

제 11 장

농업의 새로운 돌파구, 바이오 소재에서 찾다

이주량* · 박지연**

1. 농업의 혁신성장과 바이오 소재

- 1.1. 국가 경제성장과 농업의 성장정책
- 1.2. 농업 부가가치 향상의 새로운 출구-
바이오 소재

2. 농업부문 바이오 소재화 현황 및 변화

- 2.1. 바이오 소재 국내외 시장 동향
- 2.2. 바이오 소재 국내외 정책 현황
- 2.3. 바이오 소재 국내외 주요 사례

3. 바이오 소재와 농업의 상생발전을 위한 제언

- 3.1. 구조적 문제점과 경감노력
- 3.2. 정책 제언

* 과학기술정책연구원 연구위원. jrlee@stepi.re.kr

** 한국농촌경제연구원 부연구위원. jiyunpark@krei.re.kr

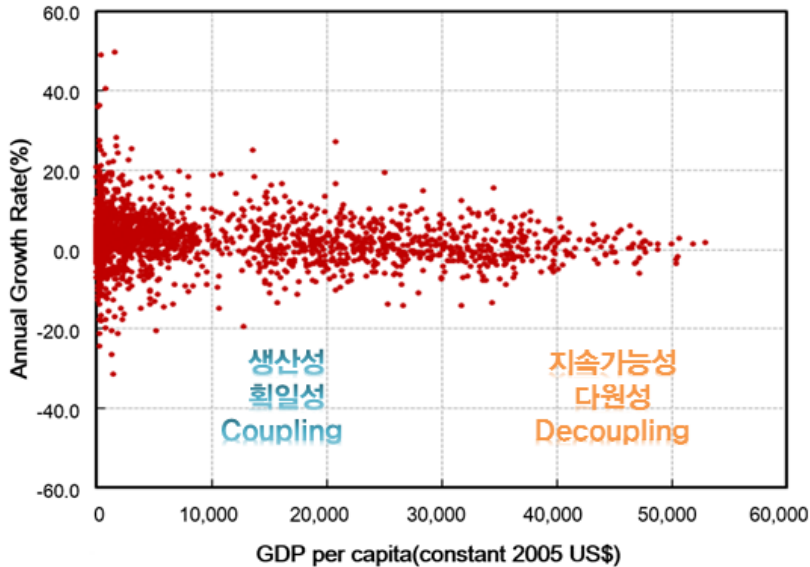
01 농업의 혁신성장과 바이오 소재

1.1. 국가 경제성장과 농업의 성장정체

1.1.1. 국민소득과 농업성장률의 관계

- 선진국의 경험을 보면 국민소득이 늘어날수록 농업 성장률은 제로(0)에 가까워지고 농민의 수는 줄어든다. 농업 이외의 대안이 많아지기 때문이다. 이 시기가 되면 농업 정책에 중요한 변곡점이 오는데 한국이 지금 이러한 시기에 진입하고 있다.
- 일반적으로 국민소득이 2만 5,000 달러 정도 되면 농업성장이 정체되고 저성장이 고착화 된다. 이 시기가 되면 농업에게 요구되는 역할과 지향점도 생산주의에서 다원주의로 점차 옮겨간다.
 - (2만 5,000 달러 이전) 농업에게 요구되는 역할은 충분한 식량의 안정적 공급이다. 생산성 향상은 농업혁신과 R&D 지향점의 핵심이다. 특정작목과 품종에 집중하여 생산성을 높이는 획일화 현상도 확연하다. R&D 투자 포트폴리오가 단순 명확하기 때문에 R&D 투자와 생산성 향상간의 연관관계도 뚜렷하다(Coupling).
 - (2만 5,000 달러 이후) 충분한 식량의 확보가 가능한 선진국에 진입하면서 농업문제가 더욱 다양해지고 복잡해진다. 작목과 품종이 다양해지고 다원적 가치를 공급하는 주요 원천으로서 농업의 역할이 확대된다. R&D 투자의 대상이 크게 확대되고 환경 문제와 농촌 공간 등의 비경제적 가치가 중요해지기 때문에 R&D 투자와 농업의 화폐적 성장 사이의 연관관계가 느슨해진다(Decoupling).

그림 11-1. 국민소득과 농업성장률의 관계 (43개국, 1961~2013년)



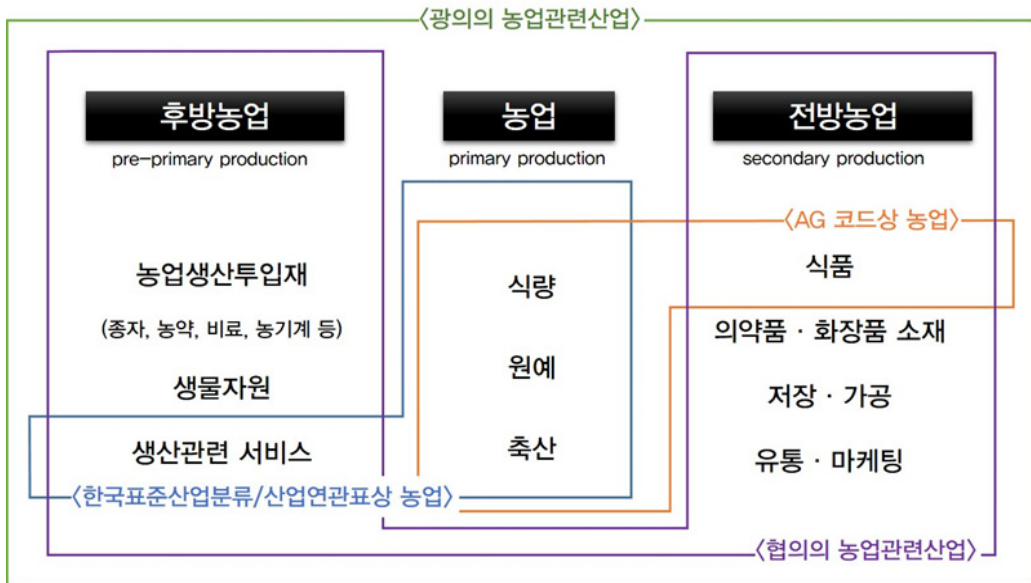
자료: 「한국형 농업성장경로 구명 및 농업생산구조 변화 분석」, p. 44, 유영봉 외(2016)

1.1.2. 제로섬 게임과 플러스섬 게임

- 농업은 제로섬 게임이다. 나누배가 잘 팔리면 성환배가 덜 팔린다. 국민소득이 1만 달러일 때도 하루 3끼, 5만 달러 일 때도 하루 3끼를 먹는다. 농업기술이 발달하여 생산량이 증가하면 농산물 가격과 농가 소득은 오히려 하락할 수 있다. 농업의 이러한 특징 때문에 어느 나라의 농업도 무작정 성장하지 않는다.
- 제로섬 게임인 농업을 플러스섬 게임으로 전환하기 위해서는 이전과는 다른 정책적 접근과 도전이 필요하다. 농업생산 현장을 규모화하고 전문화 하여 농업 생산의 부가가치를 높여야 한다. 그러나 이것만으로는 충분하지 않다. 관건은 농업의 전후방산업과 농업의 관계를 혁신해야 하는 것이다.
- (농업 후방산업) 개도국 농업시절에는 종자, 비료, 농약, 농기계, 농자재 등이 농업생산을 지원하는 보조 산업이다. 그러나 선진국이 될수록 종자, 농기계, 농자재 등의 후방산업은 독립적인 산업으로 중요해진다. 몬산토, 신젠타, 존디어, 구보다 등처럼 선진국의 농업 후방산업 기업들은 농업 생산의 경쟁력을 좌우하는 동시에 그 자체로도 엄청난 수익을 창출한다.

- (농업 전방산업) 농산물이 소비되는 영역인 농업의 전방산업은 농업 생산의 부가가치를 결정하는 출구이다. 이 영역을 발전시키면 농업의 부가가치가 크게 올라갈 수 있다.
 - (식 소재) 식품업과 농업의 연결고리를 정비하여 농업정책을 단순 생산정책에서 포괄적 먹거리정책으로 전환하고 식(食) 다양성, 종(種) 다양성, 생태(生態) 다양성, 지역(地域) 다양성을 높여서 농민소득을 안정적으로 확보할 수 있다.
 - (바이오 소재) 농업과 자연에서 생산하는 바이오 소재는 농업의 부가가치를 높일 수 있는 가장 유망한 대안이다. 의약품, 화장품, 에너지, 산업 소재 등 무궁무진한 잠재력을 가지고 있다. 바이오 소재는 석유화학 소재보다 깨끗하고 환경 부담과 생체 부작용이 적다는 점에서도 매력적이다.

그림 11-2. 농업과 농업관련산업의 범위와 개념



자료: 농업과학기술이 주도하는 선진통상농업 구현 전략, 과학기술정책연구원, 이주량 외(2017)

1.2. 농업 부가가치 향상의 새로운 출구 - 바이오 소재

- 바이오 소재는 농업의 부가가치를 향상 시킬 수 있는 가장 확실한 아웃렛 (Outlet)이다. 농업은 먹거리 생산의 전통적 역할에 더하여 농생명자원에서 유래하는 식의약 소재, 화장품 소재, 향장 소재, 신소재 등으로 외연확대가 가능하다.
 - 과거 석유화학 공장에서 추출하던 소재의 대부분을 가까운 장래에는 농생명 자원 유래 생물학적 공장에서 더 안전하고 효율적으로 추출할 수 있게 될 것이다.
 - 바이오 소재 기술은 고부가 형질전환 동식물 소재 개발, 유전자 변형생물의 안전성 확보, 에너지 절감 및 신재생에너지원 개발 등으로 확대될 수 있다.
 - 농업에서 이용하는 농생명 자원의 범위는 동식물 및 미생물 등의 생물자원, DNA 등을 포함하는 생명정보, 광석 등의 천연물질, 자연경관, 생태 등에 이르는 서비스재 및 공공재에 이르기까지 광범위해 지고 있다.
 - 향후 농업기술과 IT, NT, CT 등의 차세대 산업기술을 융합한 형태로의 신기술 개발 가능성이 빠르게 커지고 있다.

그림 11-3. 바이오 소재의 다양한 원천과 활용분야



자료: 「농생명소재산업화 기술개발사업」 사업설명자료, 농림축산식품부; 농촌진흥청(2018)

- 바이오 소재의 가장 큰 장점은 원물의 부가가치를 높일 수 있다는 것이다. 농가 입장에서 원물을 식소재로 공급할 때 보다 바이오 소재로 공급할 경우 훨씬 높은 가격을 안정적으로 받을 수 있다.

- (종자개발의 예) 기능성 짙인 레스베라트롤 생산 짙을 개발할 경우와 비교하여 기능성 산업 소재인 레스베라트롤을 생산할 경우 부가가치는 1,000배 이상 상승한다.
- (산업소재의 예) 누에에서 천연섬유인 비단을 생산할 때보다 첨단의료용 인공고막 재료를 공급하면 부가가치가 1,000배 이상 상승한다.
- (기능성 소재의 예) 인삼에서 진세노사이드를 농축하고 특이 사포닌으로 변환하여 건강기능성 소재나 의약품 소재로 공급하면 부가가치가 1,000배 이상 상승한다.

그림 11-4. 바이오 소재의 부가가치 배수 (예시)



자료: 차세대바이오그린21 성과보고서(2017)

표 11-1. 바이오 소재 실용화의 경제적 가치 분석

성과명	경제적 가치	사업화 성과 전망(억원/년)	
		최소	최대
세계 최초 탄저병 저항성 고추	○ 국내 고추 종자시장 규모 480억원('14)	1,520	2,113
	○ 종자시장 확대 후 50% 점유 750억원		
	○ 종자수출 효과 330억원		
	○ 탄저병 피해 감소액 1,300억원		
	○ 농약 사용 절감액 100억원		
	☞ 총 2,480억원/년		
레스베라트롤 합성 기능성 벼 개발	○ 국내 기능성 쌀 시장 규모 5,000억원('13) ¹⁾	591	833
	○ 국내 기능성화장품 원료시장 규모 6,320억원('13) ²⁾		
	○ 국내 기능성 쌀 시장 10% 점유시 500억원		
	○ 국내 기능성화장품 원료시장 10% 점유시 630억원		
	☞ 총 1,130억원/년		
천연 레티노이드 대량생산미생물 세포공장개발 및 산업화	○ 세계 레티노이드 시장 규모 1조원('10)	1,037	1,389
	○ 수입대체 효과 300억원		
	○ 수출 파급효과 1,000억원		
	○ 매출액 300억원		
	○ running guarantee 15억원		
	☞ 총 1,615억원/년		
미생물 유래 결핵 치료용 신물질 개발	○ 세계 결핵치료제 시장 규모 7,000억원('10)	2,782	3,774
	☞ 신규 시장 형성시 4,700억원/년		
상자성 이노시톨 포스페이트 복합체 활용 자기공명영상 조영제	○ 세계 조영제 시장 규모 5조원 이상('09)	1,722	2,448
	○ 국내 조영제 시장 규모 3,000억원('10)		
	☞ 수입대체효과 3,000억원/년		
고기능성 항생 펩타이드 코프린신 개발	○ 세계 항생제 시장 규모 15조원('10)	858	1,226
	○ 국내 항생제 시장 규모 1.5조원('14) ³⁾		
	○ 국내 시장 10% 점유시 1,500억원		
	☞ 총 1,500억원/년		
합계		8,510	11,783

자료: 차세대바이오그린21사업 기술수준 및 투자효과 분석, 과학기술정책연구원, 이주량 외(2017)

1) 사이언스타임즈('14.12.19).

2) 한지훈(2015).

3) 식품의약품안전처(2015), 「2015년 식품의약품통계연보」.

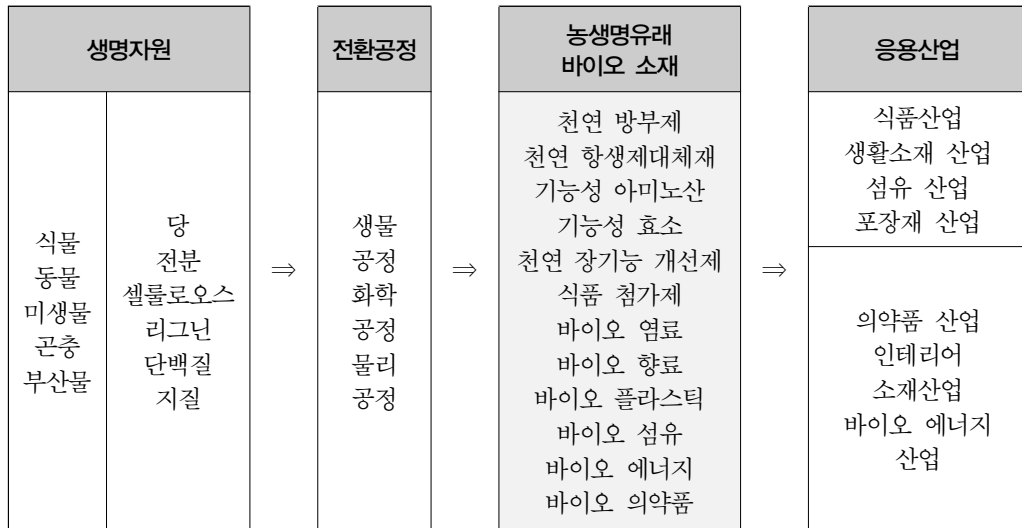
02 농업부문 바이오 소재화 현황 및 변화

2.1. 바이오 소재 국내외 시장 동향

2.1.1. 바이오 소재 산업의 국내외 시장 규모와 트렌드 변화

- 농생명 유래 바이오 소재(Bio-based Materials)는 식물, 동물, 미생물, 곤충 등의 농생명 자원으로부터 얻어지는 천연 또는 바이오소재이다.
 - 대표소재로는 바이오 섬유, 바이오 플라스틱(바이오폴리머), 바이오 용매, 식품 첨가제, 바이오 화학 소재, 바이오 의약품, 바이오 향료, 바이오 염료, 효소, 바이오 연료 등이 있다.
- 농생명 유래 바이오 소재 산업의 가치 사슬은 아래 <그림 11-5>와 같다. 기존의 석유 화학기반의 소재가 생명자원 기반으로 대체되고 있으며, 바이오 기술 발전으로 소재 산업의 판도가 변화하고 있다.

그림 11-5. 농생명 유래 바이오 소재 산업의 가치사슬



자료: 「농생명소재산업화 기술개발사업」 기획보고서 요약본, IPET(2011)

2.1.2. 바이오 소재 산업시장 및 기술발전 전망

- (시장) 바이오 소재 산업은 '16년 9.61조원에서 '20년 16.54조원으로 연 평균 14.2% 성장이 전망되는 블루오션 사업이다.
 - 바이오 소재는 천연물의약품·건강기능식품 등 미래 신성장 동력 산업의 원천이며, 연관 산업 경쟁력 확보의 핵심 수단이다.

표 11-2. 농생물자원 기반 식의약소재 산업 시장 규모 (추정)

단위: 조 원

활용 산업군	산업분야	시장규모				연평균성장률 (2014~2022)
		2014	2016	2018	2020	
식품산업	건강기능성식품	1.49	1.82	2.22	2.71	10.5%
	천연조미료	0.21	0.25	0.3	0.36	10.0%
농산업	바이오농약·비료	0.13	0.15	0.16	0.18	5.7%
	사료첨가제	1.89	2.21	2.59	3.03	8.2%
의약소재산업	천연물 의약품	0.71	1.02	1.47	2.12	20.0%
향장산업	기능성화장품	2.97	4.16	5.82	8.14	18.3%
합계		7.4	9.61	12.56	16.54	14.2%

자료: 식품의약품통계연보(식약처), 바이오산업 실태조사(산업부), 보건산업진흥원 자료 재분류.

- (기술수준) 바이오 소재산업의 기술수준은 현재 최고기술국 대비 76.8%에 불과하며, 격차는 3.7년*으로 기술 추격그룹에 위치하고 있다.

* 분야별 기술격차: 식의약소재 3.3년, 기능성소재 3.6년, 동물자원 신소재 4.1년 (IPET, 2016)

* 국내 바이오 소재 시장규모: ('14) 7.4조 → ('16) 9.61조 → ('18) 12.56조 → ('20) 16.54조

- (투자) 바이오 소재 R&D 투자*는 확대(연평균 8.4% 증가)되고 있으나, 전체 생명공학 투자예산대비(2.38조, '15) 약 4.3%에 불과하다.

- 스타제품을 만들기 위해서는 생명자원의 유용물질 탐색, 과학적 기능성 검증, 표준화 정립을 위한 연구개발(R&D)이 핵심이다.

* 소재 R&D 투자: ('10) 698억원 → ('15) 1,044(연평균 8.4%증가, NTIS)

- (시장 전망) 석유화학 기반에서 농생명자원 기반소재로의 전환 가속화로, '20년 세계 화학소재 시장(2,500억 달러)의 20%를 바이오 소재가 점유할 것으로 전망하고 있다 (맥킨지 보고서).

* 농생명소재 시장 규모: 전체 화학소재 시장 770억 달러의 7%('05) → 1,250억 달러의 10%('10) → 2,500억 달러의 20%('20)

표 11-3. 10대 바이오 소재 산업 현황

구분	주요 내용	소재	관련 산업	주요 소재 기업
천연 방부제	유기합성 방부제 시장 대체 천연 방부제 소재 개발 - 식품첨가 및 화장품 첨가물용 천연방부제 개발 - 농작물보존 및 항균·항진균·항산화용 천연 방부제 개발	생활소재	식품산업, 향장품산업, 생활용품산업, 생물환경산업, 목재산업	센라이더, Giba, P&G, Biocide, Dow
천연 항생제 대체제	무독성(저독성)의 천연항생제 대체제 개발 - 미생물(생균제) 항생제 대체제 - 약용식물(허브) 추출물 항생제 대체제 - 농산물 가공 부산물을 이용한 항생제 대체제	동물건강소재	생물농산업	카길에그푸라나, (주)CJ, (주)미아리산제약, (주)인트론바이오테크놀로지
천연 5昧 소재	천연 기능성 감마조미료 소재 상용화 기술 개발 - 향당뇨비만층치 감미료 소재 생산 기술 확보 - 천연 고감미료(혼합 감미제) 확보	식품소재, 농산업소재	식품산업	(주)CJ, (주)대상, (주)삼양사, 카길에그푸라나, 코카콜라
기능성 아미노산	농축수산업 및 식품산업 부산자원을 원료로 한 유용 아미노산과 펩타이드 개발 - 건강식품용, 화장품용, 사료용 등의 항균/항비만/향당뇨/향치매 기능의 펩타이드 개발	동물건강소재, 농산업 소재, 생활소재, 식품소재	식품산업, 향장품산업, 의약품산업	(주)CJ, 펩트론, (주)코스케이, (주)샘표, (주)바이오FD&C, (주)케어젠, (주)에이앤랩
기능성 효소	고기능 및 신기능 산업효소 개발 - 가축사료용 및 식품첨가물 효소 개발 - 펄프, 세제, 섬유 제조를 위한 효소 개발	농산업소재, 생활소재, 동물건강소재	식품산업, 의약품산업, 바이오에너지 산업	화이자, DSM, Novo-Nordise, (주)CJ, (주)인젝트 바이오효소
천연 장기능 개선제	고기능성 프로&프리바이오틱스 개발 - 고기능성 프로&프리 바이오틱스 확보 - 전통 발효식품 유래 프로프리바이오틱스 확보 - 인체 적합성 최적화 맞춤형 소재 - 유전체 기반 식이섭유 및 올리고당류 개발	식품소재	식품산업, 의약품산업	(주)오리온, (주)CJ제일제당, (주)한국아쿠르트, (주)셀바이오텍, (주)에이엠바이오
바이오 향료	글로벌 수준의 바이오 향료 개발 - 식음료 및 향장품용 바이오 향료 개발 - 융복합용 및 의료용 바이오 향료 개발 - 바이오 공조향료 및 한방 향료 개발	생활소재, 식품소재	식품산업, 향장품산업, 섬유산업, 생활용품산업	(주)서울향료, (주)아로마리인, (주)엔자이텍, (주)한바이오텍
바이오 색소, 염료, 도료	친환경 기능성 색소·염료·도료 기술개발 - 천연염료의 고색산성을 위한 작물자원 확보 - 천연염료의 안정화 및 고수율 추출법 개발 - 천연 염색법 개발(섬유용, 제지용, 목재용)	생활소재, 식품소재	식품산업, 향장산업, 인테리어산업, 섬유/제지산업, 염모제산업	BIOFA, AuroZ, SM, (주)코오롱, (주)삼전황토, (주)세노코, (주)LG화학, (주)허멜코리아, (주)한국신화, (주)이화산업
바이오 플라스틱	범용수지 대체 바이오 플라스틱 소재 개발 - 생분해성(95%이상) 및 재생용 바이오플라스틱 - 식품 포장재용 바이오플라스틱 개발	농산업소재, 생활소재	포장재산업, 전자산업, 플라스틱제조 산업	POlyOne, 네이처웍스, DOW, Cereplast Inc., 노바몽
바이오 섬유	식물생리활용 융복합 섬유소재와 생화학적 공정을 통한 생분해성 그린섬유소재를 개발 - 식물 생리활성물질 활용 융복합 섬유 확보 - 조직재생용 섬유 확보 - 셀룰로오스 기반 응용방사용 그린섬유 확보 - 동식물 단백질/바이오매스 기반의 섬유 확보	생활소재, 농산업소재	섬유산업, 한지산업	듀폰, 비스프, 렌징, (주)한일과학산업, (주)엔바이오, (주)대농, (주)효성

자료: 「농생명소재산업화 기술개발사업」 기획보고서 요약본, IPET(2011).

- **(대내외 여건변화)** 최근 웰빙 트렌드 및 인구 고령화의 가속화로 바이오 소재를 활용한 기능성 식품과 식의약소재 등에 대한 관심이 커지고 있다. 특히 나고야 의정서 발효로 국내산 생물자원 이용의 가치가 높아지고 있다.
 - 2014년에는 건강기능식품 매출액이 2004년 대비 2배 이상 증가했다.
 - 2014년 10월에는 나고야의정서가 발효되었고, 이에 대한 대응으로 국내산 생물 자원의 이용을 확대해야 할 필요성이 증대되고 있다.
- 최근 건강에 대한 관심이 증가하는 사회 문화적 트렌드와 부합하여 농생물 자원 기반 nutraceuticals 및 pharmaceuticals의 개발 및 실용화 관련 시장(건강기능식품, 기능성화장품, 의약소재)이 급격히 성장하고 있다. 특히 이러한 성장추세는 더욱 가속화 될 것이다.

2.2. 바이오 소재 국내외 정책 현황

2.2.1. 해외 주요국 바이오 소재 육성 정책

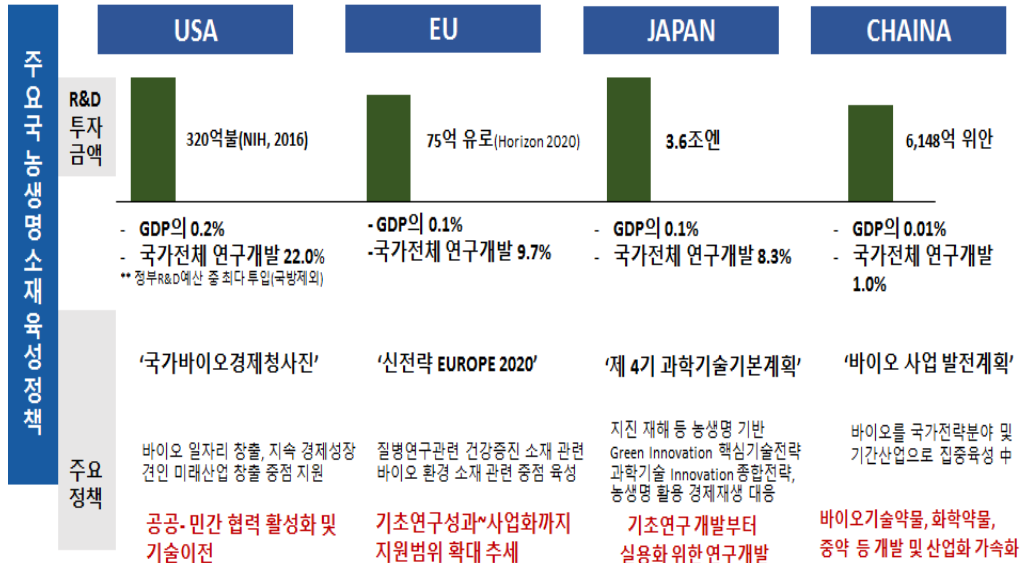
- **(세계 주요국 정책 방향)** 첨단개발기술을 위한 연구지원에서 타산업과의 융합을 통해 '바이오 소재산업을 국가 CORE산업'으로 육성하기 위한 '농생명 유래 바이오 소재 산업의 가속화'를 지원하고 있다.
- **(정책 방향)** 농생명 기반 바이오 소재산업을 중점 추진산업으로 선정하여 집중육성하고 있다.
- **(R&D)** 건강 기능성, 의료 신소재 및 신의약 물질, 바이오화학, 동식물 생산성(식량 자원 해결) 관련 바이오 소재산업 R&D지원을 활성화하고 있다.
- **(산업화)** 미국 Startup America, 일본 <건강의료전략추진법> 등 바이오 소재 연구 개발 이후 실용화, 산업화를 위한 맞춤 정책을 운영하고 있다.

표 11-4. 주요국 바이오 소재 육성정책

구분	미국	유럽(EU)	일본	중국
정부 농생명 투자액	320억 불(NIH, 2016) - GDP의 0.2% - 국가전체 연구개발 22.0% * 정부R&D예산 중 최다 투입 (국방제외)	75억 유로 (Horizon 2020) - GDP의 0.1% - 국가전체 연구개발 9.7%	3.6조 엔 - GDP의 0.1% - 국가전체 연구개발 8.3%	6,148억 위안 - GDP의 0.01% - 국가전체 연구개발 1.0%
농생명 정책 기본 방향	‘국가 바이오경제 청사진’ 일자리 창출, 지속 경제 성장 견인 미래 산업 창출 중점 지원 국가 당면과제(질병, 기후변화) 해결 핵심 수단 인식, 집중지원 질병극복, 바이오매스 R&D집중 (美 농무부)	신전략 ‘Europe 2020’ 질병연구관련 건강증진 소재 및 신약/백신 개발 바이오 폐기물, 에너지로 활용	‘제4기 과학기술 기본계획’ 지진 재해에서의 부흥 재생, Green Innovation 핵심기술전략 과학기술 Innovation 종합전략, 경제재생 대응 제시	바이오 소재 국가전략분야 및 기간 산업으로 집중육성 中 세계 수준 바이오 소재 기술 달성 위한 해외 우수인재 적극 유치 전략
연구 개발	(국립과학재단) 생물학·수학·물리학 인터페이스 연구사 (Bio MaPS) 지원 (바이오기반 소재연구) (농림부) 영양, 비만, 식품안정성, 바이오 연료, 식량안보, 기후 변화 대응관련 농생 명소재 R&D지원 백신 개발, 해충대응/ 작물생산성, 바이오 에너지 연구	(英) 합성생물학, 재생 의학, 농업과학, 바이오 에너지 관련 (獨) 생명과학 연구, 치료약물질개발 (프랑스) 폐기물재활용, 식물 기반 바이오자원 소재 개발 화학 산업, 식물성 원료 사용 2배 증가 (미래형 식품) 농축 단백질 생산 위해 1,500개 일자리, 9만 고용창출(17년)	범국가적 의약품 및 감염병 대응 R&D 추진 (경제산업성) 미생물 이용 고기능품 제조 기술개발 추진 (환경성) 목질바이오 매스, 재생 에너지 R&D (NARO) 일본 농업 식품 산업기술 종합 연구기구 -기능성 농림 수산물· 식품 개발 프로젝트 진행	(바이오산업발전계획) 생물농업, 생물제조, 바이오에너지 등 (생물산업발전정책추진) 하이테크 산업으로 규정, 발전 수행 바이오기술약물, 화학 약물, 중약 등 개발 및 산업화 가속화 농용 바이오제품 및 바이오베이스제품 및 소재 등 바이오 제조업 연간 생산액 7,500억 위안
사업화 지원	Startup America Initiative, 공공- 민간 협력 활성화 및 기술 이전	기초연구성과~사업화 까지 지원범위 확대 추세 바이오클러스터 및 바이오기업 R&D 집중지원	(건강의료전략추진법) 기초연구개발부터 실용화 위한 연구 개발까지 일관되게 성과 실용화 집중 지원	바이오에너지 상업화 발전 촉진 및 바이오 환경 보호소재 및 바 이오 제제 발전 촉진

자료: 「농생명소재산업화 기술개발사업」기획 연구보고서, 농림축산식품부(2017).

그림 11-6. 해외 주요국의 바이오 소재 분야 정책 현황, 2015



자료: 「농생명소재산업화 기술개발사업」기획 연구보고서, 농림축산식품부(2017).

2.2.2. 국내 바이오 소재 육성 정책

- 바이오 및 바이오 소재 산업이 우리나라의 차세대 신성장 동력으로 주목 받으면서 각 부처는 다양한 육성 정책을 펼치고 있다.
 - 주무부처인 농림축산식품부는 <생명산업기술개발사업>, <고부가가치식품 기술 개발> 사업을 운영하고 있으며, 최근에는 <생명산업기술개발사업>의 후속사업인 <농생명소재산업화 기술개발사업>의 예비타당성 조사가 진행 중이다.
 - 바이오 소재 육성의 원천기술 개발을 위한 사업으로는 <포스트게놈 다부처 유전체 사업>이 다부처 사업으로 진행 중이다.

표 11-5. 각 부처의 바이오 및 바이오 소재 육성 정책

부처명	자원분야	비고 (관련전문기관)
과학기술 정보통신부	5대분야* 핵심원천기술확보 *신약개발, 줄기세포, 뇌연구, 유전체, 차세대의료기반조성 바이오헬스의 미래 신성장동력화 및 건강이슈 대응 강화 ★ 주요 대형 사업: 중견연구자 지원 사업, 바이오 의료 기술 개발 사업	한국연구재단 
교육부	기초연구분야의 저변확대 및 우수 연구 인력의 양성 ★ 주요 대형 사업: 이공학 개인연구 기초지원사업, BK플러스21사업	
농림축산 식품부	생명자원을 활용한 기술개발 및 실용화 농식품분야 생명공학 기술개발 및 융합을 통한 산업육성 ★ 주요 대형 사업: 생명산업기술개발사업, 고부가가치식품 기술개발	농림식품 기술기획평가원  농림수산식품기술기획평가원
산업통상 자원부	헬스케어분야 산업화 집중지원 산업생태계 구축 주력 *중점지원분야: 바이오의약, 바이오화학, 융합바이오 ★ 주요 대형 사업: 바이오의료기기산업핵심기술개발사업, 신재생에너지핵심기술개발사업	한국산업기술 평가관리원  한국산업기술평가관리원
보건복지부	보건산업을 미래 성장산업으로 육성 글로벌 헬스케어 시장선점 질병극복 R&D(감염병, 만성질환, 맞춤형예방의학) ★ 주요 대형 사업: 보건의료기술연구개발사업(질환극복, 첨단의료), 한의약선도기술개발사업	한국보건산업진흥원  한국보건산업진흥원 Korea Health Industry Development Institute
환경부	환경생명공학분야로 청정바이오소재 개발 생물을 이용한 폐기물 저감 및 오염물질 정화기술연구 폐자원 및 바이오매스의 에너지화 기술 연구 ★ 주요 대형 사업: 차세대에코이노베이션사업, 생활공감환경보건기술개발사업	한국환경산업기술원 
해양수산부	해양수산생명자원확보 및 자원을 활용한 신소재, 바이오 에너지 등 원천기술 및 산업화기술 개발 ★ 주요 대형 사업: 해양수산생명공학기술개발사업, 수산실용화기술개발	한국해양과학기술진흥원  KIMST 한국해양과학기술진흥원
다부처사업	범부처신약개발사업(미래창조과학부, 산업통상자원부, 보건복지부) 골든씨드프로젝트(농림축산식품부, 해양수산부, 농촌진흥청, 산림청) 포스트게놈다부처유전체사업(보건복지부, 미래창조과학부, 농림축산식품부·농촌진흥청, 산림청, 산업통상자원부, 해양수산부)	

자료: 2016 한국 바이오의 소개와 현황, 생명공학정책연구센터(2016).

- 바이오 소재 산업 육성의 핵심 인프라는 생명유전자원이며, 각 부처별 근거 법령에 따라 분야별로 생명자원을 관리하고 DB시스템을 구축하여 자원정보서비스를 제공 중이다.
 - 농촌진흥청이 운영하고 있는 <농업유전자원센터>는 세계 5위권의 유전자원 수를 보유하고 있다.

표 11-6. 부처별 생명유전자원 관리체계

구분	근거 법령	자원관리시스템 구축
농림축산식품부	- 농수산생명자원의 보존·관리 및 이용에 관한 법률	생명자원정보서비스 (BRIS)
과학기술 정보통신부	- 생명공학육성법 - 생명연구자원 확보·관리 활용에 관한 법률	국가생명연구자원 정보센터(KOBIS)
환경부	- 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률	국가생물자원 종합시스템(KBR)

자료: 「농생명소재산업화 기술개발사업」기획 연구보고서, 농림축산식품부(2017).

2.3. 바이오 소재 국내외 주요 사례

2.3.1. 국내 바이오소재화 사례

- **(농촌진흥청의 누에를 활용한 의료용 생체소재)**⁴⁾ 농촌진흥청은 차세대 바이오그린21 사업을 통해 누에를 활용한 3D 프린팅 의료용 생체소재를 개발하였으며, 이로 인하여 수술 유착 방지제, 치과용 차폐막 등 300억 원 이상의 수입대체 효과와 전문 의료용 소재를 생산하는 잠사농가 육성으로 양잠산업의 기반 강화가 예상된다.
 - 최근 3D 프린팅 기술의 의료용 소재 개발기술이 고부가가치 산업으로 각광받고 있으며, 2013년 기준 3D 소재 의료용 생체 합성 재료의 세계 시장규모는 1조 달러에 달한다. 따라서 BT 융복합 기술을 응용한 실크의 고부가 가치화로 양잠산업의 신성장 동력을 확보하기 위하여 농촌진흥청은 누에 실크소재를 활용한 3D프린팅 기술 및 다양한 의료용 소재 개발을 추진하여 왔다.
 - 의료용 소재 생산을 위하여 누에고치에서 생산되는 실크 피브로인을 이용하여 의료용 3D 프린팅을 위한 원료 제조 기술의 원천 기술을 확보하고 3D 프린팅 소재로 실크를

4) 본 부분은 「2017년도 국가연구개발사업 자체평가 보고서-차세대 바이오그린 21-」(농촌진흥청, 2017)을 요약·정리하였음.

활용하여 국제경쟁력 확보가 가능한 다양한 생체 의료소재(수술 유착방지제, 치과용 차폐막, 외과수술용 끈고정판) 제작 및 실용화에 적용할 수 있다.

- **(전남 장흥의 멸꼴 기반 류마티스 관절염 치료제)** 전남 천연자원연구센터가 멸꼴을 소재화한 관절염 신약물질 기술 개발에 성공하여, 제약회사인 영진약품에 기술을 이전하였다. 또한 장흥군은 영진약품, 전남천연자원연구센터와 멸꼴나무 지역특화를 위한 업무협약(MOU)을 체결하고 멸꼴나무의 보급, 재배 관리 및 수매, 천연물의약품 원료의 안정적 수급, 지역농가의 안정적 재배 등에 관하여 협력하기로 함에 따라(매일일보 2015.6.2.) 기업은 우수한 품질의 원료를 안정적으로 수급이 가능해지고 농업인 또한 안정적인 농가소득 확보가 예상된다.
 - 지자체의 지원 아래, 기술이전 조건으로 장흥에 제약공장을 설립하고 신약생산에 필요한 멸꼴은 장흥산 멸꼴을 사용하기로 하였는데, 영진약품과 재배계약을 한 정남진멸꼴영농조합은 약 6ha에서 멸꼴나무를 재배하고 있으며 조합 소속의 15개 농가가 가구당 약 2천만 원을 연소득 올리고 있는 것으로 나타났다(한국 농어민 신문 2016.9.29.).

2.3.2. 해외 바이오소재화 사례⁵⁾

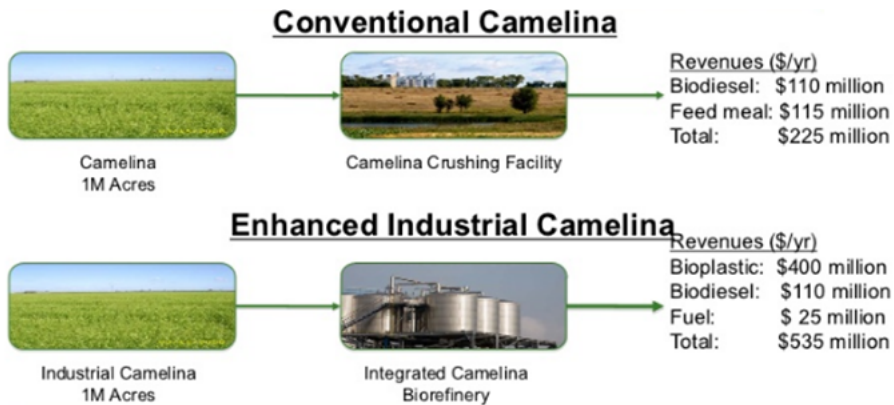
- **(니코케미컬의 슈가 스쿠알렌)** 니코 케미컬(Nikko chemical)은 1948년에 설립된 화장품 원료 전문 기업으로, 대표 제품으로는 사탕수수 찌꺼기를 소재화한 “Nikkol 슈가 스쿠알렌”이 있다.
 - “지속 가능한 소재”의 개발을 목표로 고갈가능성 소재 및 식량원료를 배제한 산업폐기물을 활용한 사례로 석유화학 대체품 개발로 유명한 미국의 Amyris사와 2011년부터 제휴하여 기술개발 및 상업화에 힘쓰고 있다.
 - 사탕수수 버거스(찌꺼기)를 활용한 Nikkol 슈가 스쿠알렌은 친환경 소재로 알려져 있으며, Nikkol 슈가 스쿠알렌 1톤 생산시 CO2 배출 약 3톤을 감소시키는 효과가 확인되었다(야노경제연구소 2014).
 - Nikkol 슈가 스쿠알렌은 환경 친화적이면서 기존의 상어 스쿠알렌과 필적한 효능, 향상된 감촉과 사용감 등 많은 장점을 가지고 있다.
- **(메타볼릭스의 바이오플라스틱)** 메타볼릭스(Metabolix)는 1992년에 설립된 회사로 미생물을 응용하여 바이오 플라스틱 및 관련 화학소재를 생산하는 업체로 식품 및 비

5) 본 부분은 「농업부문 바이오소재 산업의 현황과 과제」(박지연·안현진·박영구, 2017)을 요약·정리하였음.

식품산업의 각종 제품 제조에 사용되는 PHA(폴리히드록시알카노에이트) 기반 수지를 생산하고 있으며 2010년부터 식물자원을 활용한 바이오 플라스틱 원료 생산에 주력해 왔다.

- 2014년 미국 Agriculture-Agriculture and Food Research Initiative, National Research Council of Canada Industrial Research Assistance Program(NRC-IRAP), 그리고 미주리 주의 Donald Danforth Plant Science Center의 지원을 받아 Oil seed 작물인 카멜리아에서 추출되는 생분해성 플라스틱인 PHB 함유량을 약 13.7%를 높이는 연구에 성공하는 등 바이오 플라스틱 생산에 식물자원 활용 가능성을 점차적으로 높여가고 있다(Meghna 외 2015).
- 카멜리아는 비교적 다양한 범위의 토양에서 잘 자라기 때문에 재배 적합지역(미국 북부 및 캐나다)의 기존 농가와의 협력을 통해 효과적인 작물 재배법을 고안하면 지역 농민소득 증가와 일자리 창출을 기대 할 수 있을 것으로 예상된다(Biomass Advisor 2010).

그림 11-7. 카멜리아의 바이오플라스틱 소재화를 통한 농가소득 비교



자료: Guzman(2011) (<https://www.slideshare.net/Greenchemblog/metabolix-presentation>: 2017.5.13.)

03 바이오 소재와 농업의 상생발전을 위한 제언

3.1. 구조적 문제점과 경감노력

3.1.1. 바이오 소재와 농업연계의 문제점

- **(부가가치 분배)** 바이오 소재로 발생하는 부가가치의 대부분이 원물보다는 제조 및 가공공정에 집중되기 때문에 농민에게 분배되는 부가가치 귀속분이 부족하다.
 - 농민과 바이오 기업의 부가가치 분배가 (농민 1 對 바이오 기업 99) 인 경우는 일반적이고 1대 999가 되는 경우도 있다.
 - 부가가치 분배의 기준은 시장에서 결정되는 사안으로, 시장 외부에서 개입하거나 조정하는 것은 현실적으로 불가능하다.
- **(안정적 원료 공급 체계 구축)** 바이오 소재를 위한 원물의 안정적인 공급을 위해서는 주산지를 형성하고 생산 농가를 조직화해야 한다. 그러나 시장의 불확실성, 시장 형성시기와 원물 공급 체계 구축 시기의 불일치로 원물 수급이 불안정하다.
 - 백수오와 하수오 혼입사건 역시 급격한 시장 확대로 원료 공급이 부족하여 발생하였고, 결국 관련제품과 시장전체가 무너졌다.
 - 바이오 소재의 원료가 되는 특용작물은 연작장애로 인해 휴작기간이 필요하거나 대체지 확보가 필수인데, 농민입장에서는 고비용 고위험을 부담해야 한다.
 - 바이오 소재는 비필수재인 경우가 많고 소비자가 선택할 수 있는 대체재도 많아서 소비자 선택이 쉽게 변하기 때문에 농민 입장에서는 판로가 불안정하다.
- **(생물 표준화의 한계)** 생명유래 바이오 소재는 생물로서의 한계 때문에 석유화학 소재 보다 표준화의 난이도는 높고 소요비용은 크며 범위도 넓다.
 - 표준화는 원료표준화, 재배방법표준화, 성분표준화, 가공표준화, 표시표준화 등 바이오 소재 생산을 위한 전 과정에서 발생한다.
- **(Me-too 전략 및 중복투자)** 바이오 소재 시장은 양적인 측면에서는 급격히 증가하고 있으나, 대부분 비슷한 식의약소재를 바탕으로 제품을 개발하여 me-too 전략 및 중복 투자를 하고 있는 것으로 판단된다.
 - 소재 뿐 아니라 관련 제품에 대한 기술력 역시 기존의 기술에서 크게 벗어나지 못한

me-too 전략으로 일관했기 때문에, 가능성이 우수한 농생물자원 유래 기능성 소재에 대한 실용화가 초기 기존 소재 실용화 개발과 차별성을 갖지 못하는 실정이다.

3.1.2. 바이오 소재화 문제점 경감노력 사례⁶⁾

○ 인삼

- **(휴작기간 단축)** 재배면적(초작지) 감소에 따른 연작장애 대응이 시급하여 이를 위해서 재작소요(휴작) 기간의 단축이 진행 중이다.
 - 단축 목표는 2016년 현재 10년에서 2017년에는 5년, 최종적으로 2020년에는 2년 까지 단축하고자 한다.
- **(친환경 안정생산)** 친환경 안정생산을 위한 공정육묘 및 연작장애 경감기술이 개발 중이다.
 - 유기농 묘삼의 생산 공정육묘 면적은 2015년 1.2ha에서 2016년 3.8ha, 2017년에는 6.5ha로 확대 중이다.
 - 연작장애 경감을 위한 인삼뿌리썩음병 검정기술의 실용화 및 보급을 연구 중이다.

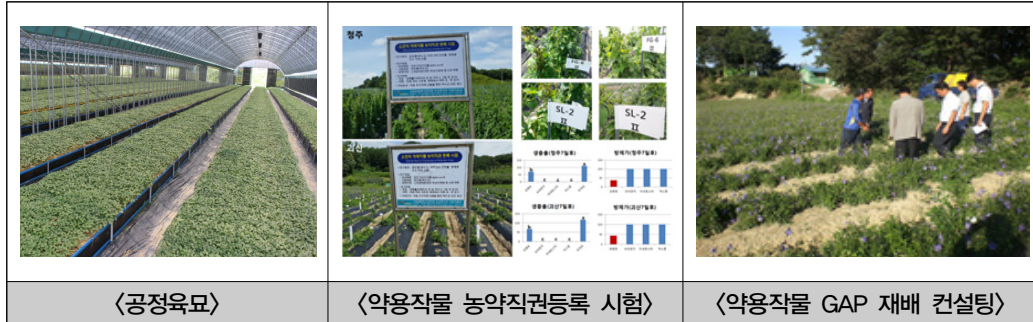
○ 특용작물

- **(주산지 조성)** 주산지 조성과 안정생산기술의 개발이 진행 중이다. 기후적응성 평가를 통해 적지를 선정하고, 연작장애 해결 및 윤작체계 개선 등을 통해 원료 생산의 안정화와 산업화를 촉진시키고자 한다.
 - GAP 인증면적은 2014년 1,112ha(재배면적의 7.4%)에서 2022년 4,508ha(재배면적의 30%)로 증가하였다.
 - 주요 약용작물의 GAP 표준재배기술의 개발은 GAP 지침으로 2015년 60작목에서 2016년에는 63작목, 2019년 73작목, 2022년에는 80작목(누계)까지 이루어질 예정이다.
- **(안전 생산)** 직권등록시험을 통한 등록농약 확대가 진행 중이며, 약용작물의 친환경 저투입 유기재배 기술을 개발 중이다.
 - 농약 등록 품목을 2015년 기준 23작목에서 2017년 26작목, 2018년에는 35작목(누계)까지 증가시킬 예정이다.

6) 본 부분은 농촌진흥청 국립원예특작과학원 업무보고자료 (2017) 에 기초하여 작성되었음.

- 2015년에는 8작목만이 유기생산체계 갖추고 있지만 2017년에는 13작목, 최종적으로 2022년에는 18작목(누계)까지 체계를 구축할 예정이다.

그림 11-8. 농업과 바이오소재의 상생발전을 위한 활동



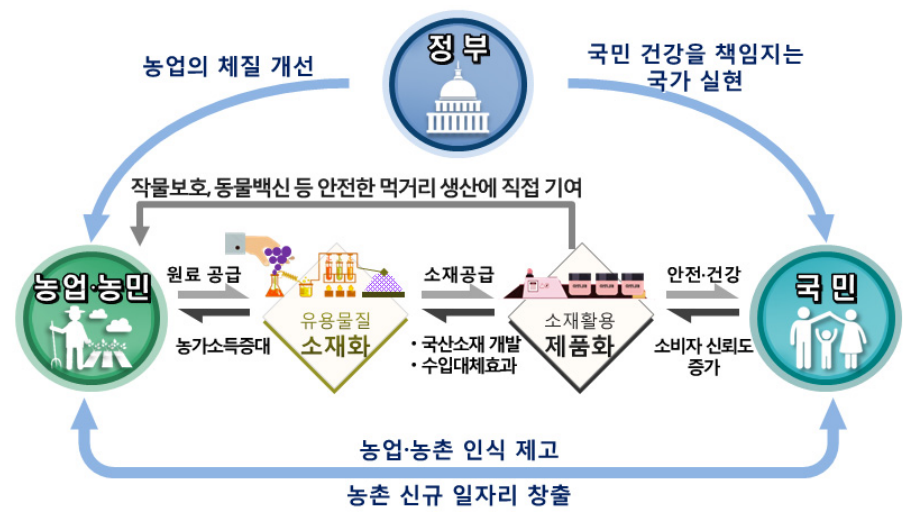
자료: 농촌진흥청 국립원예특작과학원 업무보고자료(2017)

3.2. 정책 제언

3.2.1. 농가 부가가치 분배율 확대

- 시장 메커니즘 안에서 원물을 생산하는 농민의 교섭력과 협상력을 확대하는 방안을 강구해야 한다.
 - 농가는 주산지 형성, 안정·안전생산 체계 확립, 농가 가공도 확대, 생산자 지분확대, 수출시장 확보 등으로 부가가치 분배의 균형점을 이동시킬 수 있다.
 - (주산지 형성) 같은 작목을 재배하는 농민이 지역적, 경제적으로 공동체를 이루면 교섭력과 협상력을 높일 수 있다. 특용작물은 식량작물에 비하여 지역특화적이기 때문에 주산지 형성이 용이하다.
 - (안정·안전 생산체계 확립) 공정육묘 확대, 연작장애 경감법 개발, 재배법 확립, 스마트 재배시설 투자 등으로 안정·안전 생산체계를 확립하여 수급 변동성을 줄이고 가격 안정성을 높여야 한다.
 - (농가 가공도 확대) 원물 상태로 공급하는 것은 최대한 지양하고, 가치사슬의 후단 까지 가공도를 확대하면 농가의 부가가치 분배율을 높일 수 있다. 이를 위해서는 시설 투자와 기술력 확보를 위하여 농가연합체의 공동 대응노력이 필요하다.
 - (생산자 지분 확대) 원물을 공급하는 농가들이 조합을 이루어 최종 산물을 생산하는 B2C 기업으로 발전시키거나 지분을 확보하여 수익배분에 적극 참여한다.

그림 11-9. 소재기업의 수익이 농가 소득향상으로 이어지는 선순환 구조



자료: 농생명소재산업화 기술개발사업 사업설명자료, 농림축산식품부; 농촌진흥청(2018)

3.2.2. 원료 소재 발굴과 표준화

- 국내산 원료 개발의 품목이 제한적이기 때문에 경쟁력 있는 원료의 개발도 지속해야 한다. 개별 인정된 기능성 원료 등록 약초를 보면 백수오, 황기, 강황, 도라지, 숙지황 등 25종이다. 국내산 건강기능식품의 기능성 원료 개발을 확대해야 할 것이다.
- 시장 반응이 좋은 스타 소재를 위해서는 종자·종묘 생산 및 보급 일관화 시스템 체계를 구축하고 채종포 운영 개소수를 확대하여 표준화된 품종을 공급하여야 한다.
- 소면적의 품종 미개발 작목은 표준품종(28작목)을 육성해야 한다. 이를 위해서는 자원수집→집단양성→개체선발→순계분리→생산력 검정을 거쳐 표준 품종 출원의 과정을 거쳐야 한다.
- 생력재배기술 및 주요 병해 예찰법 및 방제 시스템을 개발하여 생산비를 절감해야 한다. 글로벌 GAP 인증 기준 설정을 위한 위해요소 관리기술의 개발 등 유기농 재배 기술을 개발하여 원물의 안전성을 향상시켜야 한다.
- 표준화된 재배법을 개발하여 거점농가(Leading Farm) 육성을 통해 지속적으로 개량하며 거점 농가를 통해 표준 재배법의 자발적인 확산을 유도하여야 한다.
- 소비자 신뢰 확대를 위한 안정 생산기술을 개발하고, 그에 대한 과학적 표준화를 정립 및 효능을 입증해야 한다.

3.2.3. 국가 연구개발 사업의 실용화 강화

- 농생명 자원 유래 바이오 소재 관련 시장의 빅점프(Big Jump)를 위해서는 첫째, 단순한 양적 증가, 둘째, 기존 기술의 me-too 전략에 의한 차별화 부재, 셋째, 글로벌 진출이 가능한 신소재 고부가 가치의 선별된 기능성 소재 발굴 미흡, 이 세 가지 문제에 대한 극복이 절실히 요구된다.
 - 유사 중복기술을 통한 제품 개발 보다는 고순도 · 고품질로 고부가가치화를 추구하거나, 고효율성을 가진 식의약소재 개발기술이 필요하다. 특히 고순도 · 고품질의 식의약소재 생산 기술을 확보함으로써 기존 제품 내 유효성분 함량이 높은 식의약소재의 활용성을 높이고, 최종 생산비용을 절감하여야 한다.
- 산업 현장의 unmet needs(고생산성, 고효율 요구)에 부응할 수 있는 차별화된 기술 개발이 필요하다.
- 단기간(1~2년) 내 즉시 산업현장에서 제품화 되어 경제적 파급효과를 나타낼 수 있는 사업화 최종 단계의 연구 분야인 임상시험 등을 집중 지원함으로써 연구 성과의 실용화를 촉진해야 한다.
 - 전임상 연구 결과가 확보된 식의약 소재의 경우, 동물 수준에서의 효능 및 안전성은 입증되어 있다. 따라서 임상연구의 조속한 진행은 식의약소재의 실용화를 앞당길 수 있는 장점을 가지고 있다.
 - 각 농생명 자원의 소재화 단계별로 최적화된 BT기술을 접목함으로써 최종적으로 고부가가치 제품화가 가능하도록 체계화된 연구를 추진하여야 한다.
- 기능성 식의약소재의 인허가 획득의 과정이 최종 관문이라 할 수 있으나, 통상 임상 시험을 위해 CRO⁷⁾ 혹은 CMO⁸⁾를 활용하는 단계에서 가장 많은 R&D 비용이 소요 되므로 전폭적인 정책 지원이 필요하다.
- 기능성 소재의 개발 단계에서 부터 많은 R&D 예산이 투입되었음에도 불구하고, 최종적으로 지원 예산부족으로 임상 시험 연구를 진행하지 못하여 기 투입된 연구 예산과 성과가 사장되는 경우를 방지하기 위해, 일정한 요건을 갖춘 식의약 소재개발 연구과제에 대해 국가 지원으로 임상 시험을 전담해주는 정부 운영 비영리 CRO & CMO 조직의 신설이 필요하다.
- 건강기능식품의 시장은 국내외로 확대되고 있으나, 현재 국내시장의 한계를 극복

7) CRO(Contract Research Organization) : 품질 · 기능성 분석, 임상시험 등 전문연구대행 조직

8) CMO(Contract Manufacturing Organization) : 시제품 생산, OEM 등 위탁생산 전문 조직

하는 것이 우선이다. 건강기능식품의 수입 현황은 2010년 6,555건에서 2014년에는 8,520건으로 30%나 상승했다. 국내산 원료 개발의 품목이 제한적이기 때문이다. 따라서 여러 부처 간의 협업을 통해 경쟁력 있는 원료의 개발이 필요하다. 현재 개별 인정된 기능성 원료 등록 약초를 보면 백수오, 황기, 강황, 도라지, 숙지황 등 25종이다. 앞으로 인삼특작 건강기능식품의 기능성 원료 개발을 확대해야 할 것이다.

