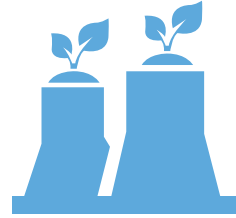


차세대 식물공장

고기능·고부가가치형 식물공장



산업정보분석센터 책임연구원 손종구 | Tel 02-3299-6037 e-mail jkson@kisti.re.kr

■ 식물공장의 변화, 고기능·고부가가치 식물 생산

식물공장은 1950~1960년대에 도입되기 시작하였고, 완전 인공광형 식물공장은 1970년대부터 연구가 이루어지기 시작하였으며, 현재는 식물공장의 3차 붐을 이루고 있다. 구미지역에서는 수직농업이라는 키워드로 주목받고 있고, 중국, 싱가포르, 대만에서도 식물공장이 건설되고 있으며, 한국에서도 사업화를 목적으로 다수의 기업들이 연구 개발을 추진하고 있다.

그러나, 식물공장의 시장은 초기 예상처럼 크게 성장되지 못하였다. 주요 이유로서는 ①고가(제품 가격이 비싸다), ②한정된 생산물(양상추류가 주류), ③고부가가치화 부족(식물공장에서 생산된 작물의 포지셔닝 불명확) 등이 있다.

식물공장은 단위면적당 생산성이 높고, 토지의 유효 이용이 가능하며, 계절에 관계없이 연중 계획 생산이 가능하다는 장점이 있다. 그러나, 실제로는 초기 비용(initial cost)과 운영 비용(running cost)이 매우 높은 것이 현실이다. 또한, 인공광형 식물공장에서 생산되고 있는 식물은 엽채류의 생산·판매가 주류를 이루고 있다. 인공광에서 재배가 이루어지기 때문에 광 요구도가 낮은 엽채류들이 선호된다. 엽채류는 재배 일수가 짧고 다단 재배가 가능하며 재배가 비교적 쉽기 때문에, 실용화 단계에서는 대부분 엽채류들이 판매되고 있다.

식물공장의 장점은 무농약 재배로, 안전하고 씻지 않고도 먹을 수 있다는 장점을 호소하면서 판매하고 있지만, 식물공장에서 생산된 제품은 노지에서 생산된 것보다 생산 코스트

및 제품 가격이 비싸므로 가격 경쟁력이 약한 상황이다. 식물공장을 통해 생산되는 식물은 높은 가격으로 판매될 수밖에 없는 구조이므로, 그 대책으로서 대폭적인 코스트 저감 및 고부가가치화를 추구하여야 하고, 향후 식물공장 산업이 성장·발전해 가기 위해서는 고기능·고부가가치 식물 생산을 통해서 시장을 확대시켜 나갈 필요가 있다. 식물공장을 통해서 생산할 수 있는 고기능·고부가가치 식물로서는 ①유전자변형식물, ②생약식물, ③고기능식물 등이 있다.¹⁾

『차세대 식물공장은 양상추 등 일반 야채를 생산하는 기존 식물공장이 아니라, 주로 유전자변형식물, 생약식물, 고기능성식물 등 고기능·고부가가치 식물을 생산하는 식물공장이다』

최근 식물공장에서 유전자변형을 이용한 의약품 등의 유용 물질 생산이 주목을 받고 있다. 유전자변형식물을 이용한 의약품 원료 및 기능성 식품 소재 등의 유용 물질 생산에 관한 연구 개발이 다수 진행되고 있다.

생약식물은 약용 성분 및 기능성 성분을 갖는 식물로서, 의약품(주로 한방) 원료뿐만 아니라, 식품, 건강 보조 식품, 화장품 분야 등에 다양하게 이용될 수 있다. 최근에는 구미지역에서도 생약을 이용한 제제의 판매가 증대되고 있어, 생약식물에 대한 수요가 세계적으로 확대되면서 가격도 상승

1) 矢野經濟研究所, 高機能・高付加価値型 次世代植物工場の市場展望, 2013. 6.

되고 있다. 생약식물은 식물에 함유되어 있는 주요성분의 함유량이 핵심으로, 식물공장에서는 식물이 함유하는 성분을 안정적으로 생산할 수 있다는 측면에서 식물공장에서의 생산을 검토할 필요가 있다.

최근 식물 유래의 화합물질(phytochemical)의 효과가 주목받고 있다. 예를 들면 폴리페놀, 아이소플라본 등은 암 및 노화 대책으로서 효과가 있다. 피토케미컬(phytochemical)은 식물에서만 형성되는 물질로, 동물을 통해서는 섭취가 불가능하다. 피토케미컬은 식물공장에서 환경 제어를 통해 컨트롤할 수 있어, 식물공장에서 이들 기능성 성분을 증가(고농도화·고함유화)시키는 생육 제어법의 개발이 추진되고 있다.

▶ '유전자변형식물', '생약식물', '고기능성식물'에 따른 주요 업체 동향

유전자변형식물

식물공장을 이용한 유전자변형식물에 의한 유용 물질 생산은 연구 개발 단계에 있고, 아직까지 대부분 실용화되지 못했다. 그러나 유전자변형식물을 생산하기 위한 식물공장 건설 사업은 일본의 카지마건설(鹿児建設), 아사히공업사(朝日工業社) 등이 이미 수행하고 있다. 카지마건설은 산업기술종합연구소(産業技術総合研究所)의 북해도센터 내에 있는 유전자변형 식물공장을 건설하였다. 또한, 아사히공업사도 유전자변형 배 재배 시스템을 건설하였다. 식물공장에서의 유전자변형식물 생산을 위한 연구 개발은 2000년대 중반부터 시작되어 실증 연구 및 승인 심사 단계에 있는 경우도 있다.

민간 기업으로서는 카지마건설, 아사히공업사 이외에도, 농약 회사로서 자사의 딸기 품종을 사용하여 개발을 추진하고 있는 (주)Hokusan, 농약 회사로서 자사의 유전자변형

콩에 관한 기술을 활용하는 연구를 추진하고 있는 Hokko Chemical Industry(北興化工業), 유전자변형 감자 조류인 플루엔자용 경구백신을 개발 중인 Kitasato daiichi sankyo vaccine(北里第一三共), 유전자변형 양상추로 가축용 백신을 개발하고 있는 Idemitsu kosan Co.(出光興産), 토마토를 이용하여 식품용 원료인 감미료 미라쿨린(miraculin)의 사업화를 추진하고 있는 Inplanta Innovations Inc. 등이 있다.

세계적으로는 식물공장을 통한 고기능·고부가가치 식물 생산 중에서 유전자변형식물을 이용한 유용 물질 생산의 연구 개발이 가장 활발하게 진행되고 있다. 유전자변형식물에 의한 의약품 원료 생산(plant made pharmaceutical)에 관한 연구는 특히 구미 지역에서 적극적으로 이루어져 오고 있다. 최근 인류 최초로 유전자변형식물을 이용한 인간용 의약품의 실용화가 실현되었다. 이스라엘의 Protalix Biotherapeutics가 인삼 배양 세포의 안정형질전환체에 의해 고췌(Gaucher)병 치료 약을 개발하고, 미국 FDA 승인을 받아 제품화되었다. 네덜란드의 Synthron사(구, Biolex사)가 부초를 이용하여 C형 간염백신의 생산을 하고 있고, 캐나다의 Medicago사는 담배의 일과성 발현을 통해 인플루엔자 백신을 생산하고 있다. 대표적인 연구 기관으로서는 영국의 KBP(Kentucky Bio Processing), 런던대학, 미국의 애리조나주립대학, 독일의 Fraunhofer 등이 있다.

한국에서는 (주)엔비엠이 식물의 유전자변형을 통해 의학적으로 유용한 고부가가치 단백질을 식물공장에서 생산하는 연구를 하고 있고, 전북대학교, 전주생물소재연구소, LED농생명융합기술센터 등도 식물공장에서의 유전자변형식물 재배 연구를 추진하고 있다.

생약식물

식물공장에서의 생약 재배는 아직까지 실용화 사례가 없고,

▶ 일본의 식물공장에서 유전자변형식물 생산 주요 연구 기관

산업 분야	민간 기업(분야)	대학/연구소
농업	(주)Hokusan(농업), 北興化學工業(농업), Hokuren(농업)	産業技術総合研究所, 千葉大學, 東京大學醫學科學研究所, Suntory生命科學財團, 筑波大學, 大阪府立大學大學院, 奈良先端科學技術大學院大學, 京都大學, 北海道大學 등
엔지니어링, 공조	鹿児建設(종합건설회사) 朝日工業社(공조설비기기), 新菱冷熱工業(공조설비), Daikin工業(공조), 岩崎電氣(조명)	
의약품	北里第一三共vaccine(백신), 田辺三菱製藥(三菱chemical)(의약품/화학)	
에너지	出光興産(에너지)	
기타	日本植生(환경녹화), Inplanta Innovations(수탁연구벤처)	

자료: 矢野經濟研究所, 高機能・高付加価値型 次世代植物工場の市場展望, 2013. 6.

▶ 차세대 식물공장에서의 식물 생산

생약식물인 감초 생산



고기능성식물인 아이스플랜트 생산



몇몇 민간 기업, 대학, 연구 기관에서 생약식물의 재배 시험이 이루어지고 있으며, 대표적인 관련 업체로서는 일본의 카지마건설, 아사히공업사, Yokote precisions industry(横手精工), 미츠비시수지(주)(三菱樹脂) 등이 있다. 생약식물 분야는 아직까지는 식물공장 시스템 판매 사업을 수행하는 기업들이 중심으로 되어 있다.

카지마건설은 의약기반연구소(醫藥基盤研究所), 지바대학(千葉大學)과 공동으로 감초 등의 생약식물 연구 개발을 수행하고 있고, 감초의 인공 수경 재배 시스템을 개발하였다. 아사히공업사는 유전자변형 벼 재배 시스템 및 재배 기술과 병행하여, 생약식물에 관한 연구 개발에도 착수하였다. Yokote precisions industry는 자사 개발 시스템에서 생약식물인 황연(黃連)의 재배 연구를 실시하고 있다. 미츠비시수지(주)는 2010년부터 Greeninnovation Inc.와 공동으로 감초의 연구 개발을 시작하였으며, 식물공장에서의 재배는 코스트가 너무 과도한 것으로 판단하고, 식물공장에서는 양질의 묘목을 단기간에 생산하고 전국 각지에서 노지재배를 위탁하여 생산하고 있다. 한편, 반드시 식물공장에서의 재배를 전제로 하고 있지는 않지만, 생약식물의 재배 연구에 착수하고 있는 업체로서는 신일본제약(주)(新日本製藥), (주)Tsumura, 다케다약품(주)(武田藥品) 등도 있다.

한국에서는 (재)전주생물소재연구소가 완전 폐쇄형 식물공장에서 약용 식물인 인삼 재배에 성공하였고, 유용 물질 함량 증진 연구를 진행하고 있다. LED농생명융합기술연구센터는 식물공장에서 영양 성분을 달리한 상추, 케일 등을 생산하고 있고, 향후에는 감초, 인삼 등 고부가가치 약용 식물을 재배할 계획이다. 아이팜은 전용 식물공장에서 약용 식물인 인삼을 재배하고 있다.

고기능성식물

식물공장에서 식물을 생산하는 기업들은 양상추 등의 영양가 향상 등 품질 개선을 위한 연구 개발을 일차적으로 추진하고 있으며, 고기능성식물로서 기능성 야채는 이미 판매가 이루어지고 있다. 아이스플랜트(ice plant)의 생산 판매를 수행하고 있는 Nihon Advanced Agri Co.와 Yokote precisions industry, 저 칼륨 양상추를 판매하고 있는 Aizufujikako Co.(會津富士加工), 브로콜리 스프라우트(sprout) 및 멀티비타민 B₂ 무순 등의 기능성 야채를 판매하고 있는 (주)무라카미농원(村上農園) 등이 있다.

한국에서는 태연친환경농업기술이 Nihon Advanced Agri Co.와 기술 제휴로 식물공장에서 재배한 고기능성 야채인 아이스플랜트를 2012년 출시하였고, 현대그린푸드가 LED 식물공장에서 특수 기능성 영양 작물에 대한 연구를 진행하고 있으며, (주)신일연구소는 식물공장에서 향당노, 향노화 상추 등의 연구 개발을 검토하고 있다. 경북도농업기술원은 식물공장을 통해 채소의 기능성을 향상시키는 연구를 진행하면서 아이스플랜트 등의 재배 기술을 정립하고 있고, 충북농업기술원은 2013년 3월 식물공장 건립을 통해 기능성 식물과 고급 채소류 등을 개발할 수 있는 체제를 갖추면서 동 분야 연구 및 수익성 높은 사업 모델을 개발할 예정이다.

▶ 차세대 식물공장 생산 제품의 일본 시장 규모, 2015년 23억 엔 전망

식물공장에서 유전자변형식물을 통한 고부가가치 물질의 생산은 아직까지 대부분 실용화되어 있지 않지만, 현재의 약품으로서의 판매 사업을 목적으로 한 프로젝트들이 다수

▶ 일본의 차세대 식물공장의 시장 규모

(단위: 억 엔)

분야	2015년(시장 형성기)	2020년(실용화기)	2025년(이륙기)
유전자변형식물	10	80	120
생약식물	2.3	23	29
고기능성식물	11	69	140
합계	23.3	172	289
비고	· 실용화 시작 · 기능성 물질 생산 기업이 먼저 사업화 개시	· 인간용·가축용 경구 백신의 실용화 · 진입 기업의 증가·다양화 · LED 식물공장의 발전	· 인간용 알츠하이머 백신의 실용화 · 신규 개발 프로젝트들의 실용화

자료: 矢野經濟研究所, 高機能・高付加価値型 次世代植物工場の市場展望, 2013. 6.

진행되고 있다. 일본의 완전인공광형 유전자변형 식물공장은 2015년에 처음으로 유전자변형식물 유래의 고부가가치 물질의 사업화가 실현되어 10억 엔 정도의 시장을 창출할 것으로 예상된다. 2020년에는 제2차 실용화 시기에 접어들면서 80억 엔 규모의 시장으로 확대될 것으로 보인다. 그리고 2025년에는 인간용 경구 백신의 실용화가 실현되면서 120억 엔으로 확대될 전망이다.

식물공장을 통한 생약식물의 생산·판매는 아직까지 실용화되어 있지 않다. 식물공장에서의 생약식물 생산은 필요성이 명확하게 인식되고 있으나, 재배 기술 및 코스트 측면에서 실용화에는 이르지 못하고 있다. 향후에는 한약 이외에도 건강식품, 화장품 등을 타깃으로 한 사업이 전개되어 갈 것으로 예상된다. 일본의 식물공장에서 생산되는 생약식물 시장 규모는 2015년부터 사업화가 시작되어 2015년 2.3억 엔 규모가 되고, 2017년에는 LED 가격이 저하되면서 2020년 23억 엔, 2025년 29억 엔으로 성장될 것으로 예상된다.

『차세대 식물공장 생산 제품의 일본 시장 규모는 2015년을 전후하여 시장이 형성되기 시작하면서, 2015년 23억 엔, 2020년 172억 엔, 2025년 289억 엔으로 성장될 것으로 예상된다』

식물공장에서의 고기능성식물 사업화는 고기능성 야채의 판매와 기능성 야채를 건강식품 원료로서 판매하는 사업은 이미 이루어지고 있다. 고기능성식물은 이미 시장을 형성하고 있는 저칼륨 야채, 기능성 아이스플랜트 이외에도, 양상추, 메론, 토마토 등의 실용화도 예상되어, 고기능성식물의 일본 시장 규모는 2015년 11억 엔, 2020년 69억 엔, 2025년 140억 엔으로 점차 확대될 전망이다.

한국의 경우, 식물공장 생산 고기능성식물 분야는 아이스플랜트 등이 판매되면서 최근 시장을 형성하기 시작하였고, 몇몇 기업·기관에서 연구 개발을 진행하고 있어 향후 시장 규모 확대가 예상되고 있다.

■ 차세대 식물공장 시장 확대를 위해서는 이업종·이분야와의 연계가 필수

식물공장에서의 유전자변형식물 및 생약식물 생산은 아직까지 대부분 실용화에 이르지 못하고 있는 것이 현실이다. 그러나 유전자변형식물은 현재 몇몇 프로젝트들이 진행되고 있어 수년 내 실용화가 실현될 것으로 보이고, 생약식물도 수년 내 실용화를 목표로 몇몇 프로젝트들이 이루어지고 있다. 식물공장에서의 기능성 식물 생산 사업은 기능성 야채를 중심으로 몇몇 기업에 의해 판매가 이루어지고 있지만, 업체 수 증대 및 제품 라인업 확대가 이루어져야 할 것으로 보인다.

유전자변형식물에 의한 의약품 개발은 활발하게 이루어지고 있고, 향후 시험 및 승인 절차를 거쳐서 점차 제품화가 이루어질 것으로 예상되지만, 각국의 법 정비 및 법제화는 아직 불충분한 상황이다. 구미 지역에서는 유전자변형식물에 의한 의약품 가이드라인 초안이 기안되어 있으나 법적 구속력은 없는 상황이다. 따라서 유전자변형식물 관련 의약품의 법 정비는 세계적 중요 과제라고 할 수 있다.

유전자변형식물은 동일 품종이더라도 비유전자조작식물과 동일 조건에서 식물공장에서 기대대로 생육되지 않는 경우도 적지 않아, 목적 물질을 효율적으로 재배하기 위한 조건을 찾아 내야하고, 목적 고부가가치 물질을 고효율로 생산하기 위한 재배 노하우가 시스템 개발에서 요구되며, 식물공장 생

산 유전자변형식물의 경우 2세대 이후에도 계속적으로 고함량을 안정적으로 확보할 수 있어야 한다.

『차세대 식물공장에서의 유전자변형식물 생산은 목적 물질을 효율적으로 재배하기 위한 조건을 찾아 내야하고, 목적 고부가가치 물질을 고효율로 생산하기 위한 재배 노하우가 요구된다. 생약식물은 약용 성분의 안정적 고함유율 확보가 요구되며, 고기능성식물 생산은 재배 기술의 구축, 타깃 성분의 선정, 목적의 기능성 제고 등이 중요한 과제이다』

생약식물은 기본적으로 식물공장에서 재배하기 어려운 부적합한 식물이다. 또한 종자의 발아율에도 편차가 큰 문제가 있다. 양질의 클론 모목이더라도 크기의 편차 저감이 주요 기술

개발 과제이다. 또한, 생약식물은 주요성분의 함유율에 관한 규정이 있어, 약용 성분의 안정적 고함유율 확보가 요구된다.

식물공장에서의 고기능성식물 생산에 있어서는 재배 기술의 구축과 동시에, 타깃 성분의 선정, 목적의 기능성 제고 등이 중요한 과제이다. 기술적으로는 조명과 공조 관련 기술 개발이 주요 과제이고, LED 조명의 저가격화와 LED 조명을 이용한 차세대 식물공장의 실용화가 요구되고 있다. 또한, 초기 비용(initial cost)과 운영 비용(running cost) 저감도 중요 과제이다.

차세대 식물공장은 기존 식물공장보다도 공업, 농업, 의학 등 다양한 분야의 기술이 필요하고, 향후 시장 확대를 위해서는 이업종·이분야와의 연계가 필수적이며 전략적 타깃 기능과 물질 그리고 품종 선택을 해야 할 것이다. **KISTI 2013**

자연에서 배우는 아이디어 세계

호열균 생산 단백질을 산업에 응용

인간의 몸은 37℃ 전후의 체온을 유지하고 있으며, 그 이상으로 체온이 올라가면 열로 인해 몸의 구조가 손상되거나 활동하지 않기 때문에 살아갈 수 없는 상황에 빠지게 된다. 그러나 45℃ 이상에서 생존하는 세균으로 총칭되는 호열균(好熱菌, Thermophile)은 뜨거운 온천이 나오는 곳이나 폐석탄과 같이 자발적인 연소에 의해 열을 내는 지역에서 자주 발견할 수 있다. 그렇다면 지구 상에서 생물이 살 수 있는 온도는 어느 정도일까? 현재까지 가장 높은 온도에서 사는 세균은 미국 매사추세츠대학 데릭 러블리 교수팀이 발견한 '균주 121(Strain 121)'로써 무려 121℃에서 최적의 생육을 한다고 알려져 있다. 이 온도는 실험실에서 균주를 죽일 때 사용하는 가압멸균기의 작동 온도이다.

▶ 1969년 옐로스톤 국립공원에서 발견된 호열균 ▶



자료: <http://ko.wikipedia.org>

이와 같이 높은 온도에서 호열균이 생존할 수 있는 것은 열에 강한 단백질을 생산하고 있기 때문인 것으로 밝혀졌다. 이에 따라 열에 강한 단백질 합성 방법을 통해 고내열성 효소나 백신을 생산할 수 있다면 다양한 산업적 응용이 기대된다. 실제로 내열성 효소를 이용하면 고온에서 작동 가능한 새로운 개념의 생물반응기(bioreactor)를 개발할 수 있다. 예로써 일본에서는 하수처리 시 슬러지 처리 기술의 하나로서 2차 슬러지를 호열균으로 활성화되어 있는 반응조에 보내어 감량시키는 공정을 연구하고 있고, 또한 우리나라에서도 호기성 호열균을 이용하여 가축 분뇨를 고온 발효시킴으로써 해로운 세균이나 유충을 제거하여 유용한 발효물을 생산하는 공정에 관한 연구가 진행되고 있다.