하려는 노력이 요구된다.

제2절 특수 형광견 잠품종 대량육 실증시험

1. 특수 형광견 신품종 누에의 대량사육

특수 형광색 누에품종 중에서 청색 형광견용 품종을 공시하여 형광색 발현을 검정하는 동시에, 계량형질에 관하여 야생형 모계 원종인 잠107, 잠108, 잠119, 잠120, 잠113, 잠114, 잠125, 잠126을 대조로 공시하였다. 새로 육성한 Ab, Bb, Cb, Db, Gb, Hb, Ib, Jb 등은 제사용 원료견으로서, sericin 용해도는 황색형광견 보다 낮은 것으로 밝혀졌다 (제3장 2절). sericin 의 용해도는 높을수록 유리한 경우도 있겠으나, 품질을 좌우하는 중요한 요인은 繅絲 장력의 균일성이므로, 용해도가 균일한 점에서는 당연히 고품질 생사 제조에 바람직한 성질을 지닌 것으로 판단된다.

그런데, 양잠현장에 도입할 수 있는 수준으로 평가받기 위하여는, 새로 육성한 계통의 일반적인 실용형질이 관행 품종에 비하여 열등하거나 문제점이 발생할 수 있는지에 대한 검증이 필요하다. 부화율, 유충 기간, 용화비율, 단견중, 견충비율, 산란수 등을 각 계통별로 신품종과 모계를 대조한 결과, Ab-잠107, Bb-잠108, Cb-잠119, Db-잠120, Gb-잠113, Hb-잠114, Ib-잠125, Jb-잠126 간에 차이가 없었다. 따라서, 고치 형광색을 개량함에 있어서 야기될 수 있는 실용형질의 도태는 인정되지 않으므로 실용가치를 지닌 것으로 확인되었다 (Table 4-1). 새로 육성한 계통에서는 단견중 및 산란수 등이 야생형 원종에 비하여 다소 증가하는 경향을 보이는 것은 선발 육성 과정에서 계량형질의 도태를 우려하여 모든 계통은 근친교잡을 피하기 위하여 아구별로 사육한 결과로 생각된다.

원종의 계량형질은 원계통과 새로 육성한 계통이 모두 우수한 것으로 밝혀졌으나, 관행의 방식에 따른 일본종 및 중국종 간의 교잡종을 제조하였을 때 잡종강세 효과의 감소 등, 실용형질의 도태 가능성도 검증되어야 한다. 공시한 교잡종 Ab×Bb, Cb×Db, Gb×Hb, Ib×Jb 는 각각 잠107×잠108, 잠119×잠120, 잠113×잠114, 잠125×잠126 에 상당한다. 고치형 광색 형질을 개량 육성한 계통의 교잡종은 원종의 경우와 같이 관행 품종에 비하여 실용형질이 동등하거나 또는 우수한 것으로 나타났다 (Table4-2). 특히, 강건성이 우수한 잠107×잠108 (철보잠) 및 이와 같은 혈통을 지닌 Ab×Bb 는 모두 용화비율이 높았다. 그리고, 유충기간이 다소 긴 잠119×잠120 (장춘잠) 및 여기서 육성된 Cb×Db 는 동일하게 전령기간이 24일로서 다른 품종의 23일보다 하루정도 연장되었다. 견충비율은 전반적으로 22~23% 이상으로서 우수하였으며, 고치 형광색 이외의 실용형질은 모계통과 동등한 형질이 발현되었다.

새로 육성한 계통의 교잡종에서도 실용형질이 우월하게 나타났던 것은 가능한 근친교잡을 피하는 교배방식으로 제조한 원종을 이용하여 채종한 교잡종이기 때문에 사육성적이 양호하였던 것으로 설명할 수 있다. 따라서, 단순히 생산량 만을 추구한다면, 관행 누에품종의 경우에도 원종의 철저한 관리 및 채종방식의 개선 만으로 증산을 도모할 수 있을 것이다. 그러나, 사견양잠에서는 양적인 것은 물론 질적 향상을 추구할 필요가 있으며, 형광색이 균일한 신품종의 보급을 통하여 국산 생사 및 견직물의 고급화를 실현할 수 있을 것으로 전망된다.

새로 육성된 특수형광견용 누에품종 즉 고치 형광색이 균일한 계통은 누대사육을 통한 보존 및 관리에 있어서 수견 후 고치형광색 검사는 필수적으로 준수해야될 사항이다. 다수의 누에 원종을 누대 사육하는 경우에는

Table 4-1. Economic characters of wild type and newly bred strain on the original silkworms : *from Jam107 to Jam126 are wild types, from Ab to Jb are newly bred strains

Silkworm strains*	Hatching rate (%)	Larval duration (day)	Pupation rate (%)	Weight of Single cocoon(g)	Cocoon shell ratio (%)	No. eggs laid per moth
Jam107	92±1.2	23±0.4	92±0.8	1.9±0.02	22.1±0.14	514±10.8
Jam108	91±1.4	23±0.3	90±1.1	1.9±0.01	22.5±0.25	504±13.6
Jam119	91±0.7	23±0.2	88±1.6	1.9±0.02	22.9±0.19	513± 9.1
Jam120	91±0.5	23±0.4	85±2.0	2.0±0.06	22.7±0.30	511± 6.4
Jam113	88±2.4	23±0.2	89±2.1	1.8±0.02	22.1±0.39	485±17.1
Jam114	91±0.6	23±0.3	84±1.1	1.9±0.04	22.6±0.23	515±12.0
Jam125	90±0.8	24±0.1	91±0.8	2.1±0.02	21.9±0.09	500± 9.2
Jam126	89±1.4	24±0.2	91±0.4	2.1±0.02	21.9±0.14	527±20.8
Ab	92±1.1	23±0.1	94±1.1	1.9±0.02	22.9±0.17	532± 9.3
Bb	91±0.9	23±0.1	92±1.2	2.0±0.02	23.2±0.20	508±17.0
Cb	93±1.2	24±0.1	87±0.8	1.9±0.03	23.3±0.17	530±14.4
Db	88±1.2	24±0.4	85±1.3	2.1±0.09	23.3±0.27	480± 7.3
Gb	89±1.2	23±0.1	89±1.6	1.8±0.01	22.4±0.11	553±15.0
Hb	92±1.4	23±0.1	85±1.3	1.9±0.04	23.0±0.15	503±12.8
Ib	91±1.5	23±0.4	92±0.9	2.2±0.05	22.1±0.22	520±13.0
Jb	91±0.8	23±0.1	90±0.5	2.2±0.02	22.4±0.25	525±18.6

Table 4-2. Economic character of wild type and newly bred strains on the hybrid silkworms : *Wild type strains, Jam107×Jam108, Jam119×Jam120, Jam125×Jam126 : Newly bred strains, Ab×Bb, Cb×Db, Gb×Hb, Ib×Jb

Silkworm strains*	Hatching rate (%)	Larval duration (day)	Pupation rate (%)	Weight of Single cocoon (g)	Cocoon shell rate (%)
Jam107 × Jam108	96±0.7	23±0.1	96±1.1	2.2±0.02	23.5±0.28
Jam119 × Jam120	96±1.0	24±0.1	96±1.3	2.3±0.02	23.2±0.22
Jam113 × Jam114	95±0.5	23±0.1	95±0.3	2.0±0.04	22.0±0.31
Jam125 × Jam126	98±0.2	23±0.2	93±0.2	2.1±0.03	22.4±0.30
Ab×Bb	96±1.2	23±0.2	97±0.1	2.2±0.02	24.0±0.26
Cb×Db	96±0.5	24±0.1	94±1.6	2.5±0.03	23.9±0.19
Gb×Hb	96±0.3	23±0.8	95±0.4	2.1±0.03	22.8±0.20
Ib×Jb	98±0.4	23±0.3	93±0.6	2.2±0.04	23.0±0.21

일반 누에계통에 대하여도 고치 형광색 특성을 사전에 파악해둘 필요가 있다 (Han, 1997). 이와 같은 기초조사 결과를 참조한다면 수견 후의 고치검사를 통하여 이질적인 계통의 혼입 및 바람직하지 못한 형질을 용이하게 제거할 수 있다. 누에고치의 분광학성에 입각한 형광색의 응용은 미지의 곤충 유전자원 발굴을 위하여 다각적인 검토와 다양한 방법으로 접근할 수 있는 방안이 확보된다. 분광학성의 검증은 육안 관찰로서 차이를 구별할 수 없는 개체 간의 변이나 새로운 돌연변이의 존재 및 이를 식별할 수 있는 새로운 수단임을 입증하였다. 분광학성의 응용은 특수형광조건에만 한정되지 않으며, 일반 누에계통에 관하여도 고유의 형질이 도태되는 것을 막고, 우수한 형질의 지속적인 개발 및 육성에 응용될 수 있을 것이다 (Fig. 4-1).

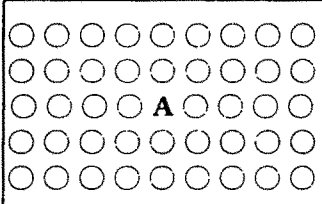
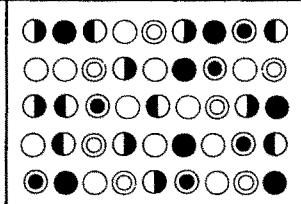
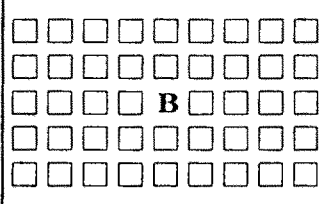
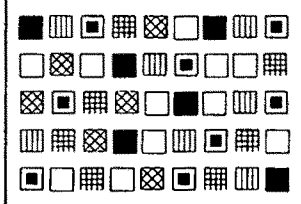
		<p>A1 ●●●●●●●●●●</p> <p>A2 ●●●●●●●●●●</p> <p>A3 ○○●○●○●○●○●○●○●○</p> <p>A4 ○●○●○●○●○●○●○●○●○</p> <p>A5 ●●○●○●○●○●○●○●○●○</p> <p>A6 ○○●○●○●○●○●○●○●○</p>
		<p>B1 ■■■■■■■■■■</p> <p>B2 ■■■■■■■■■■</p> <p>B3 ■■■■■■■■■■</p> <p>B4 ■■■■■■■■■■</p> <p>B5 ■■■■■■■■■■</p> <p>B6 □□□□□□□□</p>
<p>1. General recognition of the silkworm</p>	<p>2. Application of spectroscopic feature</p>	<p>3. New strains bred by new conception</p>

Fig. 4-1. Introduction of pathological conception of normalities with spectroscopic application for the development of a new genetic character of silkworms.

2. 특수 형광색 형질 검정 및 견사 제조

새로 육성된 특수형광고치에 대하여 제사용 원료견으로서의 품질을 검정하기 위하여 열풍건조한 다음 기계검사에 의한 繰絲시험을 수행하였으며, 원종 및 교잡종은 육성 모계인 기존의 원종 및 교잡종과 비교하였다. 먼저 원종의 경우 고치실 길이는 잠107, 잠108, 잠119, 잠120 등이 우수하였으며, 그 개량종인 Ab, Bb, Cb, Db 등은 900m 이상으로서 다른 계통에 비하여 우수하였다. 잠125 잠126 및 그 개량종인 Ib 와 Jb 는 해서울과 絲量 이 양호하였지만, 섬도가 2.8d 로서 다소 굵기 때문에 고치실 길이는 그만큼 짧아졌다 (Table 4-3).

교잡종 고치의 繰絲 絲長은 1,300~1,500m로서 길고, 섬도는 2.8~3.0d 로서, 원종 고치에 비하여 교잡종 고치실은 길며 굵은 특성을 나타내었으며, 생사량비율 및 해서울이 향상되었다. 특히, 생사량비율 19~20%, 해서울 69~73% 이상으로서, 원종의 생사량비율 17~19%해서울 60~66%에 비하여 교잡종 고치의 繰絲 성적은 우수하였다. 잠107×잠108 (칠보잠)에서 선발 육성한 개량종인 Ab×Bb 는 고치실이 길며 섬도가 비교적 가늘어서 제사 원료견으로서 우수성이 두드러졌다. 한편, Cb×Db의 섬도는 3d 정도로서 다른 품종에 비하여 고치실이 길고 굵은 특성을 보였으며, 유충 사육기간이 하루정도 긴 만큼 고치 생산성이 증대될 수 있는 계통으로 인정할 수 있었다 (Table 4-4).

교잡종 Ab×Bb, Cb×Db, Gb×Hb, Ib×Jb 는 고치 형광색 개선을 위한 선발 육성 결과에도 불구하고, 각각 개량하지 않은 상태의 잠107×잠108, 잠119×잠120, 잠113×잠114, 잠125×잠126 에 비하여 일반적인 繰絲 성적에는 불리한 영향이 나타나지 않았다. 고치실 제조 상의 일반적인 성상은 청색 또는 황색형광 누에고치의 고유한 형광색이 생사에서도 인정되었다. 그 외에 고치실의 일반적인 성상은 관행 품종과 동등하거나 그 이상

Table 4-3. Silk reeling test of the cocoon from original silkworm strain of wild type and newly bred : *from Jam107 to Jam126 are wild types, from Ab to Jb are newly bred strains

Silkworm strains*	Length of cocoon filament (m)	Weight of cocoon filament (cg)	Filament Size of cocoon (d)	Reelability of cocoon (%)	Percent. rawsilk (%)
Jam107	973±65.6	31.5±0.27	2.7±0.08	63.1±0.47	18±0.1
Jam108	950±25.6	31.1±0.16	2.7±0.06	65.5±0.41	18±0.1
Jam119	935±16.8	30.1±0.45	2.7±0.05	62.3±0.39	18±0.1
Jam120	946±14.1	29.5±0.33	2.8±0.02	65.8±0.73	18±0.2
Jam113	873±3.63	27.9±0.30	2.6±0.04	62.6±0.36	18±0.1
Jam114	857±18.0	27.1±0.35	2.6±0.07	60.8±0.30	17±0.1
Jam125	828±18.8	29.5±0.37	2.8±0.04	63.1±0.61	17±0.1
Jam126	856±25.6	29.8±0.20	2.8±0.04	61.3±0.94	18±0.1
Ab	986±22.0	31.1±0.11	2.8±0.05	63.8±0.99	18±0.1
Bb	991± 8.8	31.5±0.56	2.7±0.05	66.3±1.33	18±0.1
Cb	942±35.8	30.5±0.49	2.7±0.03	62.6±0.88	19±0.1
Db	1,005±29.8	29.3±0.26	2.8±0.04	65.9±1.14	19±0.2
Gb	887±10.3	28.9±1.32	2.6±0.08	62.9±0.82	18±0.1
Hb	827±10.4	27.9±0.28	2.6±0.03	61.3±1.17	18±0.1
Ib	846±26.0	30.5±0.34	2.8±0.05	64.1±0.79	18±0.1
Jb	823±13.4	31.0±0.10	2.8±0.10	60.7±1.12	18±0.1

Table 4-4. Silk reeling test of the cocoon from hybrid silkworm strain of wild type and newly bred : *Wild type strains, Jam107× Jam108, Jam119×Jam120, Jam125×Jam126 : Newly bred strains, Ab ×Bb, Cb×Db, Gb×Hb, Ib×Jb

Silkworm strains	Length of cocoon filament (m)	Weight of cocoon (cg)	Filament Size of cocoon (d)	Reelability of cocoon (%)	Percent. rawsilk (%)
Jam107 × Jam108	1,397±11.2	44.8±0.23	2.8±0.05	73.5±0.61	20±0.3
Jam119 × Jam120	1,479±16.7	50.8±0.23	3.1±0.10	68.7±0.23	20±0.1
Jam113 × Jam114	1,252±29.8	39.4±0.58	3.0±0.09	72.6±0.45	19±0.6
Jam125 × Jam126	1,273±30.3	42.0±0.20	3.0±0.09	69.8±0.78	20±0.2
Ab×Bb	1,458±18.4	46.1±0.54	2.9±0.05	73.5±1.74	21±0.2
Cb×Db	1,551±13.4	52.6±0.35	3.1±0.06	68.8±0.78	21±0.1
Gb×Hb	1,332±35.5	40.3±0.54	2.7±0.12	71.5±2.21	20±0.1
Ib×Jb	1,320±14.8	42.8±0.85	2.9±0.08	69.7±0.99	20±0.2

으로서 우수한 것으로 판단되었다. 앞으로 지속적으로 특수형광견 계통의 원종을 철저하게 관리 육성한다면, 주요 특이형질의 도태를 방지할 수 있을 것이며, 고치실 플립새와 섬도 등의 품질의 향상은 물론 양적인 증대를 기할 수 있을 것으로 예상된다.

칠보잠으로 통용되는 잠107×잠108은 강건할 뿐 아니라, 제사원료견으로서 우수한 성상을 지니고 있음에도 불구하고 공식적으로 폐기된 바 있다. 칠보잠을 대치하여 내놓은 신품종은 현장에서 거부당하고 사라진 품종도 있으나, 폐기를 권유하던 칠보잠의 선호도는 오히려 절정에 달하고 있는 현실이다. 최근, 잠업법의 폐지로 장려품종의 개념이 달라지고 농가의 자율성이 확보되고 선택권이 강화되어서 다행스러운 일이다. 신품종 개발의 공명심에 연연하여 열등한 신품종으로 우수한 관행품종을 밀어내던 기술방안은 오늘날과 같은 급격한 양잠의 쇠퇴와 무관하지 않다.

잠107×잠108이 공식적으로 폐기되기 이전부터 양잠현장의 요구에 따라 비공식적으로 부활된 이후 까지, 변함없이 본 연구실에서는 표준 누에계통으로 유지되고 있다. 병리시험은 물론 생리유전 육종 등의 양잠학 연구에서 계량형질을 판단하는 척도로 사용되는 기준 품종으로 우수성을 보장할 수 있다. 본 과제 수행을 통하여 품종이 개량됨에 따라 잠107×잠108과 동일 혈통으로서 선발계통의 교잡종 $Ab \times Bb$ 및 그 원종이 앞으로는 새로운 표준 품종으로서 활용될 계획이다. 비록 오래된 품종이라도 고유의 성상을 실재 그대로 평가하고, 끊임없이 고품질 다수확성에 관련된 형질을 발굴 육성하려는 노력을 경주한다면, 전통 누에품종에 내재된 가능성을 무한하게 발굴할 수 있는 기회가 확보될 것이다.

제3절 *Nd-s*계 특수형질 검정 및 대량육 시험

1. *Nd-s* 누에계통 증식 및 사육법 개선

*Nd-s*계 수용성견인 SS 잠은 견단백질의 특이한 물성 및 섭취한 영양분이 체 성장 위주로 이용되는 발육생리 등 근본적으로 성질을 달리하는 두 가지 표현형질이 특징적이다. 그 중에서 비정상적인 발육생리적 특성을 응용하면 체구가 큰 슈퍼누에 생산에 이용될 수 있을 것이다. homo type의 SS×SS를 대상으로, 사견양잠용 일본계 원종인 AA 및 중국계 원종 BB를 도입하고, 그 교잡종 누에의 성장기간과 체중을 조사하였다. 여기서 원종 및 교잡종 간의 비교를 위하여, 먼저 일반계통의 두 양친 AA 및 BB와 SS 간의 평균성적을 고려할 필요가 있다.

AA 및 BB는 각각 Ab 또는 Bb를 양친으로 이용하였으므로, Table 4-1을 참조하여 SS와 AA 간의 평균성적을 산출하여 고찰하였다. 유충기간은 A 및 B 계통은 23일이었으나 SS와 A 및 B의 교잡종은 21.67일로서 SS 잠과 같은 수준이었으며, 두 교잡종은 모두 양친의 평균인 22.4일보다 크게 단축되었다. 단견중은 A 및 B의 교잡종은 각각 1.96 및 2.38g이었으며, 각각 양친의 평균치인 1.57g 및 1.62g을 상회하며, SS×BB는 B의 수준을 능가하였다. 특히, B 형질이 도입된 SB와 AA간의 교잡종 AA×BS는 단견중이 3.0g 이상으로서 양친의 평균을 크게 초월하며, 관행 장려품종의 136%를 능가하는 “슈퍼누에”가 탄생하였다. 제2장 4절에서 설정한 기준에 의하면, AA×BS는 단견중이 “슈퍼누에”로 간주하기에 충분한 수준으로 판정되었다. 그런데, 견충중은 AA와 SS간의 평균인 23.5cg 및 BB와 SS간의 평균 25.0cg보다 열등한 18.0cg에 불과하였으나, SS

의 3.5 cg 에 비하여는 크게 개선되었다. 鱖체중은 단견중에 비례하여 양친을 크게 상회하는 수준으로 증대되었으며, 큰 체구에 비례하는 양적 증대에도 불구하고 유충 사육기간은 오히려 단축되는 특성은 물질 생산에 매우 유리하게 이용될 수 있다 (Table 4-5).

유전자 재조합 바이러스를 이용한 유용물질 생산의 경우, 큰누에의 체내에는 견사선이 대부분을 점유하게 되어 생산성이 떨어지게 되지만, *Nd-s* 잠은 영양 분배가 체 성장 위주로서 견사선 발육이 미약하므로 특이물질 생산에 유리하다. 최근에는 일본에서도 이와같은 용도로 *Nd-s* 형질이 유용함을 입증하는 결과가 발표되었으나, 체중의 증대는 아직 AA×BS와 같은 수준에 이르지 못하고 있다 (Yamazaki et al., 1997). 그 외에도 누에를 이용한 유용물질 생산기술로서 세포배양 배지용 누에혈액 생산기술이 시도되고 있다 (Choi et al., 1997; Tarasaki, et al., 1990). 유충의 체구가 크고 견사선의 비율이 낮으면, 등의 목적에도 효율성을 극대화할 수 있는 장점이 부여된다. 따라서, 식용이나 의약품생산 또는 재조합 유전자 발현계용 실험곤충으로서 매우 유리하다. 또한 유충 및 번데기가 큰 특성은 동충하초 배양에도 유리하며, 누에고치가 얇기 때문에 동충하초 생산시 영견 후 감염치사하는 경우 절견에 소요되는 노력 절감의 연구에 유용하다.

고치실의 분비량이 적으며 견 고분자의 구조적 이상 등을 수반하는 *Nd-s* 돌연변이 누에계통은 그 유전형질이 극단적으로 발현될 경우 치사율이 매우 높으며, 이러한 개체의 생존에는 간호사육이 유효하다 (제2장 4절). 그러나, 인공탈피 시술로 일단 생존한 개체에 강건성 계통을 교배하여 일반형질을 도입하더라도, *Nd-s* 형질 육성계통은 면에 들기 전에 실을 토하는 양이 적으므로 탈피불능잠의 발생이 증가할 수밖에 없다. 따라서 *Nd-s* 잠의 증식 및 대량 사육시에는 개체별 탈피시술 보다 간편한 방법으로 탈피불능잠 비율을 낮출 수 있는 방식을 강구하는 편이 유리할 것이다.

5령기잠 때 다발하는 탈피불능잠의 비율을 감소시키기 위한 간호사육법으로서, 보통 누에의 경우보다 일찍 탈피가 시작될 무렵에 그물을 투입한 다음, 그 위에 1~2cm 폭으로 길게 썬 뽕잎을 급상하였다. 이와같은 간호사육 방식을 도입한 결과, 60% 내외의 자연 탈피율을 기록한 *Nd-s* 계통의 탈피 성공율은 80% 정도로 향상되었다. 유전자 조합이 *Nd-s/+^{Nd-s}* 인 경우에도 소수의 탈피불능잠이 발생되었으나, 이 경우에도 간호사육의 경우 탈피율이 다소 증가하였다 (Table 4-6). 나용 계통은 전령 말기에 면어들 무렵 토사불양으로 발이 누엣자리에 잘 고정되지 않아서 탈피하기 어려운 문제가 발생된다. 그러므로, 누에그물과 뽕잎의 무렵 투입은 그 하중과 남은 피부의 미흡한 고정능을 보완하는데 도움이 될 것이다. 탈피가 순조롭지 않으면 시간이 더 소요되며, 탈피가 진전된 부분의 남은 피부가 미리 굳어서 유연성을 잃게 되므로, 신체의 나머지 부분은 탈피가 더욱 어렵게 된다. 또한, 그물과 함께 투입된 뽕잎은 건조한 누엣자리에 습기를 공급하게 되므로 탈피 진행중에 남은 피부가 굳어버리는 시간을 지연시켜주기 때문에 탈피에 성공한 개체가 증가하였던 것으로 생각된다.

일반적으로 큰누에는 탈피가 끝나고 인누에가 식욕이 날 때 까지 98~172분 정도가 소요되며, 탈피후 12시간 까지 뽕을 주지 않아도 지장이 없기 때문에 이 기간에는 누엣자리를 건조하게 유지한다. 건조한 조건은 탈피 시기에 차이가 있어도 누에의 자람새를 맞추어 고르게 키울수 있으며, 탈피 직후 병에 대한 저항성이 약할 때, 질환의 감염 기회를 최소한도로 억제할 수도 있다. 그러나, *Nd-s*와 같은 脫皮不全의 경우 간호육으로서 미리 그물 투입 후 급여한 뽕잎으로 인하여 누엣자리의 습도가 높아서 진균류의 경피감염 위험이 높다. 그리고, 이와같은 방식의 간호육에서는, 탈피 후 식욕이 나면 누에가 제각기 뽕을 먹기 시작하기 때문에 일시에 첫밥을 주지 못

Table 4-5. Development of hybrid silkworms by introduction of *Nd-s* gene with standard strains of Japanese type of Ab and Chinese type of Bb

Silkworms	Larval duration (day)		Single cocoon weight (g)	Cocoon shell weight		Pupal weight	
	Whole instar	5th instar		(cg)	(%)	(g)	(%)
SS×SS	21.83	6.00	1.24	3.5	2.8	1.21	97.2
SS×AA	21.67	5.83	1.96	11.6	5.9	1.84	94.1
SS×BB	21.67	5.83	2.38	15.2	6.4	2.23	93.6
AA×BS	21.67	5.83	3.04	18.0	5.9	2.86	94.1
AA×BB	25.00	7.75	2.05	49.1	24.0	1.56	76.0

Table 4-6. Percent success of final larval molting for 5th instar by application of nurse rearing* methods for SS silkworms : for the practice of special care, littering nets were put into the rearing tary at the early time of molting, and mulberry leaves chopped longish shape were supplied as early as the molting begins

Silkworms (Genotype)	Percent Success of Molting (%)	
	Control (customal rearing)	Nurse rearing*
S×S (<i>Nd-s/Nd-s</i>)	63.3±6.17	86.7±2.40
S×A (<i>Nd-s/+^{Nd-s}</i>)	92.3±1.45	94.3±0.88
A×B (<i>+^{Nd-s}/+^{Nd-s}</i>)	99.6±0.34	99.3±0.33

하게 되어 발육을 조절할 수 없으므로, 자람새가 고르게 되도록 철저한 사육 관리가 요구된다.

2. *Nd-s*계 수용성견(SS)의 생산성 검정

*Nd-s*계 SS잡의 견단백질은 물리 화학성이 특이하며, 특수신소재로서의 개발 가능성이 제시되므로 (제3장 3절), SS 견의 생산성을 검정하기 위하여, 일본계 및 중국계 원종간의 교잡종을 이용한 수용성 견단백질 생산성을 시험하였다. 교잡종 $S \times A$, $S \times B$, $A \times B$ 의 누에고치 생산량은 이미 Table 4-5 에서 기초자료를 확보하였으므로, 유전자 조성에 따른 용해도의 조사를 통하여 수용성 견단백질 함량을 규명할 수 있을 것이다. 121℃에서 45분간 autoclaving 하고, 水洗 후의 정련 감량으로 확인된 수용성 견단백질 함량은, homo type (*Nd-s/Nd-s*)인 $S \times S$ 의 누에고치는 1차 처리에서 92.4%, 2차 처리후 93.3% 로 밝혀졌다. hetero type (*Nd-s/+^{Nd-s}*)인 $S \times A$ 의 고치는 1차 처리후 75.6%, 2차 처리 후 76.8% 로서 수용성 견단백질 함량은 76% 정도로 확인되었다. 일반 견단백질은 2회의 autoclaving 후 연감량이 30% 정도인 점을 감안 할 때, SS잡과 정상잡 간의 F1은 수용성 견단백질 함량이 양친의 평균 61.7% 보다는 다소 높았다 (Table 4-7).

수용성 견단백질의 생산성 증대를 위하여, *oa*, A, B, 등의 누에계통을 도입한 교잡육성의 가능성을 시험하였다. SS잡은 *Nd-s* homotype에서 나용이 14~15% 발생하였으며, 5령기잡 이후 누에올릴때 까지의 감잠비율이 3~6%였고, 개체당 수용성 견단백질 생산량은 암수평균 3.5~3.6cg 이었다. *oa/oa* 12.8~13.5cg, A/A 42cg, B/B 45cg 으로 추산되므로, F1 고치의(*Nd-s/+*) 견충종은 모두 양친의 평균치인 9.5 cg 및 24.3 cg 에 비

하여 적었으며, oa/SS 가 6.0~6.2cg, B×S의 정역 교잡종은 14~15cg 이었다 (Table 4-8).

SS잡과 일반 누에품종 간의 F1 고치는 견충량에 있어서 잡종강세는 인정되지 않으며, 양친의 평균에 비하여 62~64% 수준으로 크게 감소하였다. *Nd-s/+* 인 경우의 용해도는 76% 정도로서 양친의 평균인 61.5% 보다 높은 수준으로 발현되었다. 이와같은 결과를 기초로 견충량이 많은 A×S 및 B×S 교잡종에서의 수용성 견단백질 생산량은 절대량이 11.4cg (=15cg×76%) 으로 추정되었으며, SS잡의 3.5~3.6cg 에 비하여 개체당 생산성은 3배 이상 증대되었다.

첨단 신소재용 특수 고분자 견단백질 생산 및 이와 관련된 누에 신품종 개발을 위하여는, 다사랑계의 중국계 표준품종인 A 및 B 형질을 도입한 교잡육성이 매우 효과적이었다. 특히, AA×BS에서 입증된 잡종강세의 원리를 응용한다면 슈퍼 SS잡을 생산할 수 있으며, 수용성 견단백질 생산량도 더욱 증대시킬 수 있을 것으로 전망된다.

Table 4-7. Solubility of the silkworm cocoon with *Nd-s* and normal genes by autoclaving at 121°C for 45min. : data exhibited the cases of treatment by 1 time and the repeat of 2 times

Silkworms (genotype)	Solubility by autoclaving (%)	
	treated once	treated twice
S×S (<i>Nd-s/Nd-s</i>)	92.4±0.32	93.3±0.25
S×A (<i>Nd-s/+^{Nd-s}</i>)	75.6±0.83	76.8±0.68
A×B (<i>+^{Nd-s}/^{Nd-s}</i>)	25.8±0.72	30.0±0.12

Table 4-8. Expression of the *Nd-s* gene in relation with water soluble cocoon of SS type, naked pupae or heavy weight of pupae on the original hybrid silkworms following cross with various strains : the percent calculated from the number of 5th instar larvae soon after molting

Silkworms (genotype)	Percent. naked pupae (%)	Percent. larvae dead (%)	Percent. cocooning larvae (%)	Single cocoon Weight (g)	Cocoon	
					shell (cg)	Weight (%)
SS-1 (<i>Nd-s</i>)	14.4	2.7	82.9	1.11	3.5	3.1
SS-2 (<i>Nd-s</i>)	14.8	6.0	79.2	1.16	3.6	3.1
<i>oa-1</i> (+ ^{<i>Nd-s</i>})	0.5	0.0	99.5	1.19	12.8	10.7
<i>oa-2</i> (+ ^{<i>Nd-s</i>})	1.0	0.0	99.0	1.19	13.5	11.3
S× <i>oa-1</i> (<i>Nd-s</i> /+)	5.4	1.1	93.5	1.34	4.9	3.7
S× <i>oa-2</i> (<i>Nd-s</i> /+)	3.6	1.0	95.4	1.25	4.7	3.8
<i>oa</i> ×S-1 (+/ <i>Nd-s</i>)	1.8	4.6	93.6	1.15	7.0	6.0
<i>oa</i> ×S-2 (+/ <i>Nd-s</i>)	4.4	3.6	92.0	1.23	7.6	6.2
A×S-1 (+/ <i>Nd-s</i>)	3.4	2.5	94.1	1.92	13.9	7.3
A×S-2 (+/ <i>Nd-s</i>)	3.2	0.8	96.0	1.65	13.3	8.1
B×S-1 (+/ <i>Nd-s</i>)	0.8	7.5	91.7	2.08	15.4	7.4
B×S-2 (+/ <i>Nd-s</i>)	0.0	6.6	93.4	2.15	15.5	7.2

제4절 천연색소 함유 누에계통 실증사육 시험

1. 유색견 형질 개발론 및 신품종 시험

현행 양잠기술은 사견양잠 위주로서 백색견 다사랑 계통의 누에를 이용한 기술개발이 추진되어 왔으나, SS 계통의 개발 등 특이형질에 착안한 누에 유전자원 발굴은 새로운 도전의 기회를 맞이하게 되었다. 예로부터 고치실 이외의 용도로 누에 또는 잠상부산물을 이용한 기록이 있으며, 특히 蠶糞을 이용하는 경우에는 반드시 백색견 누에를 이용하였다. 만일 약용으로 유색견에 관심을 두게되면 대단히 중시되던 고치실 생산에 차질이 생길 수 있으나, 백색견의 경우 고치실 제조에 영향을 주지 않으면서 필요한 용도로 그 부산물인 잠분을 얻을 수 있다.

백색견 누에계통의 蠶糞은 유용성분이 흡수되지 않고 배출되기 때문일 것이므로, 식용누에 위주의 양잠이 성행하는 요즘의 상황 변화를 참작하여, 그 기작을 역이용하는 방안을 강구할 수 있다. 누에는 사견양잠의 도구에 한정되지 않고, 유용물질 생합성 또는 분리 농축용 생물반응기로서 석유화학공업 및 기계공학적인 산업기술의 단점을 개선한 생태환경 친화적 물질생산에 유용하다. 특수성분 생합성과 농축 등 물질생산을 위한 유색견 누에계통 육성은 생태친화형 생합성장치 또는 생물기계의 개발로 간주된다. 뽕잎 유래의 생리활성물질 생산 가공을 위한 첨단 생물반응기로서 누에의 頭部는 원료의 인식 선별 공급을 위한 완전 자동식 시스템의 장착부위이다. 口器는 절삭 파쇄 등의 일부 전처리 공정을 수행하는 자동장치가 추가된 구조이다. 前場은 전처리 및 공급조절장치로서, 본공정을 위한 일부 예비공정을 수행하며 증장에 대한 전처리 산물의 공급라인을 제어하는 부위이기도 하

며, 中腸은 주 반응장치로서 특이적인 반응이나 발효 분리 흡수를 관장한다. 흡수된 성분은 체강 또는 피부에 농축되거나 수식되어 보관되며, 後腸은 반응 폐기물의 처리장치로서 수분을 제거한 다음 고형화 하여 배출된다. 유용물질 생합성용 생물기계로서 누에의 부위별 기능을 적극적으로 활용 또는 개선하는데 기초가 되는 설계도를 작성하였다. 이와같은 기본 설계도에 입각한 누에 유전자원의 발굴 및 개조에 의해 고도의 기능성을 지닌 생물기계로 개발한다면, 생합성물질 생산부문의 기술체계 확립에 새로운 가능성을 개척할 수 있다 (Fig. 4-2).

생물기계로서의 누에의 기능성은 제3장 4절에서 분석한 유색견 누에의 성분조성에서 이미 그 유용성이 입증되었지만, 그 외에도 미지의 생리활성물질 생합성과 관련된 새로운 유전자원의 발굴 가능성은 매우 높다. 현재 시행하고있는 건강보조식품 용도는 물론, 재조합유전자의 발현이나 곤충 세포배양 효과 (Choi et al., 1997; Tarasaki, et al., 1990) 등 다각적인 용도의 개발가능성이 제시되고 있다. 그러므로, 제2장 3절에서 확립된 이론 및 기초자료를 근거로 육성된 유색견 신품종 RYQ 및 RY×LY 생산성을 검정하기 위한 사육시험을 수행하였다. 생산성의 비교를 위하여 다사랑계 백색견 장려품종인 칠보잠의 경우 Table 4-1에서 산출된 단견중 2.2g 견충비율 23.5% 용체중 1.68g 수준을 기준으로 하였다.

단기 육성품종인 RYQ는 단견중 2.08g 용체중 1.78g 견충중 29.7cg 견충비율 14.4%로서 잠체중은 상당히 우수하지만 견충량은 일반 장려품종보다 열등하였다. RYQ 보다 개량된 RY×LY 는 일반명을 “황금잠”으로 명명하였으며, 단견중은 암컷 3.05g 수컷 2.34g 에 달하였다. 평균성적은 단견중이 2.69g 용체중 2.24g 견충중 45.1cg 견충비율 16.9%로서, 용체중은 133% 수준이었다. 그러므로, 제2장 4절의 기준을 적용한다면 황금잠도 “슈퍼누에”의 범주에 속하는 것으로 판정되었으며, 견충비율은 낮지만

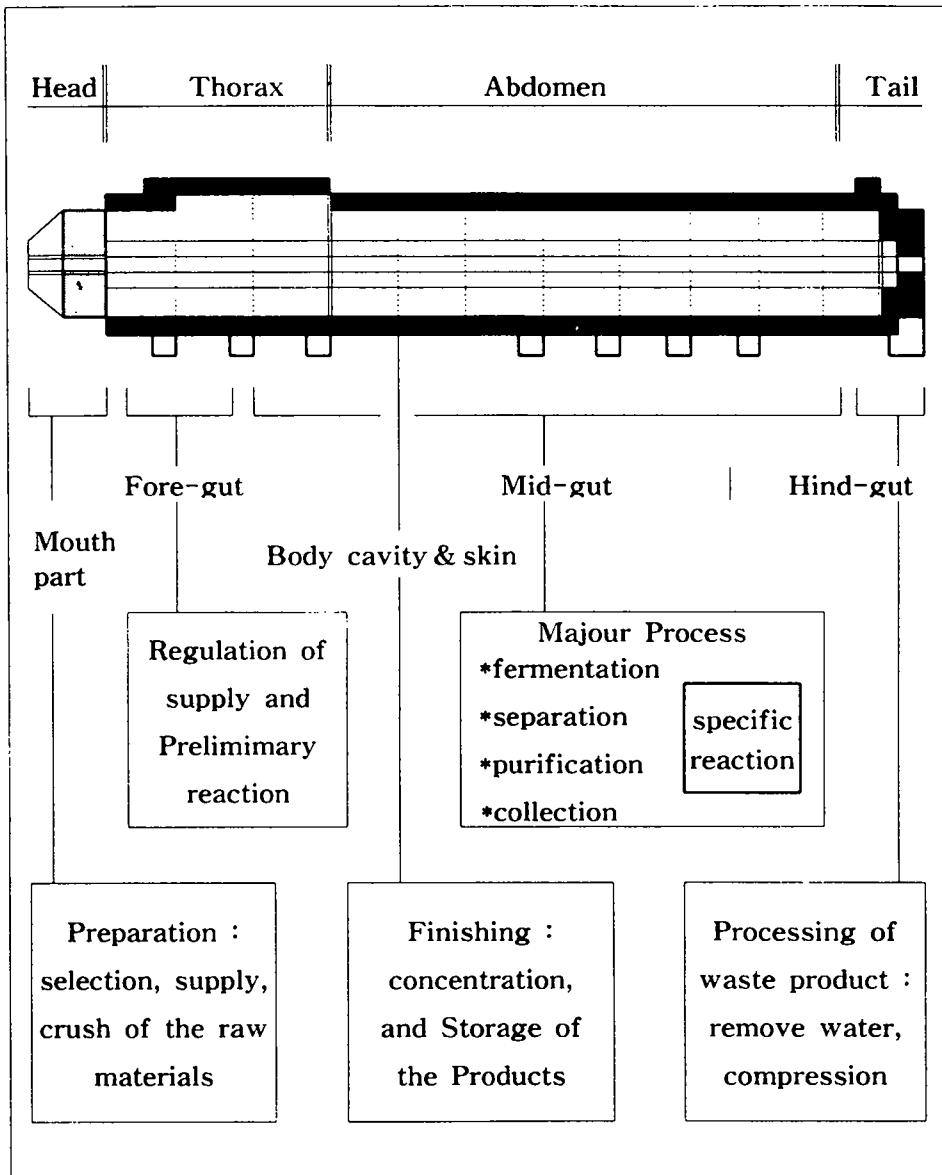


Fig. 4-2. Specification of silkworm body as a biomachine for the synthesis and concentration of useful biomaterials on the establishment of new technology.

Table 4-9. Productivity of the silkworms for yellow cocoons compared among the newly bred silkworm strains of *Bombyx mori mori* and *Bombyx mori mandarina* of wild type collected from mulberry field or domesticated

Silkworms	Sex	Single cocoon weight (cg)	Cocoon shell weight (cg)	Mean of Pupal weight (g)
<i>B.mandarina</i> field collection	Female	86.9±4.12	6.2±0.31	0.61
	Male	44.5±2.40	3.8±0.30	
<i>B.mandarina</i> domesticated	Female	209.2±4.27	30.2±0.77	1.32
	Male	101.1±2.55	14.9±0.53	
R Y Q	Female	232.0±0.06	31.1±0.30	1.78
	Male	185.0±0.05	28.3±0.24	
RY×LY	Female	304.9±0.17	47.3±0.28	2.24
	Male	233.5±0.08	42.8±0.21	

견충량은 일반 제사원료견과 비슷한 수준으로서 이용가치를 부여할 수 있었다. “황금잠”의 고치는 한성황건의 경우와 달리 칼라센서를 이용한 백색 및 황색견의 선별 작업이 생략되며, 유색견을 이용한 특수 품질의 생사를 제조할 수 있다 (Ohmura and Hshide, 1993). 그러므로 “황금잠”은 건강 보조식품용, 동충하초 배양, 세포배양용 누에체액 생산, 제사원료견 등의 다양한 용도로 활용가치를 개발할 수 있을 것으로 전망된다 (Table 4-9). “황금잠”은 $Le \times Yp \times Fn \times Ze$ 계열과 $Rc \times Qe \times Yg \times Yc$ 계열 간의 교잡에 의해 유색견 보존계통으로부터 단기간에 육성 가능한 품종이며 (제2장 3

절), 장기간이 소요되는 일반 육종방법과 달리 2~3대 부터 실용 가능한 장점이 있다.

한편, 집누에 (*Bombyx mori mori* : 이하 *B. mori* 로 略記)와 근연종으로서 교잡이 가능하고 차대의 생식이 가능하므로 亞種으로 취급되는 야생 멧누에 (*Bombyx mori mandarina* : 이하 *B. mandarina* 로 略記) 도 유색견 누에계통이므로, “황금잠”과 함께 공시하였다. 멧누에의 단견중은 야생 채집계통의 0.657g 에 비하여 인공사육에서는 1.552g 이었으며, 2.36배 이상 증대된 것은 매우 획기적인 사실이다. 왜냐하면, 야생곤충의 경우 인공사육한 계통은 채집계통 보다 체구가 작아지는 일반적인 현상에 비하여 너무나 상반된 결과를 나타내었기 때문이다. 그 뿐만 아니라, 인공사육 계통 멧누에의 단견중 1.6g은 교잡육성이 아닌 단순한 인공사육 만으로 일반적인 유색견 집누에 보존계통의 수준과 거의 같은 수준으로 향상된 점도 놀라운 사실로 평가된다.

2. 멧누에 계통의 대량육과 생산성 검정

야생의 멧누에는 집누에와 근연종으로서 인공적으로 교잡이 가능한 점은 널리 알려져 있으나, 애완동물인 개의 경우와 같이 인간의 생활권에 쉽게 적응하여 원초적으로 인간과 친화될 수 있는 본능이 있음은 본 연구에서 처음 밝혀졌다. 그러므로 멧누에 형질의 개발을 위해 실용 잠품종 간의 교배를 통한 잡종강세를 검정하는 한편 생산성의 개선을 시도하였다. 멧누에는 순화된 사육계통을 이용하였으며, 집누에간의 교잡종은 인공사육이므로 멧누에를 양친의 평균을 산출함에 있어서 단견중은 1.6g으로 산정하였다 (Table 4-9). 집누에의 단견중은 Table 4-1 의 성적을 참조하여 잠107 및 잠119는 1.9g, 잠126은 2.0g을 기준으로 하였다. 따라서, M×잠107 은

1.8g 으로서 양친의 평균이 1.75g 보다는 높았으나 잠107 보다는 낮았고, M×잠126 은 단견종이 우수한 양친인 잠126 과 동등하였다. M×잠119 는 양친의 평균은 물론 잠119 의 1.9g 보다 높은 2.1g 으로서 잡종강세는 가장 현저하였다. 그러나, 멧누에와 집누에 간의 교잡종은 어떤 경우에도 견충종 및 견충비율이 집누에 원종 보다는 낮은 값을 나타내었다 (Table 4-10).

한편, 순화된 사육계통 멧누에의 차대 dM×dM 는 선발육성 효과로 인하여 집누에와의 교잡종인 M×잠107의 경우보다 단견종이 향상되었으나, 이 경우에도 견충종은 장려품종 집누에 원종 보다는 낮은 수준이었다. 멧누에 계통의 누대 인공사육을 통하여 계량형질은 단기간에 예상을 초월한 수준으로 증대되어 황색견 계통 집누에 원종 중에서도 蕪質이 상위권에 속하게 되었다. 이러한 결과는 오늘날의 집누에가 불과 5,000~6,000 년 동안의 진화?로 지금과 같은 형질을 갖게 되었다는 무리한 주장을 반박할 수 있는 증거를 제공할 가능성도 있다. 그러나, 보다 더 현실적이며 설득력이 있는 가설로서, 야생 멧누에가 대부분 순계가 아니라, 상당수는 집누에 간의 혼혈계통이라는 새로운 주장이 제기된다.

뽕나무 해충으로 간주되던 야생 멧누에는 미지의 누에 유전자원 보존자로서 새로운 의미가 부여되며, 양잠의 쇠퇴에 따른 뽕밭면적의 감소로 터전을 잃고 자연생태계의 개체수가 현저히 감소하고 있다. 현행 양잠은 고치실 생산 위주의 고도로 단순화된 형태로서 수천년 동안 정착되어 왔으나, 미래에는 새로운 용도의 창출 및 가치성이 부여될 것이다. 특히, 환경친화적이며 재생산 가능한 생물자원이 중시되는 21세기에는 누에가 보유한 유전자원의 발굴이 중시될 것이다. 누에는 수천년의 사견양잠 전통 속에서 고치실 생산과 무관한 유전형질이 지속적으로 도태되었기에, 미지의 유전자원 발굴은 야생 멧누에가 지니는 가능성에 의존할 가치는 충분하다.

Table 4-10. Productivity of the hybrid silkworms between *Bombyx mori mori* and *Bombyx mori mandarina* of domesticated race : M, *B. mandarina* ; dM, domesticated ; J107 to J126, original silkworm of Jam107 to Jam126 for commercial races

Silkworm hybrids	Single cocoon weight (g)		Cocoon shell weight (cg)		Cocoon shell ratio (%)	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male
M×J107-1	1.5±0.05	0.9±0.04	13.0±2.65	9.5±1.13	8.2±1.60	10.2±1.15
M×J107-2	2.2±0.03	1.1±0.06	17.1±2.56	10.4±0.98	8.0±1.19	9.6±0.69
M×J107-3	1.8±0.03	1.1±0.03	15.1±0.76	12.6±0.66	9.1±0.81	12.1±0.61
Average	1.83	1.03	15.07	10.83	8.43	10.63
M×J119-1	2.2±0.14	1.2±0.03	35.4±2.12	22.0±0.76	16.3±0.33	18.0±0.42
M×J119-2	2.1±0.14	1.2±0.03	32.9±1.01	22.4±0.82	15.3±0.28	18.0±0.27
M×J119-3	2.1±0.31	1.2±0.03	33.0±0.70	21.2±0.57	15.6±0.18	17.3±0.30
Average	2.13	1.20	33.77	21.87	15.73	17.77
M×J126-1	1.7±0.03	0.9±0.04	22.3±0.61	12.8±0.82	13.4±0.15	14.1±0.34
M×J126-2	2.2±0.07	1.1±0.07	30.7±1.28	20.5±0.81	14.0±0.33	16.4±0.35
M×J126-3	2.1±0.08	1.2±0.02	30.6±0.51	18.9±0.50	14.2±0.12	16.2±0.21
Average	2.00	1.07	27.87	17.40	13.87	15.57
dM×dM-1	1.8±0.05	0.7±0.04	23.2±1.08	11.5±0.83	12.9±0.31	15.5±0.44
dM×dM-2	2.0±0.03	1.0±0.02	28.4±0.55	15.0±0.48	14.4±0.35	14.4±0.35
dM×dM-3	2.1±0.04	1.0±0.03	30.2±0.77	14.9±0.53	14.5±0.26	14.7±0.24
Average	1.97	0.90	27.27	13.80	13.93	14.87

제5절 결 론

특수 잠 품 종 대 량 육 실 증 시 험

1. 특수 형광견 잠 품 종 대 량 육 실 증 시 험

원료견의 형광색이 불균일한 경우 sericin 용해도의 불균일로 풀림새가 고르지 않게 되고, 제사공정에서는 조사능율이 떨어지며, 繅絲장력의 불균일로 마디실 등이 발생하여 생사의 품질이 저하된다. 생사의 품질에 절대적 영향을 미치는 繅絲장력의 균일성은 sericin 용해도의 균일성에 지배되며, 이와 직결되는 고치 형광색의 균일화를 통하여 고품질생사 제조에 적합한 원료견을 개발하였다. 청색형광견 신품종의 형광색 발현을 검정하는 동시에, Ab, Bb, Cb, Db, Gb, Hb, Ib, Jb 등은 그 모계인 잠107, 잠108, 잠119, 잠120, 잠113, 잠114, 잠125, 잠126 과 계량형질을 대조하였다.

새로 육성한 특수형광견 계통의 부화율 유충 기간 용화비율 단견중 견충비율 산란수 등을 각 계통별 모계와 대조한 결과, 일반적인 실용형질이 관행 품종에 비하여 동등하거나 그 이상이었다. 따라서, 고치 형광색을 개량함에 있어서 야기될 수 있는 계량형질의 도태 등 부작용은 인정되지 않았다. 특수형광견용 신품종은 단견중 및 산란수 등이 원 계통에 비하여 다소 증가한 경향은 육성 과정에서 계량형질의 도태를 우려하여 아구별로 사육하고 근친교잡을 철저하게 피한 결과로 설명할 수 있다. 따라서, 량적인 증대를 추구한다면 관행 누에품종으로 원종의 철저한 관리 및 채종방식의 개선만으로도 상당한 성과를 기대할 수 있을 것이다.

관행의 잠종제조 방식에 따른 일본종 및 중국종 간의 교잡종 Ab×Bb, Cb×Db, Gb×Hb, Ib×Jb 는 각각 그에 상응하는 일반계통 잠107×잠108, 잠119×잠120, 잠113×잠114, 잠125×잠126 에 비하여 실용형질이 동등하거나 우수하였다. 관행 품종으로서 특히 강건성이 우수한 잠107×잠108 (철보잠) 및 이와 같은 혈통을 지닌 Ab×Bb 는 모두 용화비율이 높았다. 견충비율은 전반적으로 22~23% 이상으로서 우수하였으며, 고치 형광색 이외에는 원 계통과 동등하였다. 형광색이 균일한 신품종의 보급을 통하여 사견양잠에서는 국산 생사 및 견직물의 고급화를 실현할 수 있을 것으로 전망된다. 고치 형광색이 균일한 특수형광견용 누에 신품종은 누대사육시 수견 후의 고치형광색 검사는 필수적으로 준수해야 되며, 일반 원종의 계통보존 시에도 고치 형광색의 기초조사가 확보되면 고치검사를 통하여 이질적 계통이나 부적절한 형질이 혼입된 경우 쉽게 제거할 수 있다.

누에고치의 분광학성에 입각한 형광색의 응용은 미지의 곤충 유전자원 발굴을 위하여 다각적인 검토와 다양한 방법으로 접근할 수 있는 방안이 확보된다. 분광학성의 검증은 육안 관찰로서 차이를 구별할 수 없는 개체 간의 변이나 새로운 돌연변이의 존재 및 이를 식별할 수 있는 새로운 수단임을 입증하였다. 분광학성의 응용은 특수형광견에만 한정되지 않으며, 일반 누에계통에 관하여도 고유 형질의 도태를 막고, 우수한 형질의 지속적인 육성에 응용될 수 있을 것이다. 열풍건조한 원료견의 繰絲시험 결과, 원종의 고치실 길이는 잠107, 잠108, 잠119, 잠120 등이 길며, 그 개량종인 특수형광견 Ab, Bb, Cb, Db 등도 900m 이상으로서 다른 계통 보다 우수하였다. 잠125 잠126 및 그 개량종인 Ib 와 Jb 는 해서울과 絲量이 양호하였지만, 섬도가 2.8d 로서 다소 굵은만큼 고치실 길이는 짧아졌다.

교잡종 고치의 繰絲絲長은 1,300~1,500m로서 길고, 섬도는 2.8~3.0d 로서, 원종에 비하여 교잡종 고치실은 길며 굵었으며, 생사량비율 19~20%,

해서울 69~73% 이상으로서, 교잡종 고치의 성적이 향상되었다. 특히, 잠 107×잠108 (칠보잠) 의 개량종인 Ab×Bb 는 고치실이 길며 섬도가 비교적 가늘기 때문에 제사용 원료견으로서 우수성이 두드러졌다. 한편, Cb×Db의 섬도는 3d 정도로서 다른 품종에 비하여 고치실이 길고 굵은 특성을 보였으며, 유충 사육기간이 하루정도 긴 만큼 고치 생산성이 증대되었던 것으로 간주할 수 있었다. 생사의 형광색은 누에고치의 형광색이 재현되었으며, sericin 정착가공 등을 도입한다면, 특수효과를 연출할 수 있는 견사의 제조에도 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 금후, 지속적으로 특수형광견 계통을 육성한다면, 주요 특이형질의 개량을 기할 수 있으며, 고치실 폴림새와 섬도 등의 품질의 향상은 물론 양적인 증대도 가능할 것이다. 최근, 잠업법의 폐지로 장려품종의 개념이 달라지고 있으나, 오래된 품종이라도 고유의 성상을 끊임없이 개량한다면, 전통 누에품종에 내재된 가능성을 무한하게 발굴할 수 있을 것이다.

2. Nd-s계 특수형질 검정 및 대량육 시험

누에가 섭취한 영양분이 체 성장 위주로 이용되는 발육생리와 견단백질의 특이한 물성 등은 Nd-s계 SS잠의 가장 독특한 두가지의 표현형질이다. homo type 의 SS×SS를 대상으로, 사견양잠용 일본계 원종인 AA 및 중국계 원종 BB를 도입하고, 비정상적인 발육생리적 특성을 응용한 슈퍼누에 제조를 시험하였다. AA 및 BB는 각각 Ab 또는 Bb를 양친으로 이용하였으므로, SS 와 AA 간의 평균성적과 비교할 때, SS와 A 및 B 간의 교잡종은 유충기간이 21.67일로서 SS 잠과 같은 수준이었으며, A 와 B 및 양친의 평균보다 단축되었다. 단견종은 A 및 B의 교잡종은 각각 1.96 및 2.38g 이었으며, 각각 양친의 평균치인 1.57g 및 1.62g을 상회하며, SS×BB 는 양친 중 단견종이 무거운 B의 수준도 능가하였다. 특히, B 형질이

사전에 도입된 SB 와 AA간의 교잡종 AA×BS 는 단견중이 3.0g 이상으로 양친의 평균을 크게 초월하며, 관행 장려품종의 136%를 능가하는 “슈퍼누에”가 탄생하였다. 그런데, 견충중은 18.0cg 으로서, AA와 SS간의 평균인 23.5cg 및 BB와 SS간의 평균인 25.0cg 보다 열등하였으나, SS 의 3.5 cg 에 비하여는 크게 개선되었다.蛹체중은 단견중에 비례하여 양친을 크게 상회하는 수준으로 증대되었으며, 큰 체구에 비례하는 양적 증대에도 불구하고 유충 사육기간은 오히려 단축되므로, 이와같은 특성은 물질 생산에 매우 유리하게 이용될 수 있다.

유전자 재조합 바이러스를 이용한 유용물질 생산의 경우, 큰누에의 체내에는 건사선이 대부분을 점유하게 되어 생산성이 떨어지게 되지만, *Nd-s* 잠은 영양 분배가 체 성장 위주로서 건사선 발육이 미약하므로 특이물질 생산에 유리하다. 최근, 일본에서도 동일 용도로 *Nd-s* 형질의 유용성을 입증하는 결과가 발표되었으나, AA×BS 의 수준에는 미치지 못하고 있다. 유충의 체구가 크고 건사선이 작으면, 누에를 이용한 세포배양용 누에혈액 생산 등에도 효율성을 극대화할 수 있고, 식용이나 의약품생산 또는 재조합 유전자 발현계용 실험곤충으로서 유용물질 생산에 유리하다. 유충이나 번데기가 크면 동충하초 배양에도 유리하며, 누에고치는 얇기 때문에 동충하초 생산시 영건 후 감염치사하는 경우 노력을 절감할 수 있을 것이다.

Nd-s 유전형질이 극단적으로 발현될 경우 치사율이 높아지며, 특히 5령기잠 때 다발하는 탈피불능 누에의 생존에는 간호사육이 효과적이다. 탈피가 시작될 무렵 그물을 투입하고, 그 위에 1~2cm 폭으로 길게 썰은 뽕잎을 급상하는 간호사육 방식으로 자연 탈피율 60% 내외인 *Nd-s* 계통의 탈피율을 80% 정도로 향상시켰다. 따라서, *Nd-s*잠의 대량육에서 개체별 탈피기술 보다 간편한 방법으로 탈피불능잠 비율을 낮출 수 있는 방식을 강구할 수 있었다. 나용 계통은 면에 들 무렵 토사가 불량하여 발이 누엣자리

에 잘 고정되지 않아서 탈피하기 어려운 문제가 발생된다. 탈피가 순조롭지 못할수록 시간이 더 소요되며, 탈피가 진전된 부분의 남은 피부는 그동안 미리 굳어서 유연성을 잃게 되므로, 남은 부분의 탈피는 더욱 어렵다. 그물과 함께 투입된 뽕잎은 그 하중과 마찰력의 증대로 남은 피부의 고정능을 보완하며, 건조한 누엣자리에 습기를 공급하여 탈피 진행중에 남은 피부가 경화되는 속도를 지연시키므로 탈피율이 개선된 것으로 설명된다. 일반적으로 큰누에는 탈피 후 인누에의 식욕이 날 때 까지 98~172분 정도 소요되며, 탈피후 12시간 까지 뽕을 주지 않아도 지장이 없으므로 그 동안 누엣자리를 건조하게 한다. 그러나, 조기에 뽕잎을 급여하면 누엣자리의 습도가 높아서 진균류의 경피감염 위험이 높고, 식욕이 난 누에가 제각기 뽕을 먹기 시작하기 때문에 자랍새를 고르게 하기 어려운단점이 있다.

*Nd-s*계 SS잠의 견단백질은 물리 화학성이 특이하며, 특수신소재로서의 개발 가능성이 제시되므로, 일본계 및 중국계 원종간 교잡종을 이용하여 SS 견의 생산성을 검정하였다. 교잡종 S×A, S×B, A×B 누에고치의 SS 견단백질 함량은 유전자 구성에 따라 다르며, homo type 인 S×S (*Nd-s/Nd-s*) 고치는 1차 처리에서 92.4%, 2차 처리후 93.3% 였다. 한편, hetero type 인 S×A (*Nd-s/+^{Nd-s}*) 고치는 1차 처리후 75.6%, 2차 처리 후 76.8% 로서 수용성 견단백질 함량은 76% 정도였다. 이는 일반 견단백질은 2회의 autoclaving 후 연감량이 30% 정도인 점을 감안 할 때, SS잠과 정상잠 간의 F1은 수용성 견단백질 함량이 양친의 평균 61.7% 보다는 다소 높았다.

수용성 견단백질의 생산성 증대를 위하여, oa, A, B, 등의 누에계통을 도입한 교잡육성 결과, SS잠은 *Nd-s* homotype에서 나용이 14~15% 발생하였으며, 5령기잠 이후 누에올릴때 까지의 감잠비율이 3~6%였고, 개체당 수용성 견단백질 생산량은 암수평균 3.5~3.6cg 이었다. oa/oa 12.8~

13.5cg, A/A 42cg, B/B 45cg를 기준으로 F1 고치의(*Nd-s/+*) 견충중은 모두 양친의 평균치인 9.5 cg 및 24.3 cg 에 비하여 적었으며, oa/SS 가 6.0~6.2cg, B×S의 정역 교잡종은 14~15cg 이었다. SS잡과 일반 누에 품종 간의 F1 고치는 견충량에 있어서 잡종강세는 인정되지 않으며, 양친의 평균에 비하여 62~64% 수준으로 크게 감소하였다. *Nd-s/+* 인 경우의 용해도는 76% 정도로서 양친의 평균인 61.5% 보다 높은 수준으로 발현되었다. 결과적으로 견충량이 많은 A×S 및 B×S 교잡종에서 수용성 견단백질 생산량은 절대량이 11.4cg (=15cg×76%) 으로 추정되었으며, SS잡의 3.5~3.6cg 에 비하여 개체당 생산성은 3배 이상 증대되었다.

첨단 신소재용 특수 고분자 견단백질 생산 및 이와 관련된 누에 신제품 개발을 위하여는, 다사량계의 중국계 표준품종인 A 및 B 형질을 도입한 교잡육성이 매우 효과적이었다. 특히, AA×BS에서 입증된 잡종강세의 원리를 응용한다면 슈퍼 SS잡을 생산할 수 있으며, 수용성 견단백질 생산량도 더욱 증대시킬 수 있을 것으로 전망된다.

3. 천연색소 함유 누에계통 실증사육 시험

사견양잠 위주의 현행 양잠기술의 영역을 초월하여 백색견 다사량 계통 누에 이외의 특이형질은 SS 잡을 비롯한 누에 유전자원의 발굴에 대한 새로운 시도를 유발하였다. 고치실 이외의 용도로 누에 또는 잠상부산물을 이용한 기록에서 蠶糞은 반드시 백색견 누에로부터 채취하였으며, 백색견 누에의 蠶糞은 유용 성분이 흡수되지 않고 배출된다는 점에 유의할 필요가 있다. 식용누에 위주의 양잠이 성행하는 기술동향을 참작하여, 그 기작의 역이용 방안은 특수성분 생합성 및 농축용 유색견 누에의 개발이다. 물질

생산을 위한 기술전략 상 공업적 이용 차원에서 누에는 일종의 저에너지 고효율 및 환경친화적 생합성장치 또는 생물기계로 간주된다.

누에의 頭部와 口器는 원료를 자동적으로 인식 선별 파쇄하는 장치이며, 前腸은 전처리 및 공급조절장치, 中腸은 주 반응장치로서 특이적인 반응 발효 및 분리 흡수를 관장한다. 흡수된 성분은 체강 또는 피부에 수식되거나 농축되어 보관되며, 後腸은 반응 폐기물의 처리장치로서 수분을 제거한 다음 고형화 하여 배출된다. 유용물질 생합성용 생물기계로서 누에 각 부위별 기능의 적극적 활용 또는 개선에 기초가 되는 설계도를 작성하였다. 이와같은 기본 설계도에 입각한 누에형질의 개조 및 유전자원 발굴은 고도의 기능성을 지닌 생물기계로 발전될 것이며, 생합성물질 생산부문의 기술 체계 확립에 새로운 가능성을 개척할 수 있다.

생물기계로서의 누에의 기능성은 유색견 누에의 성분조성 외에 미지의 생리활성물질 생합성과 관련된 유전자원의 개발 가능성은 매우 높다. 현재 성행하고있는 건강보조식품 용도는 물론, 재조합유전자의 발현이나 곤충 세포배양 효과 등 다각적인 용도의 개발로 전개될 전망이다. 유색견 신품종 RYQ 및 RY×LY 생산성은 다사랑계 백색견 장려품종인 칠보잠의 경우와 비교하여 검정하였다. 단기육성 품종인 RYQ는 단견중 2.08g 용체중 1.78g 견충중 29.7cg 견충비율 14.4%로서 잠체중은 상당히 우수하지만 견충량은 일반 장려품종 보다 열등하였다. RYQ 보다 개량된 RY×LY 는 일반명을 “황금잠”으로 명명하였으며, 단견중은 암컷 3.05g 수컷 2.34g 에 달하였다. 평균성적은 단견중이 2.69g 용체중 2.24g 견충중 45.1cg 견충비율 16.9%로서, 용체중은 133% 수준이었다. 그러므로, 황금잠도 “슈퍼 누에”의 범주에 속하는 것으로 판정되었으며, 견충비율은 낮지만 견충량은 일반 제사원료견과 비슷한 수준으로서 이용범위가 확대되었다. “황금잠” 고치는 별도의 선별작업 없이 유색견을 이용한 특수 품질의 생사를 제조할

수 있고, 건강보조식품용, 동충하초 배양, 세포배양용 누에체액 생산, 제사원료견 등의 다양한 용도에서 특수화를 추구할 수 있는 등 활용가치가 인정된다. “황금잠”은 육종에 장기간이 소요되는 일반 육종방법과 달리, 유색견보존계통으로부터 단기간에 육성 가능한 품종으로서 육성 개시 2~3대 째부터 실용 가능한 장점이 확인되었다.

한편, 집누에와 근연종으로서 교잡이 가능하고 차대의 생식이 가능하므로 亞種으로 취급되는 야생 멧누에도 유색견 누에계통이므로, “황금잠”과 함께 생산성을 검정하였다. 멧누에의 단견중은 야생 채집계통이 0.657g 이었으나, 인공사육에서는 1.552g 이었으며, 다세대를 경과하지 않고 2.36배 이상 단견중이 증대된 것은 매우 획기적인 사실이다. 야생근충은 인공사육한 계통이 채집계통 보다 체구가 작아지는 일반적인 현상과 상반될 뿐 아니라, 단지 인공사육 만으로 보통 유색견종 집누에 계통에 상당하는 수준으로 향상된 점도 놀라운 사실로 평가된다.

야생의 멧누에와 실용 잠품종 간의 교잡종 M×잠107 은 1.8g 으로서 양친의 평균이 1.75g 보다는 높았으나 잠107 보다는 낮았고, M×잠126 은 양친 중 단견중이 우월한 잠126 과 동등하였다. M×잠119 는 양친의 평균은 물론 잠119 의 1.9g 보다 높은 2.1g 으로서 잠종강세는 가장 현저하였다. 그러나, 멧누에와 집누에 간의 교잡종은 어떤 경우에도 견충중 및 견충비율은 집누에 원종보다 적은 값을 나타내었다. 한편, 순화된 사육계통 멧누에의 차대 dM×dM 는 선발육성 효과로 인하여 집누에와 멧누에 교잡종인 M×잠107 보다 단견중이 향상되었으나, 이 경우에도 견충중은 장려품종 집누에 원종 수준 보다는 낮았다. 멧누에 계통의 누대 인공사육 결과 dM 의 단견중은 수세대 이내에 예상을 초월한 수준으로 증대되어 황색견계통 집누에 원종 중에서도 繭質이 상위권에 속하게 되었다. 이러한 결과는 오늘날의 집누에가 불과 5,000~6,000 년 동안의 진화 산물이 아니라는

사실을 시사한다. 현실적이며 설득력이 있는 가설로서, 야생 멧누에가 대부분 순계가 아니라, 상당수는 집누에 간의 혼혈계통이라는 새로운 주장이 제기된다.

뽕나무 해충으로 간주되던 야생 멧누에는 양잠의 쇠퇴로 뽕밭면적이 급격하게 감소되면서 그 터전을 잃고 자연생태계에서 그 개체수가 눈에 띄게 감소되고 있다. 그러나 야생 멧누에는 알려지지 않은 누에 유전자원의 보존자로서 새로운 의미를 지니게 되었으며, 더 이상 발생밀도가 감소되기 전에 유용형질의 발굴을 서두르는 것이 바람직하다. 고치실 생산 위주의 고도로 단순화 된 형태로서 수천년동안 정착되어 온 현재의 양잠과 달리 미래에는 어떤 용도가 창출되며 새로운 가치성이 부여될지 단정지을 수 없다. 특히, 환경친화적이며 재생산 가능한 생물자원을 중시하게 될 21세기를 대비하는 차원에서 누에가 보유한 유전자원의 발굴은 중시할 필요가 있다. 특히, 수천년간 지속된 사견양잠의 전통 속에서 집누에는 고치실 생산과 무관한 유전형질이 지속적으로 도태되었기 때문에, 그와같은 특이 유전형질은 야생 멧누에의 혈통 속에 보존되어있을 가능성을 기대하는 수 밖에 없다.

종합 결론

1. 특수분광성 원료건 생산용 누에품종 육성

① 황색형광견은 청색형광견보다 세리신 용해도가 높았으며, 고급 견소재 개발에 있어서 제사원료건의 형광색은 세리신 용해도의 차이를 반영함을 입증하였다. 특히, 세리신 용해도의 차이는 조사장력의 불균일성을 초래하며, 결국 조사능을 및 생사의 품질을 저해하게되는 주 요인이므로 이를 해결할 수 있는 구체적인 기술방안을 확립하였다. 제사공정은 품질 및 생산능을 향상을 위한 고도의 자동화와 첨단 기술을 실현하였으나, 기계 화학적 요소의 한계성은 원료건의 고급화 즉, 질적 개선을 통하여 더욱 차원높은 고품질화를 실현할 수 있는 여지를 개척할 수 있었다.

② 누대선발 결과, “특수형광 원료건” 생산이 가능한 새로운 누에계통으로서 “청색형광견” 원종 8계통 및 “황색형광견” 원종 5계통이 육성되었다. 청색형광견은 일본계 원종 Ab, Cb, Gb, Ib 및 중국계 원종 Bb, Db, Hb, Jb 등이며, 황색형광견용 누에의 경우 Ay, Cy, Dy, Gy, Jy 등 5계통을 선발 육성하였다. 형광색이 균일한 BFS 및 YFS 고치 생산용신품종의 원종 및 교잡종은 단견종 견충종 고치실 길이 산란수 등의 양적인 특성도 일반 계통에 비하여 우수하거나 동등한 수준이었다. 금후 지속적으로 특수형광견 계통의 원종을 철저하게 관리 육성한다면, 주요 형질의 도태를 방지하는 동시에, 고치실 플립새와 섬도 등의 품질의 향상과 양적인 증대도 기대된다.

③ 누에고치의 분광학성에 기인하는 형광색의 관찰은 원자외선과 근자외선의 중간 영역인 보다는 장파장 영역의 근자외선인 366 nm 가 효과적이었으며, 열풍건조한 경우와 생고치의 형광색은 차이가 인정되지 않았다. 자외선 하에서 원료건의 형광색은 보통광 하에서 고유의 고치색과 무관하며 품종에 따라 다양하였으나, 백색견인 경우 청색과 황색 및 흰색과 중간색이 관찰되며, 황색견 또는 기타 유색견은 황색과 청색을 비롯하여 회색 분홍 보라 등 다양한 형광색이 관찰되었다. 그 중에서 청색 및 황색 이외의 형광색은 다사랑 계통에서 순계가 고정되지 않았다. 특히, 수입산 제사원료건의 형광색은 매우 조잡하며, 다양한 형광색이 혼재하여 고급 생사 제조에 매우 불리한 것으로 판정되었다.

④ 한성유전 형광색 고치 누에계통으로서 Bc08, Dc20, Fc24, Hc14, Jc26 가 밝혀졌으며, 고치 형광색의 限性的 발현은 중국계 원종에서 인정되며, 雌繭=靑色형광 雄繭=황색형광을 나타내었다. 형광색의 한성적 발현은 품종 및 계통에 따라 다르며, 중간색을 띤 개체가 많아서 境界가 불명료한 경우에는 내층 형광색을 기준으로 판별한 경우 보다 명확하게 구분되었다.

⑤ 고치는 외층과 내층의 형광색이 일치하지 않거나 동일 견층에서도 부위별로 상이한 형광색이 모자이크상으로 혼재하므로, 형광색별로 원료건을 정확히 구별하여 고치실을 제조하는 방법은 불가능한 경우가 있었다. 따라서, 형광색의 균일화를 통한 고급 생사 제조를 위하여는 고치 형광색이 균일한 누에품종을 육성하는 것이 매우 유리한 해결책임을 입증하였다.

⑥ 21d (21중)의 청색형광 생사 (BFS) 시제품을 제조한 결과, 생사에서도 누에고치의 형광색이 재현되었고, BFS 생사의 강신도는 4.5g/d,

21.6% 였으며, 현행의 품종의 누에고치에서 제조한 국산 생사는 4.3g/d, 21.8%였다. BFS는 대조구의 관행 생사에 비하여 강도가 5% 정도 우수하였다. 伸度(elongation)는 큰 차이가 인정되지 않았고, 고치실 (bave)의 섬도는 평균 2.07d 로서 시험구와 대조구가 동등하였다. 따라서 BFS 는 형광색 형질의 개선에 따라 견사의 강신도 등 일반적인 성질의 저하 등 부작용은 전혀 없으며, 오히려 물성이 개선되는 경향을 나타내었다.

⑦ 청색형광 생사 (BFS)는 용점측정기에서 온도 상승에 수반되는 시료의 연화점(softening temperature) 과 용점(melting point)을 측정한 결과, 연화점 204~210℃, 용점 240~245℃로서, 일반 생사의 연화점 200~205℃, 용점 235~240℃ 로서 열에 대한 저항성은 거의 같거나 다소 높은 수준을 나타내었다

⑧ 새로 육성된 황색형광견 (YFS)은, 고온 다습한 조건에서 상족할 경우 누에고치는 과도한 습기에 노출된 부위의 형광색이 청색으로 변색됨을 알 수 있었다. 따라서, 상족후 족중관리상태에 따라 결정되는 원료견의 폴림색은 형광색의 검사 만으로도 쉽게 판정할 수 있는 기술을 확보되었다. 특히 상족 시기가 장마철과 겹치게 될 때, 족중 관리의 철저로 원료견의 품질에 부응하는 등급 판정과, 해서불양견의 출하를 사전에 예방할 수 있는 기술로서 활용 가능하며, 새로운 우량품종 개발에도 응용될 수 있을 것이다.

⑨ 견섬유에 함유된 세리신이 제거된 정도를 쉽게 판별되는 황색형광견은 Tyr 잔기 거동의 분석에서 ¹⁵N-Tyr 의 고체 CP NMR의 스펙트럼으로부터 피브로인 만의 구조에 관한 정보의 관찰에 용이하였다. 피브로인의 Tyr 잔기는 결정부분을 구성한다고 보기에는 미흡하며, 비결정 부분을 구

성한다는 견해가 더 타당한 것으로 밝혀졌다. 따라서, ^{15}N -Tyr 은 “무정형 상태에 가까우면서도 어느정도의 배향을 이룬 집합체”로 간주되었다.

⑩ Orange II 염료는 전형적인 이온결합형으로서 염료분자는 하전되기 쉬운 상태이므로 산성 조건에서 염색하기 때문에, 염착량이 현저히 저하되는 알칼리 조건에서 Orange II 와 피브로인의 화학결합에 관한 정보는 입수하기 어렵다. 한편, 피브로인은 알칼리에서 용해되는 동물성 단백질이므로 알칼리 조건에서 황변현상과 관련된 분자차원의 화학반응도 해명된 바 없으나, 알칼리 조건에서의 황변은 중성영역을 벗어나는 pH 8 이후에 시작되어 pH 10 부터 가속화 되며, pH 11.5 부터 정점에 달하는 것으로 밝혀졌다. 결과적으로 높은 pH 영역일수록 현저한 화학적 이동은 Tyr 잔기 내의 O^- 그룹과 Orange II 분자의 SO_3^- 간의 정전기적 반발에 의하여 탈 수 소화가 용이하게 일어난다는 의미로 해석할 수 있었다.

⑪ 세리신 용해도와 견사 품질의 관련성은 재조(winding) 섬도(sizing) 사조반(evenness) 대중절 소절(neatness), 강력(strength) 신도(elongation) 포합(cohesion) 정련(scouring) 등 검사성적의 저하이다. exfoliation 성적 불량과 lousiness 등을 비롯하여, 견직물에서는 경사반(mixed warp), 경사땡김(tight thread), 위사반(mixed filling), 위사땡김(tight filling), craping defect, shinning, nap, chika, floating, 등의 결함이 증가한다. 또한, 정련감량의 조절이 어렵고 주문제작시 견직물의 중량 조정에도 불리하며 수출 견직물류 규격 조정의 문제점 등의 개선에 균일형 광색 고치 생산기술이 유용할 것이다.

⑫ 생사 및 견제품의 고급화를 위하여 제사원료건을 개체별로 형광색을 선별한 다음, 형광색 성상이 유사한 집단으로 구분하여 생사를 제조하는 일본측 기술방안은 다음과 같은 이유로 실용화는 불가능한 것으로 판단되었다.

* 제사 원료건을 개체별로 선별하는 일은 제사공정상 현실적으로 무리이며, 시행할 경우 시간과 노력이 과다하게 소요되며 비용을 부담할 수 없다.

* 형광색의 색상은 명도 채도 색상의 대비효과가 증폭되어, 명료한 황색 또는 청색과 인접한 고치의 고유색 판별이 곤란하여 육안 선별은 부정확하다.

* 황색형광건의 경우 상족조건이 과습환경일 때 청색을 띠게 되므로 고유의 유전적 청색형광과 환경요인에 의한 청색형광의 구별이 번거롭고, 그에 따른 원료건의 선별기준 및 실시방법의 설정이 애매모호하다.

* 고치형광색 선별용 기계 개발에 고비용이 소요되며, 일반 원료건은 고치 외층과 내층 형광이 다른 경우가 있어서 외층 형광의 관찰 만으로는 정확히 구분되지 않고, 외층 형광색도 황색 및 청색형광이 모자이크상으로 혼재하는 경우에는 첨단 기계로도 선별이 불가능하다.

2. 색고치 유전자 발현 검정과 우량계통 수립

① 유색견 계통으로서 본 연구개발 사업에서 육성된 신품종 “黃金蠶” (일명 GOLD) 은 LY×RY 교잡종이며, 단견중이 2.69g 으로서 해바라기색 고치를 짓고, 강건하며 고치생산성이 높고 산란성도 우수하였으며, 품종명은 GOLD 즉 “黃金蠶”으로 명명하였다. 단기 육성품종인 RYQ도 단견중 2.08g 용체중 1.78g 견충중 29.7cg 견충비율 14.4% 로서 견충량은 일반 장려품종 보다 열등하지만 잠체중은 상당히 우수하여 사견양잠 이외의 용도로는 이용가치를 인정할 수 있었다. LY 및 RY 계통 간의 교잡효과는 2세

대 부터 강하게 발현되며, 육종 과정의 어느 단계에서든지 교잡종 “황금잠”을 제조할 수 있어서 속성보급에도 유리한 장점이 확인되었다.

② 黄鹼色계통인 “黄金蠶”의 원소분석 결과, Mg 1,424ppm (108%), Ca 544 ppm (118%), Cu 698 ppm (161%), Fe 1.7 ppm (243%) 으로서 일반 백색견 장려잠품종에 비하여 무기염류 함량이 풍부하였다. 특히 누에 체액 중의 유리아미노산의 절대함량이 백혈 백색견인 Ab×Bb 보다 월등하게 많았고, 함량비도 “황금잠”은 histidine과 lysine 이 특히 많았으며, 그 외에는 백혈계통 누에 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 유리 아미노산은 특별한 소화과정을 거치지 않고 흡수율이 높으므로 누에 가공품은 노약자 어린이 등의 건강식품으로서 매우 유용하며, 동충하초 생산 등에 새로운 부가가치를 얻기 위하여 활용될 수 있는 누에 자원으로 전망된다.

③ 각종 누에고치 색은 Pink 系, Orange Yellow 系, Yellow 系, Yellow Green 系, White 系 등 5 系統으로 크게 분류할 수 있고, 다시 계통색으로 세분되었으며, Pink 系 1종, Orange Yellow~Yellow 系 12종, Yellow Green 系 3종으로서 원종의 고치색은 16종류가 확인되었다. 이들 색채는 육안 판별능을 기준으로 색채식별역 (color difference limen)의 편차를 감안한 수준에서 누에 고치색의 색상 명도 채도를 결정하고 Munsell 표색법으로 표기하고, 국제 표준색명 및 한국어 표준색명에 근거한 영어색 이름 및 한국어 색이름을 결정하였다.

④ 400여종의 집누에 돌연변이 유전자 중에서 고치색에 관여하는 유전자는 약 20종으로서 고치색의 발현에는 2종 또는 그 이상의 유전자 조합이 필요하며, 공존하는 우성 및 열성 유전자가 직접 또는 간접적으로 발현 및

역제작용에 관여하였다. 관행의 육색(肉色) 고치는 표준 색이름으로 살색이 아니라 Orange Yellow 系の “얇은 등황색 계통”에 속하는 계란색이었고, 국제표준 살색은 Pink系 색채로서 “밝은 노랑띵 분홍 계통”으로 규정하고 있다. 살색은 서양에서 Pink 계 색채로 규정하지만, 우리나라를 비롯한 동양권에서는 주파장의 차이가 3nm에 불과한 근연색으로서 Yellow 계 색채로 인식하고 있다는 흥미로운 사실이 밝혀졌다.

⑤ 고치색 파장은 593, 584, 580, 578, 575, 570, 567 (nm) 등 7종의 색상을 바탕으로 명도와 채도를 달리하는 요인의 작용으로 고치색이 발현되었으며, 공시 원종에서 16종류와 교잡종에서 새롭게 발현되는 2종류를 포함하여 18종이 확인되었다. 누에는 색채識別閾(color difference limen)이 1.3nm로서 매우 예민한 580nm 부근의 물질을 이용하므로 한정된 색파장 영역에서 계통별로 다양한 고치색이 발현되었다.

⑥ 유전자 구성에 따른 색채의 발현은, 노랑띵 분홍인 Pk(10YR8/6)와 청포도색인 Xe(2.5GY8/8)의 교잡종 고치색은 色光의 혼합에서 특징적인 加法混色(additive mixture)의 특징이 나타났고, 노랑띵 분홍 Pk(10YR8/6)과 노랑인 Le(5Y8.5/16)의 교잡종은 色料의 혼합과 유사한 減法混色(subtractive mixture) 효과가 인정되었다.

⑦ Yellow 계의 “매우 진한 노랑” 고치 간의 교잡에서는 해바라기색이 우위로 발현되었다. 그러나, 서로 다른 고치색 간의 교잡종 누에고치에서는 양친의 평균과 비교한 경우, 색상(hue)은 주파장이 단파장 쪽으로 이동하고, 명도(value)가 감소하는 경우가 많으며, 채도(chroma)는 현저하게 감소하는 경향을 나타내었다.

⑧ Orange Yellow 계 고치색은 β -carotenoid 의 존재를 나타내고, 노랑편 분홍색 고치는 배열입체이성질체인 cis- β -carotenoid 로의 전환 및 중부건사선 後區의 물질 투과성을 시사하였다. 해바라기색 등 Yellow 계 고치는 xanthophyll 류인 lutein 과 violaxanthin 의 존재를 의미하는 동시에, 색조에 따라 중부건사선 전반부 후반부 또는 全域의 물질 투과성이 반영되었다. 外層 濃黃色素은 중부건사선 中區 전반부의 물질투과성과 C 유전자의 작용, 外層 淡黃色素은 중부건사선 中區 후반부의 물질투과성과 C' 유전자의 작용, 全層 淡黃色素은 중부건사선의 中區 전 부위의 물질투과성과 C'' 유전자의 작용으로 확인되었다.

⑨ 특수 섬유소재로서의 黃素에 함유된 천연색 색소는 carotenoid 로 알려져 있으므로, Seriaze-konku 또는 Biopuraze 등 효소의 응용은 천연의 색채를 살릴수 있는 가능성을 시사한다. 이와 같은 용도에 대비한 제사 기술이 개발된다면 黃素을 이용한 특수 생사의 제조 및 이를 紋織이나 交織 등에 응용하는 연구를 추진한다면 특수한 효과를 가미한 견직물 생산도 가능할 것으로 전망된다.

⑩ 천연색 고치의 용도 개발을 추구하는 관점에서는 녹색계 계통도 중요하며, “선명한 연두” 계통의 청포도색 등은 색파장이 567~570 nm 로서 누에고치 색 중에서 가장 단파장에 속하였다. 이들 flavonoid계 고치색은 quercitrin, rutin, quercetin 을 전구체로 하는 9종의 색소가 누에로부터 확인되며, sericin 뿐 아니라 fibroin 에도 포함되는 것으로 알려져 있다. 그러므로, 이와같은 색소물질은 각종 금속염을 이용한 媒染 등 기술 개발에 따라 특수한 발색효과를 기대할 수도 있을 것이다.

① 멧누에의 단견종은 야생 채집계통이 0.657g 이었으나, 인공사육에서는 1.552g 로서 세대를 경과하지 않고 2.36배 이상 증대되었고, 2~3세대 선발 후 야생상태의 3배에 달하는 1.97g 으로 향상되었다. 집누에 간의 교잡종 M×잠119는 2.13g 으로서 집누에보다 우수하며 잡종강세는 가장 현저하였다. 그러나, 멧누에×집누에 교잡종의 견충중 및 견충비율은 항상 집누에 원종보다 적은 값을 나타내었다. 야생 멧누에는 미지의 누에 유전자원 보존자로서 새로운 의미를 지니게 되었으며, 더 이상 발생밀도가 감소되기 전에 유용형질의 발굴을 서두르는 것이 바람직하다. 확실적인 사견양잠의 전통이 수천년 동안 정착되면서 고치실 생산과 무관한 유전자원은 지속적으로 도태되었기 때문에, 그 외의 유전형질은 야생 멧누에의 혈통 속에 보존되어 있을 가능성을 기대하는 수 밖에 없을 것이다.

3. 수용성 누에고치와 *Nd-s* 유전자원 개발

① 곤충병리학의 입장에서 치사형 돌연변이 계통의 死因을 구명한 결과, 原死因은 고치실의 分泌異常이었고, 直接死因은 脫皮不全으로 밝혀졌으므로, 특별한 기술 및 물리 화학적 간호요법을 도입한 사육방식으로서 看護飼育法(Nurse Rearing)을 창안하였다. 인공적인 탈피手術로 致死型 돌연변이체가 생존할 수 있었고, 생존 계통에서 고치의 물성이 특이한 개체가 분리되어 *Nd-s* 유전자를 발굴하였다.

② *Nd-s* 잠을 供與親(donor parent)으로 사용하고 청색형광견 일본계 (Ab) 및 중국계 (Bb)를 反復親(recurrent parent)으로 도입한 backcross breeding 으로, 탈피율 및 강건성이 개선된 일본계 SSA 및 중국계 SSB

로 육성하였다. 미래에는 특수화 고급화가 경쟁 우위의 확보에 우선 전략이 될 것이므로, 특수형질 또는 특수 누에품종 발굴은 앞으로 더욱 중시할 가치를 지닌다.

③ *Nd-s* 유전자에 의해 발현되는 표현형질은 *Nd* 형질 (naked pupa=裸蛹) 과 *SS*형질 (水溶性 누에고치)로서, 동일 유전자에 의해 발현되지만, 결과적으로는 성격이 전혀 다른 두가지의 독립적인 형질로 구별되었다. 즉, *Nd-s* 는 裸蛹(naked pupa) + 세리신견(sericin cocoon) 에 유래하므로, 고치를 짓지 않는 개체(裸蛹)가 많이 발생하며 (*Nd* 형질), 또한 고치를짓게 된 경우에는 수용성 견인 세리신견 (*SS* 형질)을 생산하였다. 그러므로, 서로 다른 두가지 형질 즉 “*Nd*” 및 “*SS*” 를 구별하여 취급할 필요성이 제기되었다.

④ *SS* 형질은 *Nd-s*유전자와 유사성을 나타내므로 연관군 검색 결과, 유전자 조합 $UNd-s/A \times AA$, $US/A \times AA$, $US/B \times BB$ 의 차대잡에서는 곰무늬(*Ursa*)인 경우와 아닌 경우가 1:1로 분리되었고, *U* (14-40.5)유전자를 지닌 곰무늬 누에는 모두 *SS*형 고치를 지었다. 따라서, *SS* 형질은 제 14 연관군에 소속되며, 물리화학성의 동질성 등을 고려할 때, 19.2 유전자 좌에 위치한 *Nd-s* (14-19.2) 유전자에 의해 지배됨을 입증하였고, $UNd-s/oa \times oa/oa$ 의 차대잡에서도 *SS* 형질의 연관관계는 재확인 되었다.

⑤ *SS*계통은 누에가 섭취한 영양분이 체성장 위주로 분배되어 번데기 무게가 97% 이상으로 일반품종 74%에 비하여 1.3배를 넘고, 고치는 얇으며 열탕에서 용해되는 수용성 실크소재를 생산할 수 있다. 또한 *SS*잡을 이용한 교잡종 $SS \times Bb$ 및 $Ab \times BS$ 의 단견중은 2.4g 및 3.0g 정도로서

기존 장려품종 교잡종의 150% 수준의 “슈퍼누에”를 만들 수 있는 가능성을 확보하였다.

⑥ 피브로인은 결정부분에 관여하는 것으로 보이는 glycine, alanine, serine 이 85% 이상을 차지하며, glycine 42.9%, alanine 30.0%, serine 12.2% 였다. 그리고 세리신은 glycine 13.5%, alanine 5.6%, serine 33.4% 였다. 한편, SS 견은 glycine 41.9%, alanine 4.4%, serine 8.8% 로서, glycine 함량이 많고 serine 이 적은 것은 피브로인과 유사하며, aspartic acid 가 비교적 많고 alanine 함량이 적은 점은 세리신과 닮은 특징을 나타내었다.

⑦ SS견은 FT-IR 분석에서 $1,200\text{cm}^{-1}$ 의 Amid III 흡수대가 random coil 부분과 β 구조의 존재를 반영하므로 피브로인이 인정되며, 결정화도는 세리신의 30% 보다 많은 40%로 산출되었다. SS견은 “세리신 견”과 동일한 제14 염색체의 *Nd-s* 유전자 발현에 의한 것으로서 피브로인의 존재가 확인되었다. 그러므로 *Nd-s*잠과 누에고치를 “세리신잠” 및 “세리신견”이라고 부르는 것은 불합리하며, 누에는 SS잠 고치는 “SS견” 또는 “수용성견”으로 부르는 것이 바람직할 것이다.

⑧ DSC 에서 +/+ 견의 피브로인은 β -configuration 의 파괴에 의한 흡열 피크가 74℃ 부근에 존재하지만, SS 견은 34℃ 및 84℃에서 2회 관찰되었다. 그리고, β -configuration 을 형성하지 않는 것으로 알려진 세리신에서도 I~IV 의 결정구조를 반영하는 특성이 인정되지만, 흡열피크는 피브로인 보다 훨씬 낮은 48 ℃ 로서 SS 견과 명확한 차이를 보였다. SS 견의 유리전이점 (transition temp. ; TG)은 110℃ 로서 피브로인 보

다도 10℃ 이상 열적 성질이 강하였다. 한편, 고온 영역에서 관찰되는 흡열 피크는 SS 견은 피브로인을 함유하는 동시에 세리신 보다 α -helix 구조를 더 많이 지니고 있음을 재확인 할 수 있었다.

⑨ hetero 형 F1 고치 S/+는 homo type 양친 S/S 및 +/+ 의 중간적인 성질을 나타내었다. 즉, S/+ 의 표현형질은 fibroin 및 SS견의 물리화학적 성질이 혼합된 상태의 물리화학적 성질을 지닌 것으로 확인되었으므로, fibroin 함량의 우열관계는 S/S < S/+ < +/+ 로 인정된다. Nd-s계 SS견은 fibroin 합성 저해로 sericin 만 합성하는 것이 아니라, L鎖 fibroin 이 결여된 대신 H鎖 fibroin 위주로서 보통 견단백질 보다 α -helix 구조를 더 많이 함유하며 특수한 물리적 성질을 나타내게 되었다. Nd (25-0.0) 및 Nd-s (14-19.2) 유전자의 응용으로, Nd계 SS견에서는 L鎖 fibroin 함유 특수견, Nd-s계 SS견은 H鎖 fibroin 함유 특수 견단백질 합성 등을 기대할 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

- Ahn,S.M., Choi,J.Y., Kim,M.A., Park,H.R., Han,M.S. 1995. Nurse Rearing of mutant silkworm with a lethal character for the development of a useful genetic resources. Annual Meeting of Korean Society of Sericultural Science, Proc. p14.
- Ajisawa, A. (1968) Physico-chemical studies on reeling quality of cocoons : I. On solubility of sericin in fluorescent colors cocoon layer caused by the boiling water. J. Seric. Sci. Jpn., 37 : 119-122.
- Akiyama, D., Okazaki, M., and Hirabayashi, K. (1993) Methods for the preparation of a polymer with a high water absorption capacity containing sericin. J. Seric. Sci. Jpn., 62 : 392-396.
- Asakura, T. and Demura, M. (1989) Immobilization of glucose oxidase with *Bombyx mori* silk fibroin by only stretching treatment and its application to glucose sensor. Biotechnol. Bioeng. 33 : 598-603.
- Asakura, T., Demura, M., Nagashima, M., Sakaguchi, R., Osanai, M., and Ogawa, K. (1991a) Metabolic flux and incorporation of [2-¹³C] in vivo and in vitro. Insect Biochem., 21 : 743-748.
- Asakura, T., Demura, M., Ogawa, H., Matsushita, K., and Imanari, M. (1991b) NMR imaging of diffusion of small organic molecules in silk fibroin gel. Macromolecules, 24 : 620-622.

- Asakura, T., Demura, M., Watanabe, Y., and Sato, K. (1992) ^1H pulsed NMR study of *Bombyx mori* silk fibroin: dynamics of fibroin and of absorbed water. *J. Polymer Science*, 30 : 693-699.
- Asakura, T., Sakaguchi, R., Demura, M., Manabe, T., Uyama, A., Ogawa, K., Osanai, M. (1993a) In vitro production of *Bombyx mori* silk fibroin by organ culture of the posterior silk glands; isotope labeling and fluorination of the silk fibroin. *Biotechnol. Bioeng.* 41 : 245-252.
- Asakura, T., Watanabe, Y., Uchida, A., and Minagawa H. (1984) NMR of silk fibroin. 2: ^{13}C NMR study of the chain dynamics and solution structure on *Bombyx mori*. *Macromolecules*, 17 : 1075-1081.
- Asakura, T., Yamada, H., Demura, M., and Osanai, M. (1990) ^{13}C and ^{31}P NMR analyses of the silkworm, *Bombyx mori*, silk fibroin production and the effect of sorbitol-6-phosphate. *Insect Biochemistry*, 20 : 261-266.
- Asakura, T., Yeo, J. H., and Ando, I. (1994) Structure of polyamide fibers in the non-crystalline domain studied by ^{15}N solid state NMR. *Polymer Journal*, 26 : 229-233.
- Asakura, T., Yeo, J. H., Demura, M., Itoh, T., Fujito, T., Imanari, M., Nicholson, L. K., and Timothy, A. C. (1993b) Structural analysis of uniaxially aligned polymers using solid-state ^{15}N NMR. *Macromolecules*, 26 : 6660-6663.
- Asakura, T., Yoshimizu, H., Kuzuhara, A., and Matsunaga, T. (1988) Mechanism of glucose oxidase immobilization with silk fibroin.

- J. Seric. Sci. Jpn., 57 : 203-209.
- Banno, Y., Kawaguchi, Y., Koga, K., and Doira, H., (1995) Postreductional meiosis revealed in male of the mutant with chromosomal aberration "T(23;25)Nd" of the silkworm, *Bombyx mori*. J. Seric. Sci. Jpn., 64 : 410-414.
- Chang, S. J. and Nahm, J. H. (1988) Dissolution of sericin in cocoon shell on the fluorescent colors. Korean J. Seric. Sci., 30 : 33-39.
- Chen, K. and Lin, C. (1988) Studies on the fluorescent colours of silkworm cocoons. I. Fluorescent colours of different varieties of cocoons. CANYE KEXUE, 14 : 72-77.
- Choi, J. Y., Kim, S. E., Kim, J. G., and Han, M. S. (1997) Utilization of silkworm hemolymph for insect cell culture. Korean J. Seric. Sci., 39 : 76-80.
- Dai, P., Iwashita, Y., and Kawasaki, H. (1994) Differences in silk protein secretion among the silk gland of the silkworm, *Bombyx mori*, the Chinese wild silkworm, *Bombyx mandarina* and their hybrid. J. Seric. Sci. Jpn., 63 : 149-156.
- Demura M., and Asakura T. (1989) Immobilization of glucose oxidase with *Bombyx mori* silk fibroin by only stretching treatment and its application to glucose sensor. Biotech. and Bioengin., 3 : 598-603.
- Demura M., Komura, T., and Asakura T. (1991) Membrane potential of *Bombyx mori* silk fibroin membrane induced by an immobilized enzyme reaction. Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 26 : 167-175.

- Demura, M., Takekawa, T., Asakura, T., and Nishikawa, A. (1992) Characterization of low-temperature-plasma silk fibroin fabrics by ESCA and the use of the fabrics as an enzyme-immobilization support. *Biomaterials*, 13 : 276-280.
- Fujii, H. et. al. (1988) Existence of carotenoids binding protein in larval hemolymph of the yellow blood strain of *Bombyx mori*. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 57 : 94-99.
- Fujii, H. et. al. (1996) Genetical studies on the "contractile" mutant of *Bombyx mori* and revision of the genetical map of the 15th linkage group. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 65 : 452-455.
- Furuhata, K., Deno, S., Yamauchi, T., and Sakamoto, M. (1996a) Introduction of amino groups into silk. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 65 : 319-325.
- Furuhata, K., Deno, S., Sakamoto, M. (1996b) Immobilization of invertase onto silk fabrics enriched in amino groups. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 65 : 378-384.
- Gamo, T. (1980) Variations of silk proteins in the silkworm (*Bombyx mori* L.) and their genetic control. In "Silk Structure - suppl." pp 53-69. Shinshoo Univ. Press, Ueda, Japan.
- Gamo, T. and Sato, S. (1985) Ultrastructural study of the posterior silk gland in the *Nd*, *Nd-s* and *Nd-s^D* mutants with a defect of fibroin synthesis. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 54 : 412-419.
- Goto, Y., Tsukada, M., and Minoura, N. (1990) Molecular cleavage of silk fibroin by an aqueous solution of lithium thiocyanate. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 59 : 402-409.

- Haga, A., Toira, H., Watanabe, T., and Sakaguchi B. (1988) Sericin components and cocoon-reelabilities in the silkworm, *Bombyx mori*. J. Seric. Sci. Jpn., 57 : 451-459.
- Haga, A., Tsukada, M., Yasumura, S., and Aoki, H. (1991) Physical properties of silk sericin expected from cocoon shells of the silkworm varieties with different values of sericin solubility. J. Seric. Sci. Jpn., 60 : 23-27.
- Hamano, K. and Okano, T. (1988) Cocoon coloration of silkworms reared on artificial diet containing flavonoids. J. Seric. Sci. Jpn., 58 : 140-144.
- Han, M.S. (1997) Variation and sex limited expression of fluorescent color by ultraviolet spectrum on the silkworm cocoon. Korean J. Seric. Sci., 39 : 22-29.
- Han, M. S. 1998. Ideological aspect and strategy for the progress of technology on the pathology of sericultural science. Korean J. Seric. Sci., 40 : 191-202.
- Harbone, J. B. and Grayer, R. J. (1994) Flavonoids and insects. in "The flavonoids : advances in research" J. B. Harborne ed., pp. 589-618. Chap & Hall, London.
- Hata, T. and Kato, H. (1996) Degumming method for silk thread reeled from yellow cocoon filament of sex-limited variety "Ouhaku". J. Seric. Sci. Jpn., 65 : 494-499.
- Hyodo, A., Ueda, H., Takei, F., Kimura, K., and Shimura, K. (1982) Gene expression of two fibroin alleles in the hybrid silk worm, J-131/Nd(2). Jpn. J. Genet. 57, 551-560.

- Ishida, M., Asakura, T., Yokoi, M., and Hajime, S. (1990) Solvent- and mechanical-treatment-induced conformational transmission of silk fibroins studied by high-resolution solid state ^{13}C NMR spectroscopy. *Macromolecules*, 23 : 88-94.
- Iwa, S. (1998) Studies on lipids of cocoon shell 1. Hydrogens. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 67 : 485-491.
- Kataoka, K. and Imai, T. (1986) Cocoon quality and physical properties of the cocoon filaments produced by silkworms reared on mulberry leaves and on artificial diet. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 55 : 112-117.
- Kawahara Y. et al., (1996) Changes of the hue on raw silk fibers of *Antheraea yamamai* by the irradiation of ultraviolet rays and the heat treatment. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 65 : 401-402.
- Kim, K. J. (1991) Color science. Dae Gwang Press. Seoul. pp. 1-111. Seoul, Korea.
- Komatsu, K. (1980) Chemical and structural characteristics of silk sericin. In "Silk Structure - suppl." pp 379-415. Shinshoo Univ. Press, Ueda, Japan.
- Kratky, O. and Shauenstein, E. (1951) X-Ray and spectrographic investigation of silk fibroin. *Discuss. Faraday Soc.* 11 : 171-178.
- Kuwahara, A. (1968) Studies on the abnormal silk : (4) On the yellowing degree and changes in the amino acid composition of silk fibroin irradiated by ultraviolet ray. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 37 : 132-136.
- Kweon, H. Y. and Park, Y. H. (1994) Structural characteristics and

- physical properties of wild silk fibers ; *Antheraea pernyi* and *Antheraea yamamai*. *Korean J. Seric. Sci.*, 36 : 138-146.
- Lambardi, P. I. (1929) La fluorescenza delle larve di *Bombyx mori* alla luce di wo (Boll. d. R. Stazione di Gelsicol. e Bachicol. di Ascoli Piseno) Vol. 7, n. 3
- Lucas, F., Shaw, J. T. B., and Smith, S. G. (1957) The amino acid and sequence in a fraction of *Bombyx mori*. *Biochem. J.* 66 : 968-973.
- Matsubara, F., Chen, R., Mori, H., Sumida, M., Yamazaki, T., and Ito, H. (1993) Study on yellowing of cocoon filament obtained from the silkworm reared on artificial diets and mulberry leaves. *J. Seric. Sci. Japan*, 62 : 162-164.
- Mcgregor, K. (1972) Ionizable groups in fibers and their role in dyeing. *Textile Res. J.*, 42 : 536-552.
- Nakajima, M. et al. (1986) The name and symbol of silkworm genes. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 55 : 95-111.
- Nakajima, S., Kawahara, Y., and Okonogi, E. (1993) Hue and glossiness of wild silk fibers degummed with enzyme. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 62 : 165-167.
- Nicholson, L. K., Asakura, T., Demura, M., and Timothy, A. C. (1993) A method for studying the structure of uniaxially aligned biopolymers using solid state ^{15}N -NMR: application to *Bombyx mori* silk fibroin fibers. *Biopolymers* 33 : 847-861.
- Ohmura, M. and Hshide, T. (1993) Sorting cocoons by color sensor. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 62 : 171-174.

- Oku, M. (1933) The chemical studies of silkworm cocoon pigment (10). Japan Agricultural chemistry magazine, 10 : 1258-1262.
- Park, D. Y. (1995) Practical color science. Bando Press. Seoul. pp. 1-119.
- Park, K. J. (1991) Concise manual of color names. KBS Color Research Institute ed. pp. 1-119.
- Rhee, I. J. and Yeo, J. H. (1996) Characterization of fibroin biosynthesis in the 5th instar of *Bombyx mori*. Korean J. Seric. Sci., 38 : 180-185.
- Sakada, K., Kawakami, K., and Katayama, A. (1997a) Sorption behavior of flavone and flavonol pigments on silk. J. Seric. Sci. Jpn., 66 : 369-375.
- Sakada, K., Nagashima, N., and Katayama, A. (1997b) Mordanting mechanism of flavone and flavonol pigments. J. Seric. Sci. Jpn., 66 : 473-476.
- Sakaguchi, B. (1984) Physiology and biochemistry in the silkworm mutant (Silkworm biochemistry, Ito, T. ed.), Shoukabou, Tokyo. pp. 310-341.
- Suzuki, Y. and Suzuki, E., (1974) Quantitative measurements of fibroin messenger RNA synthesis in the posterior silk gland of normal and mutant *Bombyx mori*. J. Mol. Biol. 88, 393-407.
- Takahashi, Y. (1983) Crystal structure of silk of *Bombyx mori*, ACS symposium series 544, Silk Polymers : 168-175

- Terasaki, A., Kawai, H., and Shimogori, Y. (1990) Effect of silkworm hemolymph treated with sodium thiosulfate on the growths of insect cell cultures. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 59 : 350-354.
- Tsukada, M., Kawakita, H., Mori, T., Nagura, M., and Ishikawa, H. (1988) Silk fibroin in *Nd-s* sericin fiber. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 57 : 466-469.
- Watanabe, T. (1959a) Studies on the sericin cocoon : (I) Chemical properties of the domestic silkworm spinning sericin cocoon. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 28 : 251-256.
- Watanabe, T. (1959b) Studies on the sericin cocoon : (III) Light scattering of sericin. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 28 : 375-380.
- Watanabe, T. (1960) Studies on the sericin cocoon : (II) Amino acid compositions of sericin A and B. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 29 : 15-21.
- Yamazaki, H. and Itinose, T. (1936) Studies on the fluorescent colors of the silkworm cocoons ; II. Genetic studies. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 8 : 1-8.
- Yamazaki, H. and Taniguchi I. (1932) Studies on the fluorescent colors of the silkworm cocoons of the silkworm ; I. On the various properties of the silkworms of the second generation according to the fluorescent colours. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 5 : 47-56.
- Yamazaki, Y., Okazaki, H., Suzuki, T., Kanaya, T., Ogawa, K. Watanabe, H. (1997) Characteristics of larva of naked pupa (Nd)

- strain in the silkworm, *Bombyx mori*, as a host for the baculovirus expression vector. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 66 : 277-281.
- Yeo, J. H., Demura, M., Asakura, T., Fujito, T., Imanari, M., Nicholson, L. K., and Cross, T. A. (1994) Structural analysis of highly oriented poly(*p*-phenylene-terephthalamide) by ¹⁵N solid-state nuclear magnetic resonance. *Solid State Magnetic Resonance*, 3 : 209-218.
- Yeo, J. H., Lee, I. J., and Park, P. K. (1996) Structural analysis of oriented fiber by solid state NMR.-application to silk fiber- *J. Korean Fiber Soc.* 33 : 116-124.
- Yoshimizu, H. and Asakura, T. (1990a) Preparation and characterization of silk fibroin powder and its application to enzyme immobilization. *J. Appl. Polymer Sci.*, 40 : 127-134.
- Yoshimizu, H. and Asakura, T. (1990b) The structure of *Bombyx mori* silk fibroin membrane swollen by water studied with ESR, ¹³C-NMR, and FT-IR spectrosopies. *J. Appl. Polymer Sci.*, 40 : 1745-1756.
- Zhu, L. J., Arai, M., Hirabayashi, K. (1995) The gelation of silk sericin and its physical properties. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 64 : 475-494.
- Zhu, L. J., Arai, M., Hirabayashi, K. (1996) Sol-gel transition of sericin. *J. Seric. Sci. Jpn.*, 65 : 270-274.

참 고 사 항

가. 총괄연구책임자 인적사항

성 명	국 문	한 명 세 (韓 明 世)	직 위	부 교 수
	영 문	Han, Myung Sae	세부전공	곤충병리학
주 소	소속기관	(우) 702-701 대구광역시 북구 산격동 1370 번지 경북대학교 농과대학 천연섬유학과 곤충병리연구실		
	연 락 처 [E-mail]	전 화 (053) 950-5738 / Fax : (053) 950-6744 E-mail : mshan@bh.kyungpook.ac.kr		
학 력	년 도	학 력	전 공	학 위
	'71.3.-'74. 1.	대 구 공 업 고 등 학 교	섬 유 과	-
	'74.3.-'78. 2.	경 북 대 학 교 농 과 대 학	잠 사 학	농 학 사
	'79.3.-'82. 2.	경 북 대 학 교 대 학 원	양 잠 학	농 학 석 사
	'85.4.-'88. 3.	동 경 대 학 대 학 원(일본)	농 생물 학	농 학 박사
경 력	기 간	근 무 기 관		직 위(직명)
	'79.7.-'80.10.	농촌진흥청 경북진흥원 영일군농촌지도소		농촌지도사
	'82.3.-'88. 5.	농촌진흥청 잠사곤충연구소		잠업연구사
	'88.4.-'90. 3.	동경대학 대학원		연구원
	'88.7.-'88. 8.	국제연합 식량농업기구 (FAO, UN) 돈마리아노 마르코스 메모리얼 주립대학		자 문 관 객 원 교 수
	'90.3.-'93. 2.	경북대학교 농과대학 / 자연과학대학		강 사
	'91.7.-'91. 8.	국제연합 식량농업기구 (FAO, UN)		자 문 관
	'92.4.-'93. 2.	한국과학재단 국내 Post-Doc. 연수		연구원
	'94.7.-'96. 7.	농촌진흥청 잠사곤충연구소		겸임연구관
	'95.2.-'99. 1.	경상북도 연구직공무원 연구실적평가위원회		평 가 위 원
	'93.3.-'98.現	경북대학교 농과대학 천연섬유학과		부 교 수
	'94.4.-'98.現	한국잠사학회		상 임 이 사 편 집 위 원

나. 참여 연구원 총괄

본 연구과제는 1995년 12월 5일부터 1998년 12월 29일 까지 3년간 수행하였으며, 사업추진 중 인사발령 기타 변동요인에 따른 교체인원과 단기참여 전문인력 및 서두에 명시한 연구원을 총괄한 연구요원 명단임.

연구분야	성 명	현 소속기관	직 위	전 공 및 학 위		
				학 위	전 공	학 교
특수 유전 자원 개발	한명세	경 북 대 학 교	부 교수	농학박사	농생물학	동경대학
	강석우	잠사곤충연구소	연구관	농학박사	잠 사 학	경북대학
	한상미	경 북 대 학 교	조 교	박사재학	천연섬유	경북대학
	윤은영	잠사곤충연구소	연구사	농학석사	잠 사 학	경북대학
	남기수	경 북 대 학 교	조 교	농 학 사	천연섬유	경북대학
	권순하	청송군농업기술센터	지도사	석사재학	천연섬유	경북대학
	최지영	잠사곤충연구소	연구사	농학석사	천연섬유	경북대학
	석영식	강원도농산물원종장	연구사	농 학 사	천연섬유	경북대학
	오정민	경 북 대 학 교	-	학부 4년	천연섬유	경북대학
	김성현	경 북 대 학 교	-	학부 2년	천연섬유	경북대학
	정연재	경 북 대 학 교	-	학부 1년	천연섬유	경북대학
	견가공 및 실용화기술	이인전	경 북 대 학 교	교 수	공학석사	섬유재료
이동수		한국견직연구원	연구실장	박사수료	잠 사 학	경북대학
여주홍		잠사곤충연구소	연구사	공학박사	고분자공학	동경농공대
전병익		한국섬유기술진흥원	연구관	공학박사	섬유공학	영남대학
진 한		잠사곤충연구소	연구사	석사재학	천연섬유	경북대학
안수미		경 북 대 학 교	조 교	석사재학	천연섬유	경북대학
안미야		경 북 대 학 교	-	학부 4년	천연섬유	경북대학
김재현		경 북 대 학 교	-	학부 2년	천연섬유	경북대학
유성훈		경 북 대 학 교	-	학부 2년	천연섬유	경북대학
최익준	경 북 대 학 교	-	학부 2년	천연섬유	경북대학	
원료견 및 견사 생산	서선교	경북잠사곤충사업장	전임장장	교육학석사	재 배 학	경북대학
	이창태	경북잠사곤충사업장	장 장	농 학 사	잠 사 학	상주산업대
	박근식	경북잠사곤충사업장	연구사	농 학 사	잠 사 학	상주산업대
	이진근	경북잠사곤충사업장	연구사	박사수료	잠 사 학	경북대학
	추재원	경북잠사곤충사업장	연구사	농학석사	잠 사 학	경북대학
	박현로	경북잠사곤충사업장	연구사	박사재학	천연섬유	경북대학
	남성희	잠사곤충연구소	연구사	농학석사	잠 사 학	경북대학
	김미애	잠사곤충연구소	연구사	농학석사	천연섬유	경북대학
	이효성	경 북 대 학 교	-	학부 3년	천연섬유	경북대학
정양숙	경 북 대 학 교	-	학부 3년	천연섬유	경북대학	