

곤충기능이용기술개발에 의한 21세기 곤충생물산업화 연구개발 전망

이 상 동
밀양대학교

서 론

우리가 살고 있는 이 지구상에는 대략 250만종 정도의 동물종이 존재하고 있으며 이들 중 대부분을 점유하고 있는 것이 180여 만종에 달하는 곤충종이다. 이들 곤충종중 소위 익충(beneficial insects)으로서 인류의 문명발달과 함께 사람들의 의복과 역사 그리고 상업적인 측면에 크게 영향을 끼쳐 온 것은 바로 누에이다. "cotton road"는 없어도 "silk road"는 존재하여 역사성을 갖고 있다. 우리 나라도 양잠의 오랜 역사를 가지고 있으나 최근 국내의 경제·사회적 여건 변화와 해외 견섬유 시장의 영향으로 "실크산업"이 중대한 고비를 맞는지 상당한 시간이 흘렀다.

몇년전에 일본의 요시타케 선생이 한국에 와서 "앞으로는 실크도 생산하는 누에"라는 말을 한 적이 있다. 이제 잠업도 전통적인 실크산업만으로는 한계가 있어 새로운 돌파구가 있어야 될 줄로 믿는다. 누에도 이제는 곤충종중의 하나라는 인식을 가지고 산업적으로 이용할 수 있는 방법을 강구하면 좋을 것이다. 이러한 관점에서 누에를 포함한 다른 곤충들을 미래의 곤충생물산업으로 성장시켜 인류에 큰 유익을 주고 돈 잘 벌리는 산업으로 인식되도록 하기 위해서는 먼저 그 가능성을 분석해야 할 것이다. 이에 21세기 곤충생물산업화를 위해서는 곤충 그 자체와 그 산물 및 곤충이 가지고 있는 기능을 이용함에 초점을 맞춰 지금까지의 연구결과와 앞으로의 이용가능성에 대해 간략히 기술하고자 한다.

본 론

1. 누에의 생체 및 생산물의 이용기술개발

1) 잠품종 육성

누에의 생체 및 생산물의 이용기술개발을 위한 가장 기초적이면서도 필수적인 것은 누에를 비롯한 견사곤충류의 유전자원의 수집, 계대, 평가 및 이용기술 개발을 들 수 있다. 수적으로 보아 일본의 경우 잠사·곤충농업기술 연구소에서만 보존하고 있는 누에

유전자원은 약 500여 계통으로 일본의 농림수산성 유전자은행의 동물 유전자원부문의 약 65%를 차지하고 있고 이외에도 국립유전학연구소 및 각 대학에 보존된 누에 유전자원을 합하면 대략 1500여 계통이 훨씬 넘을 것이다. 일본은 유전자원을 잘 유지 보존할 뿐 아니라 이들을 이용, 관련기반·기술을 끊임없이 연구하고있다.

우리 나라의 경우 대부분의 누에 유전자원은 수원의 농업과학기술원 잠사곤충부에서 보유하고 있으며 그 수도 상당히 많으나 체계적인 이용기술개발, 평가 등에 대한 연구는 미미한 편이다. 그 이유는 유전자원의 연구·개발에 대한 중요성의 인식 부족과 의욕 있는 연구자들이 적다는 점이다. 누에 뿐 아니라 멧누에, 천·작잠, 에리잠, 가죽누에 등 야생 견사충과 회귀곤충을 수집, 유지 보존하면서 이들의 장기간 생력·안전 보존방법 즉 생식소 또는 수정개체란의 초저온 장기보존 방법 및 인공수정법 등 유전자원의 보존방법을 개발하고 이들 특성을 정확히 평가하여 산업화 할 수 있는 방법을 모색해야 할 것이다.

최근 누에가루를 이용한 항당뇨제개발, 누에 유충과 번데기를 이용한 누에 동충하초개발 등은 누에의 새로운 이용기술로 각광받고 있다(류·정, 1998; 이 등, 1998). 이 경우 산업화 촉진을 위해 고온다습저항성 품종육성, 실샘이 작거나 없는 실용 품종육성, 5령 초기 고성장 품종, 한성잠 품종육성, 나용계통을 이용한 누에유충 동충하초 개발 등의 연구가 뒤따라야 할 것이다.

2) 사육 기술

잠업이 존재하는 한 초생력 누에 사육법 개발은 필연적이며 현재의 변화된 잠업시스템에 따른 간편하고 치 수확법, 5령 유충의 초생력 수집방법, 누에 동충하초 안전생산을 위한 초생력 표준사육법개발, 초생력·안전 누에 동충하초 접종방법, 야생 견사충의 생력 안전사육 기술개발 등이 이루어져야 할 것이다. 즉 잠업의 유형이 바뀌면 그에 따른 사육기술체제 개발 등 유연한 기술적 대처가 동시에 이루어져야 할 것이다.

2. 곤충기능 이용기술 개발

곤충기능 이용기술 개발은 최근 이 분야의 기술개발 중주국인 일본에서 "곤충기능 이용학"이라는 신학문이 탄생할 정도로 그 발전속도가 빠르다(鈴木 등, 1997). 곤충기능 이용기술을 ① 환경친화형 생물농약 개발 ② 곤충생체 방어 기능 이용기술개발 ③ 곤충 대량증식 이용기술개발 ④ 곤충의 형질전환기술개발 ⑤ 곤충 공생 미생물 이용기술개발 ⑥ 곤충을 이용한 환경오염 검정계개발 등으로 구분하여 기술코자 한다.

1) 환경친화형 생물농약개발

환경친화형 생물농약은 주로 곤충의 호르몬, 천적 곤충, 미생물 등을 이용하여 해충을 구제하는 방법을 말한다.

(1) 호르몬

JH(Juvenile hormone) 활성물질을 이용한 생물농약이 비교적 잘 연구되어져 있으며 JH는 그 구조가 1967년도에 cecropia 의 수컷 번데기 尾部로부터 추출한 cecropia oil로부터 탄소수 18개인 JH-I이 처음으로 알려지면서 현재 5종의 JH가 발견 되어져 있다(Riller *et al.*, 1967; 鈴木 등, 1997).

또한 JH 활성을 가진 천연 화학물질이 식물로부터 많이 발견되었는데 juvabion, dehydrojuvabion, todomatuic acid, dihydrodomotic acid, juvocimene-1, juvocimene-2, bakuchiol, echiolone 등이 그 좋은 예이며 (Retnakaran *et al.*, 1985), 인공합성 화학물질로서 해충구제에 실용화된 예는 벼룩, 파리, 이 등의 구제에 실용화된 methoprene, 바퀴벌레나 진딧물 구제에 사용한 hydroprene 및 kinocap, 모기, 파리, 진딧물, 개각 곤충 등의 구제에 사용한 phenocap 및 pyriproxyphen 등이다.

이외에도 누에의 증사제로 이용되는 methoprene, 담배나방 유충기간 연장에 사용되는 JH esterase 저해제인 TFTP와 OTFP, 인시목 곤충의 조숙변태에 사용되는 anti-JH 등, 호르몬류를 이용한 생물농약은 상당히 그 예가 많다. 특히 곤충호르몬 제제는 ① 곤충류에 특이적이기 때문에 사람이나 가축에 해가 없고 ② 곤충자신이 체내에 발육제어 물질로 이용하고 있는 것이므로 일반 살충제와 같이 곤충의 약제 저항성이 생기지 않는점 ③ 곤충종에 대한 특이성이 높아 천적 등 유용곤충을 공격하지 않는점 등의 잇점이 있어 제 3세대의 살충제로 각광받고 있다.

(2) 천적곤충

농산물을 안정적으로 생산하기 위한 여러가지 조치중 그 하나가 해충의 방제인데 지금까지 대부분의 농업인들은 유기합성 농약 등 화학 살충제를 주로 사용하여 왔다. 따라서 화학 살충제는 농산물의 안정 생

산에 크게 기여하여 왔으나, 천적상(天敵相)의 파괴 등에 의한 작물 생산포장의 환경저항력약화, 해충의 살충제 저항성 발달에 따른 방제가 어려운 해충의 증가 및 소집단 해충의 대집단 해충화 등의 문제점을 야기시키고 있다. 이의 해결책으로 화학 살충제대신 천적을 이용한 해충방제가 주목되어져 왔다. 그러나, 이 방법도 해충의 증식에 따라 천적의 증식이 따라가지 못하며 방사한 천적이 포장에 잘 정착하지 못하는 점 등의 문제점이 있어 실용화된 예는 극히 적다. 유럽의 경우 '92년 현재 15개 천적곤충이 농약으로 등록되어 있는 정도이며 국내에서 대규모로 실용화된 예는 거의 없다. 천적곤충은 주로 기생성 천적과 포식성 천적으로 나누는데 어느 경우도 실용화 단계에서 천적을 증식하는데만 민간회사의 설비비의 70% 이상이 소요될 정도로 증식체계에 해결해야 할 점이 많다. 그러므로 천적산업화를 위해서는 천적의 안정적인 대량생산 증식기술이 핵심으로 생각된다. 그 위에 기반기술이 좀더 지속적으로 개발되어야 하며 천적의 종합적인 이용방법, 국내 고유 천적의 독자적 개발, 해외 천적의 신중환 도입, 년중무휴 천적의 안정적 대량증식 기술개발(년중 시설원에 생산이 국내의 현실이므로) 및 공학관련 기술을 도입한 초생력 천적 생산 시스템 개발 등의 연구가 선행되어야 할 것으로 생각한다.

(3) 미생물로 해충방제

곤충관련미생물은 누에등 유용곤충의 병원체로서의 연구를 시작으로 매개성 병원체 및 공생미생물을 포함한 미생물의 생리·생태학적 연구의 결과로서 이들 미생물의 산업적 이용에 대한 기대감이 커지고 있다. 미생물을 이용한 해충방제도 화학살충제의 과다사용에 따른 환경오염, 생태계파괴, 곤충의 약제 저항성증가 등으로 인하여 개발의 필요성이 점점 커지고 있다. 미생물 살충제는 주로 곤충의 virus(현재 약 1600종 정도가 분리되어 있음), 곤충 병원세균, 천적 사상균, 천적원충, 천적선충의 분야로 구분할 수 있으며, 이들중 virus와 세균이 주연구 대상으로 되어있다. '95년을 기준으로 보면, 전세계적으로 농약으로 등록된 virus는 13종, 세균은 22종, 사상균은 5종, 원충은 2종, 선충은 5종 정도이나 개발중인 종 수는 이보다 많다. 유럽의 민간기업이 조사한 바에 따르면 1988년 세계의 미생물 농약 시장은 전 농약시장의 0.5%인 7천만달러이며 이중 90%정도가 BT제제의 판매에 의한것이라고 한다. 매년 동분야시장의 신장율을 11%로 보았으며, 미생물 농약개발의 유망성으로서 생태계 파괴가 적다는 점외에도 화학농약의 개발비와 등록까지의 년수가 평균 4천만달러·5~7년에 비해 미생물 농약은 200만달러·1~2년이라는 점이

지적되고 있다. 앞으로는 미생물을 이용, 항생물질, 항바이러스물질, 면역제어물질 등 신규 의료용물질 탐색원으로서의 개발이용 가치도 높을 것으로 생각된다.

2) 곤충생체 방어기능 이용기술개발

곤충에 있어서 척추동물에 존재하는 항원·항체 반응의 생체 방어체계는 존재하지 않지만 phenoloxydase 전구체활성화계 등 독특한 생체방어 기능이 알려져 있으며 또한 척추 동물의 항체에 의한 특이적 반응과는 달리 비특이적 반응이 많은 것이 특징이다. 곤충에는 척추동물에 보여지는 "면역기억"이 없어 이 물질이 체내에 침입할때마다 새로운 방어반응이 일어난다. 무척추동물의 생체방어계는 척추동물계와 같이 세포성반응(cellular reaction)과 液性反應(humoral reaction)의 2종류가 있으며 전자는 체액내 존재하는 혈구가 관여하는 식세포작용(phagocytosis)이 주된 기능이며 후자는 생체방어 단백질이라고 하는 여러가지 종류의 단백질과 수종의인자가 관여하는 반응으로 세포성반응과 협력하여 異物質을 고효율로 제거한다. 여기서는 후자에 대해 기술하기로 한다. 후자의 주된 단백질은 항균성 단백질(antibacterial protein)로 현재 150종 이상이 분리·정제되어 아미노산 배열이 밝혀져 있고, 세균이 곤충체내에 침입함으로써 지방체와 혈구에서 조직 특이적으로 합성되어 체액중에 분비된다. 항균성 단백질을 구분하면, 누에등 9개 곤충에서 발견된 분자량 약 4 KDa으로 그람양성 및 음성균에 살균효과가 있는 Cecropin type, 초파리 등 11개 곤충에서 발견된 분자량 4 KDa, cystein을 가지고 있고 3개의 disulfide 결합이 특징이며 그람양성균에 효과있는 Defencin type, 누에 등 5개 곤충에서 발견된 분자량 20 KDa, glycine 함량이 높고 cystein이 없으며 그람음성균에 효과있는 Attacin type, 초파리 등 7개 곤충에서 발견된 분자량 10 KDa, 그람음성균에 효과있는 高 glycine 함유 type(attacin 이외의 항균 단백질), 누에 등 6개 곤충중에서 발견된 분자량 2-4 KDa, proline 함량이 높고 그람음성균에 효과 있는 高 prolin 함유 type 및 기타 수종이 있다(宮ノ下·山川, 1996; 名取,1995; 名取等,1992; 大島, 1996). 이외에도 항진균성 단백질로 AFP(antifungal protein)가 있고 (Iijima et al., 1993; Lee. et al., 1995) lectin, lysozyme, phenoloxydase 전구체 활성화계(Ashida & Brey,1995) 등의 생체방어계도 존재한다. 곤충의 생체계에 존재하는 이런 시스템을 이용하여 실용화에 성공한 예는 적지만 금후 유전자공학 및 단백질공학 등의 Biotechnology의 발전에 따라 신규 항생물질로서의 개발, 병원세균내성 형질전환식물 작출의 유전

자 소재로서의 이용, 미생물 오염검사 시약으로서의 개발 등에 초점을 맞춰 연구개발이 시도되어져야 할 것으로 여러 과학자들은 예측하고 있다.

3) 곤충 대량증식 이용기술 개발

곤충을 대량증식하여 실용화에 성공한 가장 좋은 예는 바로 누에의 산업화라 말할 수 있다.

알의 부화, 유충사육, 고치수확, 채종, 난의 보호, 수시 알깨기를 대비한 인공부화 기술 등이 거의 완벽하게 개발되어 있다. 곤충의 산업화를 달성하기 위하여 기술적·기반적 기술개발이 완료되면, 그 다음의 단계는 거의 모든 경우에서 기초·기반기술개발이 끝난 곤충을 어떻게 그리고 값싸게 대량으로 생산하느냐 하는 것이다. 천적을 이용하여 해충을 방제할 경우 도 최대의 쟁점은 어떻게 천적을 적시에 대량으로 증식, 공급하느냐 하는 것이다. 이와같이 곤충 대량증식 기술은 바로 곤충 산업화의 최대 관건이라 할 수 있다. 누에를 비롯한 유용 곤충의 대량증식 시 가장 기본적인 기술은 필요시 언제나 부화시킬 수 있는 인공휴면 타파기술과 뽕잎 등 사료식물 또는 인공사료에 의한 곤충사육기술 개발이다. 인공휴면 타파기술은 누에에서 염산과 저온을 이용하여 완벽하게 개발되어 있고 천잠등 야생 전사충의 경우 imidazol화합물에 의한 난휴면 타파기술이 최근 개발되어 있다.

한편, 차세대를 위한 수시 채종과 유전자원의 장기 보존 등의 목적으로 인공 수정기술도 최근 일본에서 누에를 대상으로 좋은 결과가 얻어졌다. 인공사료 개발의 경우 일본에서는 120여종의 곤충 인공사료가 개발되어 있지만 한국의 경우 수중에 불과하다. 앞으로 우리의 연구여건이 어렵지만 누에에만 국한하지 말고 산업화 가능성 있는 누에 이외의 곤충에 대해서도 누에 인공사료개발의 경험을 살려 연구해야 할 것이다. 또한 년중 초생력·초저렴 곤충사육 체계화기술에 대해서도 집중 연구해야 할 것으로 생각한다.

4) 곤충의 형질전환 기술개발

형질전환이라는 것은 독특한 유전자를 가진 프라스미드(plasmid) 등의 외부 DNA가 大腸菌 등의 微生物에 들어가 表現型이 變하는 遺傳現象으로 최근에는 인위적으로 외래 DNA를 생물에 도입, 표현형을 바꾸는 기술을 총칭하는 의미로 사용되고 있다.

形質轉換昆蟲을 만드는 기술은 곤충 분자생물학에서 가장 기본으로 되어있는 기술의 하나이다. 누에 등에서 분리된 많은 종류의 유전자의 최종기능을 동정하기 위해서는 분리한 유전자를 개체에 도입, 해당 유전자의 기능이 발현되는가 어떤가를 개체 수준에서 검증할 필요성이 있다. 산업적 입장에서 보면 해충의 방제법, 누에 및 꿀벌 등의 품종육성과 천적곤충개발,

의약품 등의 유용물질 생산에 형질전환 기술을 사용할 수 있다. 특히 누에 및 천잠 등에서는 견사선(絹絲腺, silk gland)이라고 하는 特定蛋白質의 대량생산에 적합한 기관을 가지고 있다. 이 기관을 利用하여 성장 호르몬, 인터페론 등의 단백질을 대량으로 생산하는 방법개발이 가능하다. 특히 누에실크보다 수십배 비싼 천잠실크를 형질전환 가잠을 통해 생산한다면 이는 실로 누에 육종면에서 획기적인 일로 평가될 것이다. 이상과 같은 목적을 달성기 위해서는 우선 누에 및 곤충에 있어서 형질전환 기초·기반기술을 개발하는 것이 급선무이다. 누에를 이용하여 유전자 재조합 기술을 개발함에 있어서 특히 다음과 같은 장점이 있다. 즉 많은 유전자가 cloning되어 분자수준에서 많은 연구가 축적되어 있고, 많은 종류의 돌연변이 계통이 있어 연관지도가 작성되었고, 인공사료에 의한 사육기술체계가 확립되어 뿔없이 없는 시기에도 실험이 가능하며, 성충의 교배가 용이하고 사료로부터 도망가지 않는점 등의 잇점이 있고, 특히 전술한 견사선이라는 유용 단백질의 대량생산이 가능한 기관이 있음은 매우 흥미롭다(田村, 1991).

누에를 대상으로 한 분자 유전학 연구 예는 fibroin의 合成機構(Suzuki & Brown, 1972; Oshima and Suzuki, 1977; Okamoto *et al.*, 1982; Couble *et al.*, 1985; 1987), chorion 多重遺傳子群 연구(Goldsmith & Kafatos, 1984)가 뛰어나며, 30K(Gamo, 1978) vitellogenin(Telfer, 1954; Wyatt and Pan, 1978; Yamashita, 1989), ESP(Ono *et al.*, 1975; Irie & Yamashita, 1988), lipophorin(Chino *et al.*, 1989; Shapiro & Law, 1983), storage protein(Munn *et al.*, 1971; Tojo *et al.*, 1978) 등의 단백질에 대한 예를 들 수 있고 유전자의 cloning 및 발현제어 메카니즘에 대해 주로 연구하고 있다.

이와같은 연구를 성공적으로 하기 위해서는 유전자의 발현계를 만드는 것이 매우 중요한데 지금까지 누에를 대상으로 한 외래 유전자의 발현계는 in vitro 무세포전사계(Tsuda and Suzuki, 1981), NPV를 이용한 유용벡터 생산계(Maeda *et al.*, 1985), 배양세포 또는 견사선 세포를 이용한 transient 발현계(Miyajima *et al.*, 1988) 등이 있을 뿐이다.

한편, 외래 유전자를 도입하여 형질전환체를 만드는 방법으로 mouse의 수정전의 胚의 雄核에 직선상의 DNA를 주사, by chance로 염색체 DNA에 들어가게 하는 방법, retrovirus를 감염시키는 방법, ES 세포를 이용한 방법 등이 개발되어져 있다. 또 소, 돼지, 양 등의 가축에서도 수정란에 DNA를 주사하는 방법에 의해 유전자 도입이 가능하며 zebra fish 등의 어류에 있어서도 초기배에 DNA를 주사, 형질전환체를

만드는 것이 가능한 것으로 보고 되어있다(田村, 1991; Stuart *et al.*, 1988).

또한 식물에서도 형질전환 토마토 등이 실용화되었음은 잘 알고 있는바와 같다. 초파리에서는 transposon의 일종인 p인자를 이용한 외래 유전자 도입계가 만들어져 있지만 다른 곤충에서는 연구가 미진하다(Rubin & Spradling, 1982; Steller & Pirrotta, 1985). 특히 누에에 및 산업곤충 있어서는 형질전환기술 개발은 초파리, 가축 및 식물과 비교하여 매우 미진한 것이 사실이다.

누에의 백관 계통의 유충에 흑관계통의 total genome DNA를 주사하여 흑관계통을 얻은 시험결과가 있으나(Nawa *et al.*, 1971) 효율상의 문제로 인하여 이 방법은 사용되지 않는다. 누에에 있어서 외래 유전자 도입기술 개발은 수정 전후의 누에알에 초파리의 heat shock 단백질 및 누에 actin 유전자 등의 promoter에 CAT이나 β -gal 등의 reporter 유전자를 주사, transient한 유전자 발현계가 있다(Tamura *et al.*, 1990; 神田·田村, 1991; Coulon-Boulex *et al.*, 1993). 그러나 주사된 DNA의 급속한 분해(Nagaraju *et al.*, 1996), 주사방법의 불편함(1차 텅스텐 바늘, 2차 유리캐피러리 사용에 따른 불편함) 및 유용한 Target 유전자의 완벽한 분리 및 발현 등이 문제이다.

이상에서 곤충 형질전환계를 중심으로 그동안의 연구내용을 요약 정리해 보았다. 누에 및 곤충형질전환 기술은 분자생물학의 꽃으로 판단되며, 금후 종의 차원을 뛰어넘은 형질전환 곤충제작은 신의 영역에 대한 도전이 아니라 생물이 만들어진 원리를 보다 깊이 연구하여 인류에게 보다 유용한 곤충을 만드는데 초점이 맞추어져야 할 것이다.

5) 곤충공생미생물 개발

공생(symbiosis)이라는 것은 단순히 2개의 다른 생물이 함께 생활한다는 것이며(Steinhaus, 1949), 單利共生(commensalism), 相利共生(mutualism), 寄生(parasitism)으로 구분된다(Books, 1963).

공생미생물은 원생동물, 사상균, 효모, 세균, rikettsia, virus등 거의 모든 부류의 미생물이 해당되며(Bucher, 1965; Ahmadjian and Paracer, 1986) 곤충의 체내·외 공생등의 경우가 있고 체내 경우도 몸속의 조직·세포로 완전히 들어가는 경우와 단순히 소화관에 머무는 경우도 있다. 곤충의 경우 미생물이 곤충 세포 중에 살고있는 경우를 세포내 공생(intracellular symbiosis or endosymbiosis)이라고 하고 공생미생물은 symbiont 또는 sysbiote라 부르지만 후자가 더 정확하다고 한다(Steinhaus, 1949). 곤충 공생미생물들은 주로 세포내에 존재하며, 숙주세포와의 관계는 ①

곤충 입장에서 미생물이 있는 것이 필수적인 것 ② 있어도 또는 없어도 곤충은 정상 생활이 가능하나 미생물의 존재는 곤충생활에 영향을 주는 것 ③ 표면적으로는 미생물의 존재가 곤충에게 영향하지 않는 것 등이 있다. 또한 대부분의 공생미생물은 자손에게 전달되며(수직전달) 다른 개체에도 전달(수평전달) 된다. 이들 공생미생물의 예를 보면 벼의 해충인 벼멸구(brown plant hopper)의 복부 지방체 세포중에 효모와 유사한 미생물이 공생하며 이들은 숙주가 난형성시 아미노산, sterol 등의 영양물질을 공급한다(Noda, 1977). 인삼벌레 및 권연벌레도 숙주에 영양을 공급하는 공생 미생물을 가지고 있으며 姬蜂科(맷시벌과), 小蜂科(고치벌과)의 곤충도 기주 제어물질을 생산하는 공생 polydnavirus를 갖고 있다. 또한 집모기에 공생하는 rickettsia 속의 일종으로 세포질 불화화합성을 일으키는 wolbachia(정상(암)×감염(수)⇒난 발육억제, 자손이 끊어짐)등이 있다. 이상과 같이 소수의 예를 들었으나 미발견 공생미생물의 종류가 많을 것으로 생각되며 상기의 공생미생물도 산업적으로 이용 가능하다. 즉 wolbachia를 이용한 병원 매개곤충의 절멸, 공생미생물에 유전자를 실어 곤충의 형질전환 시도(기존의 곤충형질 전환은 매우 어려우므로), ergosterol을 생합성하는 벼멸구 공생미생물을 이용한 생리합성 물질의 생산, 공생 virus를 이용한 숙주제어 등이 그 예로 응용전망은 매우 높다. 급후, "곤충 체내에 미 이용 공생미생물 자원이 많다"는 생각을 현실화시킬 필요가 있다고 본다.

6) 곤충을 이용한 환경오염 검정계 개발

환경오염 검정 및 농산물 안전성 검정을 위해 곤충을 이용한 실험계의 확립이 필요하다. 보다 다루기 쉽고 한꺼번에 대량의 개체를 이용한 검정이 가능하고 사육체계가 확립되어 있는 누에를 이용, 새로운 검정 실험계로 개발할 필요성이 있다. '89년도의 수입자몽의 daminozide 오염사건, 수출 배의 daconil 문제, '92년 수입고추의 살충제 EPN, 수입 밀에서의 thiophanate-methyl 문제 등 식품에 있어서의 농약 등의 오염문제는 심각하다(李, 1993).

최근에 서울의 가락시장에서 출하된 엽채류는 농약잔류검사 결과가 끝나 그 결과가 관계자에게 통보될 즈음에 이미 소비자의 손에 넘어가 농약이 잔류된 채소의 적절한 조치가 불가능한 점 등 많은 문제가 있다. 이와같은 문제를 사전에 방지하기 위해 농가에서 출하 전에 농민 스스로 누에를 이용 간이 생물검정에 의해 농약의 유해성을 눈으로 직접 확인 출하여 부를 결정하므로써 농약채소의 시장 반입을 원천적으로 막을 수 있으리라 생각한다. 단지 누에의 엽채류

첨식에 의한 농약안전성 검정을 위해서는 엽채류 고엽식 계통육성, 년중 수시 누에 공급체계확립, 검정 표준실험 지침서확립, 법적 지위의 획득 등의 문제를 해결하면 누에의 새로운 용도 개발 및 누에의 새로운 실험계 개발이라는 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

결 론

지금까지의 누에·꿀벌 등 수종의 산업화된 곤충에 대해서는 익충으로 그 외 곤충에 대해서는 해충으로 생각하여 왔지만 이제부터는 곤충자체를 지상 최대의 미 이용 자원으로 인식하기 시작하고 있다. 그러므로 이러한 인식을 바탕으로 다가오는 21세기에는 곤충의 생체 및 기능을 이용한 곤충생물산업화가 가능할 것으로 생각된다.

혈당 강화제로서의 누에생체, 항암 등 약리성분이 뛰어난 누에 동충하초 등 누에생체 이용기술과 환경친화형 생물농약, 곤충생체 방어기능 이용기술, 곤충 대량증식 이용기술, 곤충 형질전환기술, 곤충 공생미생물 및 곤충을 이용한 환경오염 검정기술 등 곤충기능 이용기술의 성공적인 개발과 생물산업화 달성을 위해서는 산·학·관·연이 망라된 국가적인 협력연구 프로젝트로서 추진되어야 할 것으로 생각한다.

곤충이용 기술개발은 인류에게 유익함을 제공할 수 있고 산업화가 가능하여 돈벌이가 잘되는 사업으로 발전시키는데 초점이 맞추어져야 그 수명이 오래 지속될 것으로 판단되며 곤충 생물산업화는 상기의 목표를 충분히 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

引用文獻

Ashida, M. and Brey, P.(1995) Role of the integument in insect defense: Pro-phenol oxidase in the cuticular matrix, *Proc. Natl. Acad. USA.* **92**: 10698~10702.
 Chino, H., Murakami, S. and Harashima, K.(1969) Diglyceridecarrymg lipoprotein in insect haemolymph; Purification and properties. *Biochem. Biophys. Acts* **176**: 1~26.
 Couble, P., Chevillard, M., Moine, A., Reavel-Chapuis, P., and Prudhomme, J. C.(1985) Structural Organization of the P25 gene of *Bombyx mori* and Comparative analysis of its 5' flanking DNA with that of the fibroin gene. *Nucleic Acids Res.* **13**: 1801~1814.
 Couble, P., Michaille, J., Garel, A., Couble, M., and Prudhomme, J.(1987) Developmental switches of sericine mRNA splicing in individual cells of *Bombyx mori* silksland. *Devel. Biol.* **124**: 431~440.

- Gamo, T.(1978) Low molecular lipoproteins in the hemolymph of the silkworm, *Bombyx mori*: Inheritance, isolation and some properties. *Insect Biochem.* **8**: 457~470.
- Goldsmith, M. G., and Kafatos, F. C.(1984) Developmentally regulated genes in silkmoths. *Annu. Rev. Genet.* **18**: 443~487.
- Irie, K. and Yamashita, O.(1983) Egg specific protein in the silkworm, *Bombyx mori*: Purification, localization and titre change during orgenesis and embryogenesis. *Insect Bichem.* **13**: 71~80.
- 李瑞來(1993) 食品의 汚染과 危害評 . 한국 환경 농화 학회지. 제12권 3호 325~333.
- Lee, S. Y., Moon, H. J., et al.(1995) Purification and cDNA cloning of an antifungal protein from the hemolymph of *Holotrichia diomphalial* larvae, *Biol. Phaem. Pharm. Bill.*, **18**(8): 1049~1052.
- Maeda, N., Okano, K., Ninaki, S., Takiya, K., Ohta, H., Yamanchi, H., Fujiwara, N., Takada, Y., Suzuki, Y. and Maekawa, H.(1988) Establishment of transfection system into cultured cell of *Bombyx mori*. *Develop. Growth and Difler.* **30**: 43~
- 名取俊二(1995) 昆蟲의 抗菌性タンパク質의 生産と利用, 植物防疫, **49**(11): 3~7.
- 名取俊二·野本 久雄ほか, (財) 水産無脊椎動物研究所編(1992), 無脊椎動物の生 防御, 學會出版セソタ.
- 宮ノ下明大·山川 稔(1996) 抗・薬劑耐性細菌의 펩티드의開發, 昆蟲由來抗菌性タンパク質からのアプローチ, *Bio Industry*, **13**(4): 28~39.
- Munn, E. A., Feinstein, A. and Greville, G. D.(1971) The isolation and properties of the protein caltrophin. *Biochem. J.* **124**: 367~374.
- Nagaraju, J. and Kanda, T.(1996) Attempt at transgenesis of the silkworm, *Bombyx mori*, by egg-injection of foreign DNA. *Appl. Entomol. Zool.* **31**: 587~596.
- Nawa, S., Sakaguchi, B., Yamada, M. A. and Tsujita, M.(1971) Hereditary change in *Bombyx* after treatment with DNA. *Genetics.* **58**: 573~584.
- Noda, H.(1977) Histological and histochemical observation of intracellular yeastlike symbiotes in the fat body of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus*(Homoptera : Dephacidae). *Appl. Entomol. Zool.* **12**: 134~141.
- Okamoto, H., Ishikawa, E., and Suzuki, Y.(1982) Structural analysis of sericine genes. *J. Biol. Chem.* **257**: 15192~15199.
- Ono, S., Nagayama, H. and Shimura, K.(1975) the occurrence and synthesis of female and egg-specific proteins in the silkworm, *Bombyx mori*. *Insect Biochem.* **5**: 313~329.
- Oshima, Y. and suzuki, Y.(1977) Cloning of the silk fibroin gene and its flanking sequences. *Proc. Natl. Sci. USA.* **74**: 5363~5367.
- 大島正弘·大橋 子(1996) 抗菌性ペプチドを利用した細菌病性植物の作出, 植物防疫, **50**(5): 19~22.
- Retnakaran, A. Granett, J. et al.(1985) Insect growth regulator, *Comprehensive insect physiology, Biochemistry*, **12**, Pergamon Press, 529~601.
- Roller et al. (1967) Die Structur des juvenilhormon, *Angew. Chem.*, **79**: 190~191.
- 류강선·정성현(1998) 누에와 당뇨.
- Shapiro, J. P. and Law, J. H.(1983) Locust adipokinetic hormone stimulates lipid metabolism in *Manduca sexta*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **115**: 924~931.
- Steller, H. and Pirrotta, V.(1985) Fate of DNA injected into early *Drosophila* embryos. *Develop. Biol.* **109**: 54~62.
- Stuart, G. W., McMurray, J. V. and Westerfield, M. (1988) Replication, integration and stable germ-line transmission of foreign sequences injected into early zebrafish embryos, *Development.* **103**: 403~412.
- Suzuki, Y., and Brown, D. D.(1972) Isolation and identification of the messenger RNA for silk fibroin from *Bombyx mori*. *J. Mol. Biol.* **63**: 409~429.
- 鈴木辛一·竹田敏·桑野 一·伴仁久徳·山川稔·本田洋·田村俊樹·木村澄(1997) 昆蟲機能利用學.
- 田村俊樹(1995) 昆蟲の形質轉換技術の現況. pp 205~218.
- 田村俊樹·神田俊男(1996) 昆蟲の生化學·分子生物學; 제20장 카이코卵における外來遺轉子の導入と發現. pp 407~420.
- Tamura, T., Kanda, T., Takiya, S., Okano, K. and Maekawa, H(1990) Transient expression of chimeric CAT genes injected into early embryos of the domesticated silkworm, *Bombyx mori*. *Jpn. J. Genet.* **65**: 401~410.
- Telfer, W. H.(1954) Immunological studies of insect metamorphosis II. The role of sex-limited blood protein in egg formatin by the *Cecropia* silkworm. *J. Gen. physiol.* **37**: 539~588.
- Tojo, s., Betchaku, T., Ziccardi, V. J. and Wyatt, g. R. (1978) Fatbody protein granules and storage proteins in silkworm, *Bombyx mori*. *Insect Biochem.* **10**: 289~303.
- Tsuda, M. and Suzuki, Y.(1981) Faithful transcription initiation of fibroin gene in a homotogoes cell-system reveal an enhancing effect of 5' flanking sequence far upstream. *Cell.* **27**: 175~182.
- Wyatt, G. R. and Pan, M. L.(1978) Insect plasma proteins. *Ann. Rev. Biochem.* **47**: 779~817.
- Yamashita, O.(1989) Biochemical process of synthesis and degradation of a yolk protein, egg-specific protein. *Adv. Invert. Reprod.* **4**: 79~84.