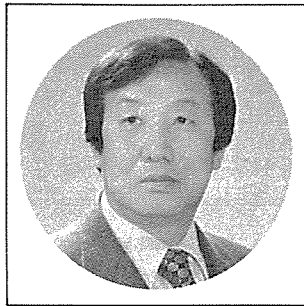


2001년 科學技術의 世界



玄 源 福
(科學저널리스트)

우리는 21세기를 불과 12년 앞두고 있다. 서기 2001년의 생활은 어떤 것일까? 현재 연구실에서 개발중인 여러 기술을 통해 교통, 의학, 농업, 에너지 등 여러 분야에 걸쳐 전개될 생활의 변모를 미리 알아 본다. <편집자註>

遺傳工學과 農業

1953년 제임스 왓슨과 프란시스 크릭이 길을 튼 생명공학은 30여년의 세월이 흐른 요즘에 와서 마침내 열매를 거둬들이기 시작했다. 그동안 연구 개발에 투입된 수백억달러의 투자의 과실을 전질 수 있는 날도 멀지 않았다. 인간과 동물용의 신약과 새로운 작물, 새로운 비료 그리고 새로운 제

초제가 줄이어 이미 생산을 개시했거나 개발을 끝내고 규제 당국의 생산인가만을 기다리고 있다. 사람들이 원하고 정부가 승인만 해준다면 유전공학으로 강화된 가축과 사람의 유전결합을 치료하는 유전요법도 머지않아 등장할 것이다. 인류는 생명공학이 전개할 21세기의 '바이오소사이어티'에서 처음으로

로 굶주림과 질병에서 완전히 해방된 새로운 세계를 맞게 될 것이다.

동·식물간을 오가는 유전자

21세기의 농장에서 우선 눈에 띄는 변화는 레이더조종으로 스스로 움직이는 트랙터의 모습이다. 그러나 농사에서 가장 큰 변화는 기계가 아니라 작물 속에서 진행된다. 유전공학자들은 유전자를 조작하여 유독한 화학물 없이도 해충과 싸우고 가뭄을 이겨내는 고수확작물을 마춤설계할 수 있게 된다.

식물유전공학의 선구자이며 미국 위스콘신주 미들턴 소재 애그러 시티스사 연구개발담당 부사장인 윈스턴 브릴은 서로

다른 종류의 생물의 유전자를 혼합하고 교합하는 기술이 완숙단계로 들어 갈 것이라고 내다보고 있다.

과학자들은 이미 박테리아의 유전자를 식물에, 식물유전자를 박테리아에 그리고 동물유전자를 식물에 첨가하고 있다. 이런 기술로 전설적인 토마토-소는 만들 수는 없겠으나 20세기말까지는 종전보다 더 우수한 성질을 가진 작물을 만들어 낼 것으로 보인다.

예컨대, 천연 살충제인 박테리아 유전자가 많은 식물에게 첨가되었는데 앞으로 옥수수에도 첨가할 수 있게 될 것이며 아미노산의 생산을 조절하는 동물유전자는 단백질 함유량을 늘려 옥수수의 질을 향상시킬 수 있을 것이다.

유전공학자들이 몇몇 유전자를 조작하여 지난 여름처럼 심한 가뭄에도 견딜 수 있는 옥수수를 생산할 수 있게 된다면 얼마나 신나는 일일까? 그러나 아직도 알려지지 않은 이유 때문에 옥수수와 쌀, 밀, 보리와 같은 곡물은 유전자조작을 잘 받아 들이지 않고 있다.

그런데 담배와 페투니어와 같은 식물은 이와 정반대이다. 3년전 유전공학자들은 개똥벌레의 유전자를 담배나무에 인전시키는데 성공했다. 그 결과 생긴 잡종나무는 어둠속에서 빛을 냈다. 그러나 세계의 식량공급의 대중을 이루고 있는 작물에 대한 유전자조작기술의 진전상태는 매우 느리다. 다른

유전자를 곡류가 나는 식물에 도입하는 기술은 아직도 초기의 개발단계에 있는 것이다.

유전 유전공학기술에서 가장
염색 앞날이 촉망되는 것 중
의 하나는 어떻게 보면
몹시 조잡스럽게 보인다. 미국
코넬대학에서 1984년 발명한
이른바 생물탄도장치는 흡사
유전자의 염색처럼 작동한다.
DNA(유전물질)를 코팅한 수
백만개의 미세한 텅스텐 알갱
이를 실은 나일론 발사체를 22
구경 소총 총신 크기의 원통속
에 장진한다.

발사편이 공포를 쏘면 발사체는 원통 끝까지 움직여서 그곳에서 1밀리미터의 구멍을 가진 철판에 걸리게 되지만 유전자를 태운 입자는 구멍을 빠져나가 세포의 집단을 포격한다.

높은 속도의 작은 텅스텐 입자는 별로 손상을 주지 않고 세포벽으로 들어 갈 수 있다. 일단 세포안으로 들어간 DNA는 조직을 개조하기 시작한다. 이 유전자배달시스템이 종전의 방법보다 유리한 것은 유전공학자들이 종래와 같이 단일 세포를 변화시킨 뒤 증식을 기다리는 것이 아니라 한번에 수백만개의 세포를 변화시킬 수 있다는 점이다.

1988년 6월 이 생물탄도장치의 발명자의 한사람인 코넬대학 생물학자 존 샌퍼드는 저명한 과학전문지 '사이언스'에서 그와 그의 동료들이 이 장치를 2건의 실험에서 성공적으로 사

용했다고 보고했다. 그중의 한 실험에서는 해조류세포속에 광합성을 부추기는 유전자를 삽입했다. 다른 하나의 실험에서는 호흡작용을 부추기는 유전자로 이스트세포를 포격했다.

애그러 시스터스사의 연구자들도 이와 비슷한 기술을 개발했다. 이들은 텅스텐대신 금입자를 사용하고 염색대신 정전기의 반발력을 이용하여 입자를 콩의 세포속으로 보냈다. 이 기술의 목표는 세포마다 외부의 입자를 갖는 것이며 외부의 입자가 스스로 또는 세포를 훼손하지 않고 세포내부로 들어가게 하는 것이다. 금입자로 뚫린 세포의 구멍은 너무나 적어서 문제가 되지 않는다. 이리하여 외부유전자는 콩나무속에 융합되어 다음세대로 이어진다.

무한한 이런 실험이 성공한
가능성 덕으로 21세기의 농
사에는 새로운 지평
이 활짝 열리게 될 것이다. 우선 몇해 안으로 내병성을 내장한 옥수수와 종전보다 훨씬 많은 단백질을 가진 콩과 수량이 훨씬 높은 옥수수와 콩이 등장하게 될 것이다.

한편 환경운동가들의 강력한 반대에도 불구하고 유전공학적으로 조작된 미생물들이 21세기에는 중요한 역할을 하게 될 것이다. 이렇게 손을 본 박테리아의 변종은 이미 작물 잎에 서리가 형성되는 것을 막는데 성공했고 다른 변종은 천연의

잡초제어 화학품을 생산할 수 있어 오늘날의 일부 유독성 제초제와 대체될 수 있을 것이다. 또 다른 박테리아의 변종은 작물의 비료 흡수 능력을 증진시켜 화학비료 사용량을 줄일 수 있게 만들었다.

토양따라 오늘날 화학비료
마춤비료는 밭에 일률적으로 시비한다. 토양의 샘플을 채취한 뒤 그속의 영양분을 측정하고 그 토양이 요구하는 비료의 종류를 분석한다. 그래서 여러 종류를 혼합하여 발전체에 균일하게 시비한다.

그러나 넓은 밭에서는 토양의 성분이 이곳저곳 다르게 마련이다. 밭 이쪽에서는 이상적으로 혼합한 비료일지라도 다른 곳에서는 너무 강하거나 약할지 모른다. 그래서 발전체에 균일한 성분의 혼합비료를 시비한다는 것은 비능률적이며 어떤 경우에는 낭비가 된다.

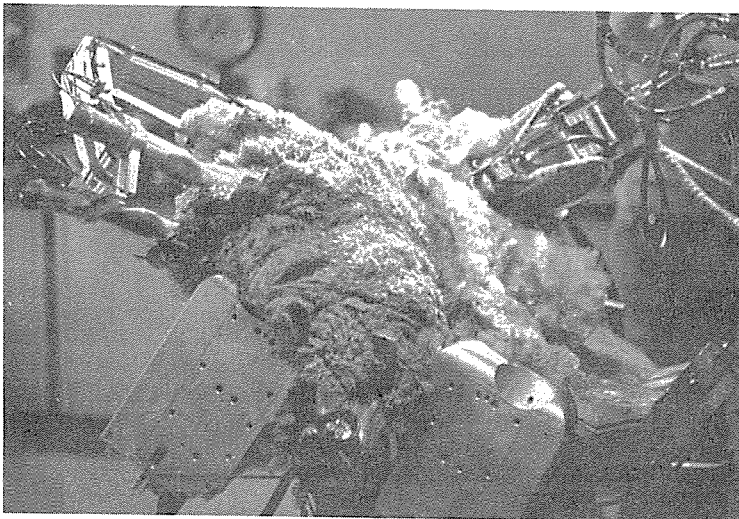
뿐만 아니라 농업용 화학물은 지하수 오염이라는 문제를 가져온다. 21세기 초에는 밭의 매 평마다 가장 알맞는 영양분을 가진 마춤설계의 비료량을 받게 될 것이다.

이 분야에서 가장 앞을 달리고 있는 미국의 미네소타주 와코니아 소재 소일 테크사는 이런 기술을 이미 개발했다. 이 기술은 우선 밭의 적외선항공 사진을 찍는다. 토양속의 서로 다른 유기물질은 태양열을 서로 다른 비율로 재반사하기 때문에 이 사진에서는 색깔의 분포가 다르게 나타난다. 이 사진을 바탕으로 해서 밭을 서로 다른 토양형의 지역으로 구분한다. 각 지역의 토양을 샘플링한 뒤 각각 적합한 혼합비료를 만든다. 끝으로 정확한 위치를 추적하는 무선 안테나로 유도되는 비료살포기가 밭을 돌면서 시비를 한다. 살포기가 움직일 때 탑재한 컴퓨터가 밭에 관한 디지털지도를 읽으면서

한 토양형에서 다른 형의 밭으로 옮길 때 마다 자동적으로 이에 알맞는 비료를 혼합하여 뿌려 준다.

소일 테크사의 방법은 경제적인 면에서 뿐 아니라 환경면에서도 매우 쓸모있는 방법이다. 이 기업의 서비스를 받은 미국농민들의 보고에 따르면 에이커당 5~15달러의 순이득을 보았다는 것이다. 한편 해마다 심각성을 더해가는 지하수오염 문제도 이 방법을 이용하면 해결의 실마리를 찾게 될지 모른다.

그렇다면 마춤설계의 작물과 첨단기계가 생산에 어떤 영향을 줄 것인가? 미국의 기술평가국이 3년전에 한 예측이 정확하다면 미국의 옥수수생산고는 2000년까지는 1984년의 77억 부셀에서 97억부셀로 증산될 것이다. 이렇게 증산되는 배경에는 신기술의 힘이 크게 작용할 것이다. 다른 곡물도 이와 비슷한 패턴을 따를 것으로 보인다.



시험관서 21세기에는
키우는 목화밭은 완
목화 전히 모습을 감추게 될지 모른다고 내다 보는 사람도 있다. 미국 텍사스공대의 물리학자 조 고던은 목화섬유를 연구실에서 세포로부터 키울 수 있는 방법을 발견했다. 그의 말을 빌면 “목화나무에서 섬유를 키우는 공정은 매우 비능률적”이라는 것이다. 수십억개의 목

화의 세포가 잎과 줄기와 뿌리로 낭비되지만 그의 방법을 이용하면 모든 목화는 섬유가 된다고 그는 주장하고 있다.

그런데 고딘이 이 공정을 발견한 것은 참으로 우연한 것이었다. 그는 당초 단일세포로부터 완전한 목화나무를 재생하려고 했었다. 이것은 유전공학에서 널리 이용되고 있는 기술이다. 그러나 자세히 들여다보았더니 일부의 세포가 늘어나고 있다는 것을 알게 되었다. 이 세포들은 목화섬유가 되는 첫단계를 밟고 있었던 것이다. 그래서 사탕과 광물성 염 그리고 여러 호르몬등 성장매체의 요소를 조심스럽게 조절한 결과 거의 모든 세포를 섬유로 전환시킬 수 있다는 사실을 발견하게 되었다. 사실상 이것은 사탕을 셀룰로스로 전환하는 일이었다.

그는 온도와 PH를 조절하고 이 혼합물속에 산소를 공급했더니 보통 목화밭에서 소요되는 것보다 반밖에 안되는 3~5주만에 배양접시는 축축히 젖은 섬유로 그득차서 수확을 기다리고 있었다. 이 과정에서 빛도 받도 필요 없다. 또 살충제도 필요 없고 병충해도 없으며 방직공장 근로자들에게 먼사폐병을 일으키게 하는 박테리아도 균류도 없다. 이리하여 목화섬유는 발대신 배양그릇에 준비한 공장에서 생산될 것이다.



농가소득 올릴 특산품생산

생물공학은 인슐린이나 기름 또는 향료와 조미료와 같은 의약품공업용제품을 식물에서 생산하는 길을 터주어 농민들에게 비싼 제품을 생산하는 제조업자로 전환하는 길을 열어 줄 것으로 보인다.

예컨대, 딸기재배업자는 유전자조작으로 종래보다 강력한 맛을 가진 새로운 딸기를 생산할 수 있다. 오늘날 미국시장의 딸기향료값은 갤론당 50달러나 하지만 진짜 딸기맛은 조금밖에 들어 있지 않다. 나머지는 다른 과일의 맛을 혼합한 것이다. 21세기에는 생물공학을 이용하여 비용을 훨씬 덜 들이고도 만들 수 있는 천연딸기맛을 아이스크림, 시럽등에 사용할 수 있게 된다.

에스카젠사라는 이름의 미국 기업은 바닐라나무에서 떼낸

조직을 배양하여 수백만개의 작은 바닐라 세포를 만든 뒤 침투성 합수탄소로 된 껍질을 씌우고 자당과 암모늄염 그리고 비타민을 흡수시킨 신제품을 만드는데 성공했다. 이 세포덩어리는 85%의 순수한 바닐린을 내포하고 있다. 이 기업은 1990년대초에는 연간 10만파운드, 그리고 몇해 안에 연간 30만파운드의 이 제품을 생산하여 파운드당 2백달러로 팔 계획인데, 종래의 방법으로 만든 바닐린은 현재 파운드당 1천달러로 팔리고 있다.

이 기업이 현재 시험중인 내병성 감자씨는 에이커당 1톤의 감자塊莖을 심던 종래의 감자 농사방법과는 달리 에이커당 1파운드의 씨를 뿌리면 되고 종자감자의 경우처럼 저장중 썩을 걱정은 놓아도 된다. 현재 세계의 종자 피경시장의 규모는 40억달러에 이른다.

비계대신 살고기

미국 오하이오대학 동물 유전공학 센터는 오늘날 세계에서 동물유전공학분야에서는 가장 앞선 연구를 하고 있다. 이곳 연구자들은 요즘 닭고기의 질을 높이고 기름기가 적은 돼지개발에 한창 열을 올리고 있다. 그 비결은 수정된 돼지의 난자속에 성장 호르몬 유전자를 집어 넣는 것이다. 수술대 위에 누인 큰 암돼지로부터 흡입관을 이용하여 새로 수정된 난자들을 제거한 뒤 하나하나의 난자에게 성장호르몬유전자와 조절용 물질을 주입한다.

이 난자는 다시 농장으로 옮겨져 대리엄마의 역할을 할 암 돼지에게 삽입된다. 그 목적은 큰 돼지를 만들자는 것이 아니라 기름기가 적은 돼지를 빨리 키우는 것이다. 펜실베이니아 주립대학의 실험결과 성장호르몬은 돼지의 잔등의 지방분을 70%까지 줄이는 반면 살고기의 양을 그만큼 늘일 수 있다는 것이 밝혀졌다.

한편, 동물을 이동식 공장으로서 이용하려는 구상이 현재 오하이오대학에서 실험에 들어갔다. 이 대학의 와그너교수등은 소를 이용하여 가장 돈을 덜 들이고 단백질을 생산할 수 있는 방법을 발견했다. 약 3달 러어치의 사료를 먹여 우유속에 1파운드의 단백질을 만들어 낼 수 있어 21세기에는 소를 의약품, 공업용 효소등이 살아 있는 공장으로서 이용할 수 있다

고 보고 있다.

유전공학을 이용한 의약품을 만드는데 다세포동물을 상업적으로 처음 이용한 기업은 일본의 다이이치제약이다. 이 기업은 최근 효능이 좋은 B형간염 백신을 생산하기 위해 누에를 사용하기 시작했다. 적절한 유전자를 누에속에 삽입한 뒤 날마다 이것을 쥐어 짜서 백신용 단백질을 거둬 들인다.

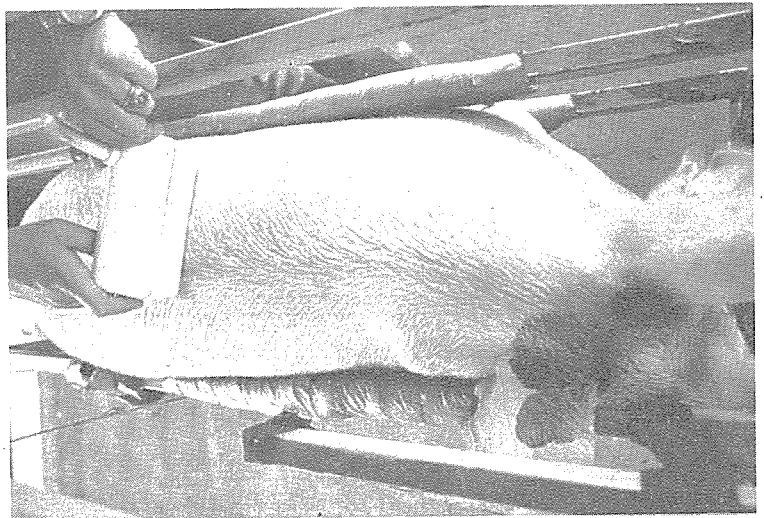
한편, 살충제 대신 생물학적 방법으로 해충을 없애는 연구에도 커다란 진전이 이루어지고 있다. 최근에는 바실루스 투린지엔시스라는 이름의 토양미생물의 유전자를 식물에 삽입하는 방법이 개발되었다. 이 유전자는 식물의 잎속에서 날카로운 톱날같은 결정체를 만들어 낸다.

애벌레가 이런 잎을 갉아 먹으면 입속에 이런 결정체가 들어 차게되는데, 이를테면 유리 파편을 먹는 것과 같아서 애벌레는 창자가 마구 찢기위 죽어

버린다. 롬즈 앤드 하즈사는 최근 미시시피주에서 이런 '신무기'로 무장한 담배나무의 현장실험을 마쳤다. 다른 기업들도 여러 다른 식물을 가지고 온실실험을 하고 있다.

마춤원료 생산하는 해바라기 최근 미국농민들은 듀풍이나 몬산토와 같은 큰 화학메이커들의 요청으로 특별한 제품의 원료가 되는 식물을 키우기 시작했다. 화학재벌기업인 루브리콜사는 유전공학기업 선진사를 지원하여 윤활제, 플라스틱 및 나일론에 쓸모있는 성분을 특별히 많이 가진 기름을 만들기 위해 특수한 해바라기씨를 개발하고 있다.

일본강철은 유전공학기업 칼진사의 평지씨 기름조작연구를 지원하고 있다. 겨자식물의 한 가족인 평지씨는 낮은 수준의 포화지방분을 가진 기름을 만들기 때문에 건강에도 좋고 기



름의 수율도 콩(기름수율 20%)의 두배나 되는 40%이다.

칼진사는 또 유전공학기법을 통해 숨의 섬유질을 크게 개선하는 한편 연간 30억파운드의 특제 옥수수 전분을 펄프와 제지공장에 공급하여 종이의 질을 높이고 있다.

농업과 공업분야의 생물공학제품은 당장은 액티바제와 같은 심장병치료제인 TPA나 암치료제인 인터루킨-2 그리고 그밖의 유전공학 의약품보다 매력력이 덜하기 때문에 출현이 늦기는 했지만 일단 개발이 끝나면 응용하는데 의약품의 경우보다는 훨씬 시간이 덜 걸리고 그 시장규모도 엄청나다는 점에서 새로운 인식을 받기 시작했다.

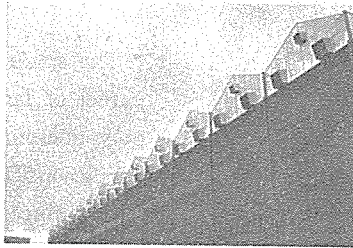
곱으로 느끼는 육류의 수요

화학메이커 중에서도 농업분야의 생물공학연구의 선두를 달리고 있는 몬산토사의 생명공학연구소는 현재 농업생산성에 혁명적인 영향을 미칠 매우 중요한 연구개발사업들을 펴고 있다. 그중의 하나는 농산물의 증산이다.

몬산토사 연구팀의 수퍼토타토재배실험 결과에 따르면 시험관 속에서 유전공학기법으로 식물의 특징을 개량할 수 있을 뿐 아니라 이 개량된 특성은 다음 세대로 물려 줄 수도 있다는 것이 밝혀졌다. 그래서 21세기에는 감자, 담배 및 사탕무와 같이 넓은 잎의 쌍떡

잎 식물과에 속하는 토마토의 '친척'들에게도 모든 종류의 특성을 옮겨 줄 수 있게 될 것이다.

인구가 늘어나고 생활수준이 향상되면 21세기초에는 세계의 육류소비량은 오늘날의 2배로 늘어날 것으로 전망된다. 이런 수요를 충족시키기 위해서는 축산업자들은 지금보다 훨씬 큰 돼지, 닭 그리고 소를 생산해야 할 것이며 따라서 성장호르몬의 수요도 크게 늘어나 연간 50억달러의 큰 시장을 형성하게 될 것으로 보인다. 닭, 칠면조 그리고 오리와 같은 가금류는 성장호르몬 덕으로 성장기간이 종전의 8주에서 6주로 줄어들고 사육비용도 25%까지 절감할 수 있게 된다.



식물세포 생산공장

미국 바이오소스 유전사는 요즘 식물세포안에서 의약품 원료를 포함하여 복잡한 화학물을 만드는 방법을 발견했다. 예를 들어 항암제인 식물알칼로이드 빈크리스틴은 오늘날 그램당 1천2백달러(약 80만원)나 되는데 이런 기법을 이용하면 단돈 2~3달러(약 2천원)면 생산할 수 있게 된다.

그 방법은 유전공학 기법을

이용하여 식물세포속에 유전자 뭉치를 도입, 소망하는 물질을 만들라고 지시하는데 이를테면 식물세포를 작은 화학공장으로 바꿔 버리는 것이다. 자동화공장에서는 컴퓨터에 지시내용을 입력시키면 컴퓨터는 그 지시를 공작기계에 전달하여 프로펠러 날개나 비행기 날개를 만들게 되는데 식물공장도 이와 똑 같은 이치로 재료를 생산한다. 그래서 이 유전자뭉치에는 '진웨어'라는 이름을 붙였다.

21세기가 밝을 무렵에는 '진웨어'가 농사에 혁명을 가져올지 모른다. 예컨대, 옥수수나 감자를 식량용으로 키우는 것이 아니라 바로 귀중한 화학물질생산용으로 키운다. 특정한 효소를 이런 작물에 도입하여 전분을 고리모양의 분자인 사이클로 텍스트린으로 바꾼다. 이 고리구조는 다른 분자를 고리 가운데로 갇혀두어 맛을 보태고 향기를 돌워주고 신기한 약품전달수단으로 사용할 수도 있다.

야채와 과일생산자들은 감미 유전자를 당근이나 토마토나 또는 멜론속에 삽입하여 열량을 높이지 않고도 맛을 향상시킬 수 있다. 마찬가지로 포도와 사과생산자들은 시장의 요구에 맞게 특정한 맛을 가진 유전자를 도입하여 한계절만 마춤 과일을 생산할 수 있다. 대두와 그밖의 기름용 곡식재배자들은 작물속의 콜레스테롤을 줄이는데 도움이 되는 불포화 지방의 양을 늘릴 수 있다.