2022년 식품R&D 이슈 5

식품가공 분야의 생물전환에 관한 동향 보고서

발효 및 효소 활용 생물전환을 통한 식품소재의 고도화

IPET 농림식품기술기획평가원

CONTENTS

01 생물전환은 무엇인가? 1

1. 생물전환은 무엇인가? 1
2. 생물전환 기술개발 배경 및 필요성 1
3. 생물전환의 장점 3
4. 생물전환의 역사 3
5. 생물전환 산업의 분류 5

02 발효란? 8

1. 발효의 정의 8
2. 혐기성 발효 9
3. 발효 공정의 유형 11
4. 발효와 부패 12
5. 발효 산업의 분류 13
6. 발효 산업의 현황 13
7. 국내 발효 산업의 현황 16

03 효소를 통한 생물 전환 18

1. 생물전환 기술의 전망 18
2. 생물전환 기술에서의 효소 반응이 가지는 이점 19
3. 생물전환 기술의 현황 19
4. 생물전환 특허 건수 20
5. 생물전환 기술의 전망 22

CONTENTS

04 효소를 통한 생물전환의 산업과 아이템 23

1. 차가버섯 추출물 23
2. 인삼 사포닌(진세노사이드) 25
3. 효소분해 단백질 29
4. 저분자 콜라겐 30

05 참고문헌 34

01 생물전환은 무엇인가?

1. 생물전환은 무엇인가?

21세기에 접어들면서 물질적 풍요를 주도하고 있는 화학산업은 원료 화학물질을 다른 물질로 전환하여 부가가치를 올려 오늘날 대규모 산업으로 급속히 성장하였다. 따라서 화학산업의 급속한 발전은 전자, 기계, 소재, 화장품 소재산업 등 다양한 분야의 산업발전에 획기적으로 기여하고 있다. 그러나 화학산업은 화학 공정에 이용되는 다양한 물질과 중간 혹은 최종생산물이 인간의 건강을 위해하며 환경에 나쁜 영향을 주는 사례가 증가하기 시작하였다. 또한 에너지를 많이 사용하며, 생산 과정에 발생하는 각종 대기 오염이나 폐수를 다량 발생시키는 부산물이 발생하면서 이를 해결하기 위한 방안으로 생물전환이 등장하였다.

생물전환(Bioconversion)은 미생물이나 효소와 같은 생체 촉매가 가진 기능을 이용하여 기존 소재를 변환시키는 기술을 말한다. 즉 식품에 미생물이나 효소와 같은 생체 촉매를 넣어 기존 소재에 다양한 기능이 부가되어 인간과 환경을 배려한 신기술을 통하여 식품 소재를 고도화하는 것을 말한다. 영어로는 바이오컨버젼(bioconversion) 외에 바이오트랜스포메이션(biotransformation)도 생물전환의 의미로 함께 사용된다.

생물전환 기술에 식품 소재 혹은 생체 촉매의 다양한 기능을 활용하면, 기존의 식품 소재와는 다른 새로운 유형의 의약품, 식품, 화학제품 등을 생산할 수 있게 된다. 따라서 생물전환 기술은 동물과 식물, 미생물 등에서 두루 활용되고 있지만, 그 중 미생물이 관여된 식품 분야의 발전이 두드러지게 발전하고 있다. 특히 생물전환은 생체의 생리대사 기능을 세포의 수준에서 또는 생체 촉매인 효소의 수준에서 활용하여 유용 물질을 생산하는 것으로 최근 생물산업을 구성하는 가장 주요한 것 중에 하나라고 할 수 있다. 최근 생물전환 기술은 유전체학, 대사공학, 합성생물학 등의 정보와 기술이 식품소재의 고도화에 적용되면서 다양한 부가가치를 창출하고 있다.

우리 인체의 생리 흡수 이용률은 분자량의 문제 또는 물질 극성의 문제로 인하여 생체 흡수율 및 생리 활성도가 미약한 상태로 존재한다. 이를 타개하기 위하여 현재 전통적인 생물전환 방법인 발효 기술을 활용한 생체 흡수율 및 생리 활성도를 높이기 위한 노력이 시도되고 있다. 특히 풍미가 좋아지는 현대식 발효 방법과 재현성이 우수한 효소 생물전환 기술을 접목하여 식품소재 고도화 기술이 개발되어 지고 있다.

2. 생물전환 기술개발 배경 및 필요성

1) 건강과 웰빙으로 인한 생물전환 식품에 대한 관심 증가

- 시장조사기관 패키지드 팩트에 따르면 미국 성인의 약 25%가(Packged Facts) 많은 양의 프로바이오틱스를 포함한 식품 및 음료를 찾고 있다.*

* 프로바이오틱스는 프로와 바이오틱스의 합성어로 Pro는 ~ 를 위한이라는 의미이고 Biotics는 생명을 뜻함. 세계보건기구는 프로바이오틱스를 건강에 좋은 효과를 주는 살아있는 균으로 정의하고 있다.
- 특히 밀레니얼 세대가 주 소비층으로 이들은 X세대나 베이비부머 세대보다 더 많은 관심이 있는 것으로 조사되었다.

- 글로벌 제조업체 트리트社는 2019년 음료업계가 주목해야 할 주요 트렌드 가운데 하나로 프로바이오틱스를 선정하였다.
  - 김치, 요구르트, 크라우트(독일식 양배추 절임), 케피어(발효유)와 같은 발효식품이 세계적인 건강식으로 꼽히고 있다.
  - 북미와 유럽 시장에서는 콤부차와 같은 발효식품이 인기를 얻고 있고 기존 음료, 업체들도 프로바이오틱스를 넣은 신제품을 연이어 출시하고 있다.

- BCC 리서치는 전 세계 프로바이오틱스 시장이 2014년 320억 달러에서 2020년까지 500억 달러 규모로 성장할 것으로 전망하였다.

2) 생물전환 식품에 관한 관심이 전 세계적으로 확대

- 2020년 5월 프랑스 몽펠리에 대학의 명예교수 장 부스케가 발효 채소를 섭취하면, 코로나 감염 확률을 낮출 수 있다는 내용의 논문을 발표하였다.
  - 해당 논문은 “발효 채소류를 섭취할 시 면역력이 증진되며, 코로나19 바이러스가 폐와 결합을 시도할 때 필요한 효소 ACE2의 수치를 낮춰준다” 라고 주장하였다.

  * 최종 연구 결과로서 발효 채소류의 전국 평균 소비량이 1g증가할 때마다 코로나19 치사율이 35.4% 감소할 것 이라고 분석하였다.

- 해당 논문을 계기로 김치를 비롯한 발효식품의 건강증진 효능이 재조명되었다.
  - 특히 발효 채소류인 김치 사우어크라우트에 관한 관심이 증가하며 김치 수출액이 급증하는 등 전 세계적으로 수요가 확대되고 있다.

3) K 푸드의 세계화 기회

- 최근 세계음식의 트렌드는 발효식품이 주도하고 있어, 미국은 물론이고 유럽 등지에서도 한국의 고추장, 일본 기꼬망 간장, 홍콩 XO 소스 등 동양의 다양한 소스에 대하여 거부감 없이 받아들이는 추세가 되었다.

- 특히 K 푸드 열풍과 코로나19로 인한 식생활 변화 속에 대표적인 전통 발효식품인 김치와 장류의 세계시장 확대 가능성이 커지고 있다.
  - 2020년 9월 말 기준으로 우리나라의 김치 수출액은 지난해 같은 기간보다 38.5%, 장류 수출액은 31% 증가하였다.

3. 생물전환의 장점

생물전환을 활용하면 다음과 같은 장점이 있다.

- 생물전환은 기존에 사용해왔던 화학 촉매가 매개하던 화학반응과 다르게 생물 촉매에 의한 효율성이 높아서 공정시간과 비용을 절감할 수 있다.
- 생물전환은 유기용매를 포함하는 독성물질을 사용하지 않으므로 친환경적 공정을 구축할 수 있다.
- 생물전환은 반응과정에 독성물질을 사용하지 않으므로, 신체에 안전한 결과물을 생산할 수 있다.
- 생물전환은 천연의 미생물이나 효소를 사용하기 때문에 에너지 소모가 거의 없어 생산 과정에 에너지가 절약된다.
- 생물전환은 생산 과정에 발생하는 각종 대기 오염이나 폐수를 다량 발생시키는 부산물이 거의 발생하지 않는다.
- 효소의 특성을 다양한 방향으로 개선할 수 있다.
- 효소의 적용을 확장할 수 있다.
- 생물전환과 관련된 공정 개선이 비교적 쉽다.

4. 생물전환의 역사

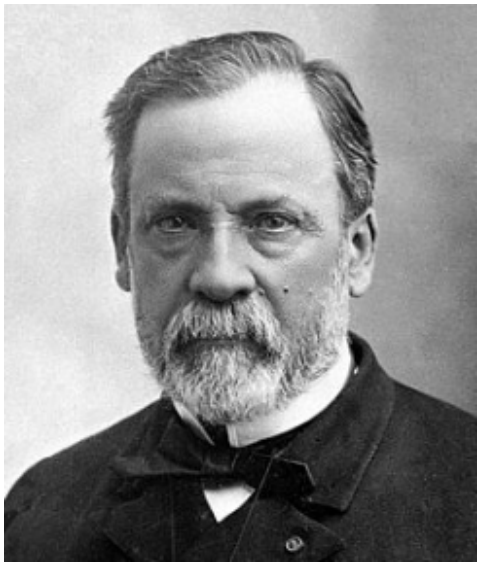
생물전환의 대표적인 예는 미생물이 자신이 가지고 있는 효소를 이용해 유기물을 분해시키는 과정인 발효를 들 수 있다. 발효의 시작은 신석기 시대부터 술을 만들기 위해 사용해 온 것으로 보아 그 이전부터 사용한 것으로 유추할 수 있으므로 발효는 인류의 문명사와 그 역사를 함께 했다. 발효에 대한 최초의 기록은 기원전 7000~6600년 사이에 중국 허난성의 지아후에서 발굴된 문서에 나타나 있으며, 기원전 5000년 인도의 아유르베다에 많은 약용 포도주에 대한 기록이 있으며, 기원전 3150년 전에 세워진 이집트의 피라미드에서 나온 기록과 메소포타미아인들이 포도주를 담근 기록 등이 있다.

이처럼 인류는 발효가 미생물에 의한 것이라는 과학적인 사실을 알기 전부터 식품을 자연 발효를 이용하여 저장하거나 식용하였다. 당시의 발효식품 가운데는 우연히 발견된 것이 많다. 지금처럼 얼음이니 냉장고니 하는 식자재를 최상의 상태로 보존할 수단이 흔치 않았던 시절에 식자재를 보관하다보니 그게 변질되었고 그걸 아까워서 그냥 먹거나 이런저런 방식으로 조리해 먹어보니 먹을 만해서 아예 하나의 정식 식품으로 자리잡게 된 것들이 대부분이다. 이후에는 식품을 오랫동안 보관하기 위해 일부러 발효를 시킨 것도 있다. 발효를 시키는 균을 번식시켜 부패를 일으키는 균의 침투를 막는 방식이다. 김치나 사우어크라우트가 이런 원리를 이용한 발효식품이다. 그래서 발

효는 전 세계 각지에서 오래전부터 자신들의 특성에 맞게 가내 수공업으로 주류, 식품 등의 제조에 이용되어 왔다.

중세에 들어와서 발효 식품은 유대교와 기독교에서 포도주를 생산하기 위하여 종교적으로 매우 중요한 일이었다. 발효가 과학적으로 연구되기 시작한 것은 1787년 화학의 아버지라고 불리는 프랑스의 화학자 라부아지에(Antoine Laurent de Lavoisier)는 발효를 포도당이 알코올과 이산화탄소로 분해되는 과정이라고 정의하였다. 1837년에는 카냐르 드 라 투르(Charles Cagniard de la Tour), 테오도어 슈반(Theodor Schwann), 프리드리히 트라우고트 퀴징(Friedrich Traugott Kützing) 등은 현미경 관찰을 통해 효모가 출아법에 의해 생식하는 생물이라는 결론을 내리고 연구 결과를 발표했다. 슈반은 효모를 죽이기 위해 포도 주스를 끓인 다음 새로운 효모를 다시 첨가할 때까지 발효가 일어나지 않는다는 것을 발견했다.

1857년 유기화학에서 생물전환 반응으로의 전환에 새로운 전기를 제공한 것은 프랑스의 루이 파스퇴르(Louis Pasteur)에 의해서다. 파스퇴르는 미생물의 존재를 인식하고 젖산 발효가 생물에 의해 일어난다는 것을 보여주고 우유의 락트산 발효 및 당의 알코올 발효를 실험적으로 증명하기도 하였다. 그는 저온살균법 발효장치를 고안하여 산업적 응용이 가능하도록 하였다. 1897년 독일의 생화학자 에두아르트 부흐너(Eduard Buchner)는 발효 효소를 추출하는 데 성공하고, 효모추출물이 당을 발효하는 것에서 발효는 효소에 의하여 촉매 반응한다는 연구 결과를 발표하였다. 부흐너는 자신의 연구성과를 인정받아 1907년 노벨 화학상을 수상했다.



루이 파스퇴르

에두아르트 부흐너

생물전환이 산업으로 발전한 것은 1차 세계 대전이 계기가 되었다. 독일은 화약(nitroglycerin)의 원료를 얻기 위하여 글리세롤(glycerol) 발효를 산업화하였으며, 영국은 무연화약(nitrocellulose) 제조에 필요한 아세톤(acetone)을 얻기 위하여 아세톤 부탄올(acetone-butanol) 발효를 산업화하였다.

1928년 알렉산더 플레밍은 포도상구균을 기르던 접시에 자란 푸른 곰팡이 주변으로 포도상구균이 깨끗이 녹아 있는 것을 보게 된다. 알렉산더 플레밍은 미생물이 만들어 내놓은 물질로 다른 미생물, 특히 세균을 자라지 못하게 하거나 죽이는 효과가 있는 항생제를 만들어 페니실린이라고 불렀다. 제2차 세계 대전에서는 부상자를 치료하기 위해 페니실린을 대량 생산 시스템을 갖추면서 산업화하였다. 이후 방선균인 스트렙토미세스 그리세우스(*Streptomyces griseus*)가 생산하는 스트렙토마이신의 효과가 입증되면서 항생 물질에 대한 연구 및 생산이 활발하게 진행되었다.

1956년에는 단백질을 구성하는 아미노산의 일종인 글루탐산(glutamic acid)을 얻기 위하여 콩·밀 등의 가수분해 또는 미생물을 이용하는 발효에 의해 조미료로 제조하였다. 1958년에는 식물성 단백질인 리신(lysin)을 대량으로 얻기 위하여 발효를 통해 생산되기 시작하였다.

이후부터 발효를 통한 아미노산의 생산은 미생물의 대사조절 분야로 발전하게 되면서 1970년대에는 거의 모든 아미노산 및 핵산 관련 물질이 발효를 통해 생산되게 되었다.

2000년대 들어서 생물전환은 미생물의 대사조절을 통하여 환경적 조건의 제어로부터 시작하여 유전자의 재설계로 목적의 물질만을 생산하는 시스템생물학이 발달하면서 마치 원하는 물질을 생산하는 공장과 같은 역할을 하게 되었다. 대사조절을 통한 발효는 더욱 발전하여 항생 물질과 같은 미생물의 2차 대사산물의 생산에도 활발하게 이용되고 있다.

생물전환은 산업적 응용을 위해 공학과 결합되면서 융합생물학을 만들어 내게 되었다. 이로 인해 생물전환 산업은 보다 다양한 분야로 확대되었으며 산업의 발달과 함께 발효는 거대산업을 형성하게 되었고, 최근에는 미생물을 이용하여 자유자재로 원하는 물질만을 대량 생산하는 수준까지 발전하였다.

근래에 들어서는 생물전환은 비교적 간단한 원료물질에서 출발하고 전환 효율이 낮은 발효보다 미생물 효소의 기질에 대한 선택성을 이용하여 전구물질에서 산물을 생산하는 더 집약적인 생물전환에 더 집중적으로 연구하고 있다.

5. 생물전환 산업의 분류

통계청의 산업분류에 의하면 생물전환 산업은 별도의 분류가 없고 생물체 관련 산업은 바이오산업(Bioindustry, Biotechnology-Based Industry)으로 분류하고 '바이오 기술을 바탕으로 생물체의 기능과 정보를 활용하여 인류가 필요로 하는 유용한 물질과 서비스를 생산하는 산업'으로 정의하고 있다. 생물전환 산업 분야로는 의약, 화학, 식품, 환경, 전자, 바이오공정 및 기기, 바이오에너지 및 지원, 바이오 검정·정보서비스 및 연구개발 등 8개 분야로 나누고 있다.

〈표 1〉 생물전환 기술이 접목될 수 있는 국내 바이오 산업 분류(국가 표준 KS J 1009)

순서	비고
6.2.1 바이오 의약 산업	1010 항생제(제외 : 동물약품) 1020 항암제 1030 백신 1040 호르몬제 1050 면역제제 1060 혈액제제 1070 성장인자 1080 신개념치료제 1090 진단키트(제외 : 연구 실험 용으로 병행 사용되는 시약) 1100 동물약품(제외 : 사료첨가제) 1000 기타 바이오의약 제품(제외 : 아미노산)
6.2.1 바이오 화학 산업	2010 바이오고분자(제외 : 신개념 치료제) 2020 산업용효소 및 시약류 2030 연구·실험용 효소 및 시약류 2040 바이오화장품 및 생활화학제품 2050 바이오농약 및 비료(제외 : 미생물 제제나 생물학적 제제가 아닌 생물공정을 이용한 농약 및 비료) 2000 기타 바이오화학제품
6.2.3 바이오 식품산업	3010 건강기능식품 3020 아미노산 3030 식품첨가물(제외 : 건강기능식품, 아미노산) 3040 발효식품(제외 : 건강기능식품) 3050 사료첨가제(제외 : 생균제를 포함한 동물약품) 3000 기타 바이오식품
6.2.4 바이오 환경산업	4010 환경처리용 미생물제제 4020 미생물고정화 소재 및 설비 4030 바이오환경제제 및 시스템(제외 : 환경처리용 미생물제제, 미생물 고정화소재 및 설비) 4040 환경오염 측정시스템(제외 : 바이오센서) 4000 기타 바이오환경제품 서비스
6.2.5 바이오 전자산업	5010 DNA칩 5020 단백질칩 5030 세포칩 5040 바이오센서 5050 바이오 맴스 5000 기타 바이오 전자 제품
6.2.6 바이오공정 및 기기산업	6010 바이오반응기 6020 생체의료기기 및 진단기(제외 : 신개념치료제, 진단키트, 바이오고분자, 바이오센서, 바이오 맴스) 6030 바이오공정 및 분석기기 6040 공장 및 공정설계 6000 기타 바이오 공정 및 기기
6.2.7 바이오에너지 및 지원산업	7010 바이오 연료 7020 인공종자 및 묘목 7030 실험동물 7040 유전자변형 동식품(제외 : 인공종자및 묘목, 실험동물) 7000 기타 바이오 에너지 및 지원(제외 : 제반 서비스)

순서	비고
6.2.8 바이오 검정, 및 연구개발산업	8010 바이오정보 서비스 8020 유전자관련 분석 서비스 8030 단백질관련 분석 서비스 8040 연구개발 서비스 8050 바이오안전성 및 효능 평가 서비스 8060 진단 및 보관 서비스 8000 기타 바이오검정, 정보개발 서비스

02 발효란?

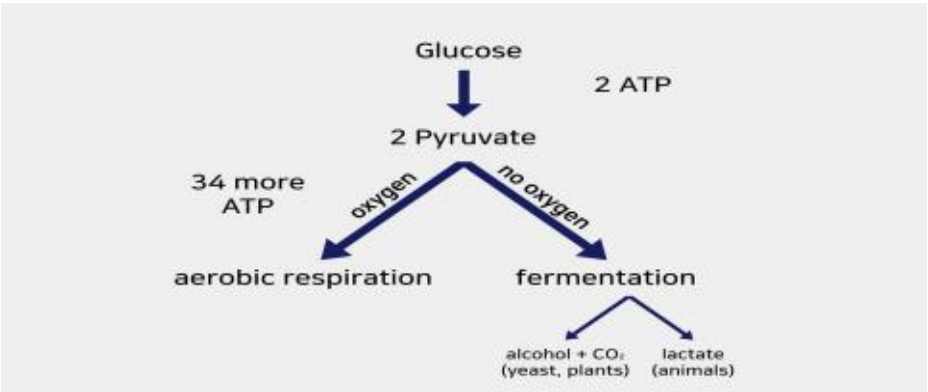
1. 발효의 정의

발효(醱酵, 영어: fermentation)는 넓은 의미로는 미생물이나 균류 등을 이용해 식물이나 동물을 인간이 원하는 형태로 변형시키거나 미생물이 유용한 물질을 생산하는 과정을 말하고, 좁은 의미로는 산소 없이 당을 분해해서 에너지를 얻는 대사 과정을 말한다.

미생물은 유기물을 분해해서 에너지와 부산물을 얻는데 일반적으로 이때 생성되는 부산물에 따라 발효의 종류가 정해진다. 정확히 말하자면 미생물이 부산물을 얻기 위해 발효를 하는 게 아니라 에너지를 얻기 위해 발효를 했는데 부산물이 생긴 것이라 볼 수 있다.

발효(ferment)라는 단어는 '끓이다'는 뜻의 라틴어 동사인 'fervere'에서 파생되었다. 발효라는 말은 14세기 후반에 연금술에서 최초로 사용된 것으로 유추되며, 대략 1600년대부터 일반에 사용되었으며, 현대 과학적인 의미로는 사용되지 않았다. 발효의 과학은 발효학(zymology)으로 알려져 있다.

넓은 의미에서 발효는 분해 과정에 산소가 참여하는지의 여부에 따라 크게 산소가 존재해선 안 되는 혐기성 발효와 산소가 필요한 호기성 호흡으로 구분된다(그림 1). 좁은 의미에서의 발효는 산소 없이 당을 분해해서 에너지를 얻는 대사 과정으로 발효 결과 얻어지는 생성물은 유기산, 가스 또는 알코올이다. 발효는 효모와 세균에서 일어나고, 또한 젖산 발효의 경우처럼 산소가 결핍된 근육세포에서도 일어난다. 세포에 산소 공급이 중단되면 전자전달계가 멈추기 때문에 산화를 하지 못하고 동물계에서는 젖산이 만들어지고, 식물계에서는 알코올과 이산화탄소가 발생 된다.



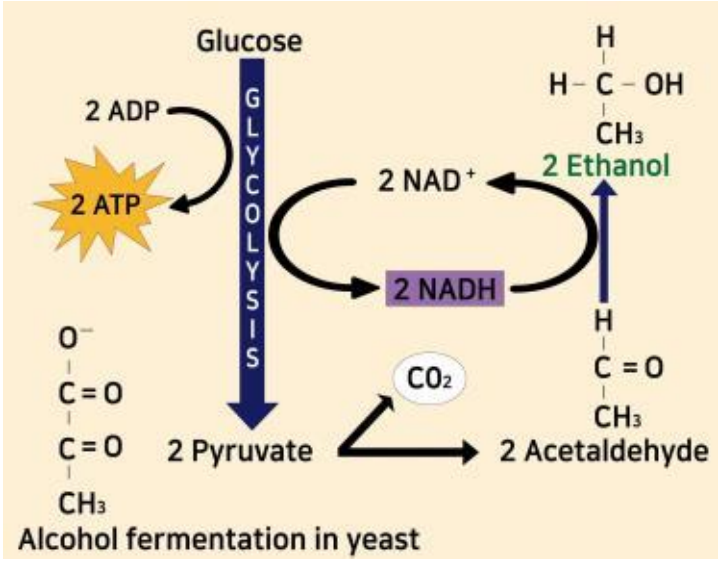
[그림 1] 발효의 큰 개념

2. 혐기성 발효

가. 알코올 발효

알코올 발효에서는 1분자의 포도당은 2분자의 피루브산으로 변하면서, 발열반응을 일으킨다. 이러한 발열반응에서 방출된 에너지는 ATP를 생성하고, NAD+를 NADH로 전환시키면서 피브르산은 아세트알데하이드와 2분자의 이산화탄소로 분해된다.

아세트알데하이드는 NADH로부터 에너지, 전자, 수소를 얻어 알코올로 환원되고, NADH는 NAD+로 산화되는데, 이러한 주기는 반복된다. 이 반응은 피루브산 탈카복실화효소와 알코올 탈수소효소에 의해 촉매 된다(그림 2).



[그림 2] 효모에서의 알코올 발효의 기전

알코올 발효를 하는 대표적인 미생물은 효모다. 효모는 광합성을 하지 않고, 운동성이 없으며, 출아할 수 있는 단세포 진핵미생물로써 약 1500여 종이 알려져 있다. 가장 대표적인 효모는 양조나 제빵에 사용되는 이스트(yeast)로 불리는 *Saccharomyces cerevisiae* 종이다. 빵을 만들 때 반죽에 이스트를 넣어주면 이스트가 반죽의 당을 분해해 알코올 발효를 한다. 이때 생성된 이산화탄소가 빵 반죽 밖으로 나가지 못하고 갇혀 반죽이 부풀어 오르게 된다. 함께 생성된 에탄올은 빵의 풍미를 높여준다.

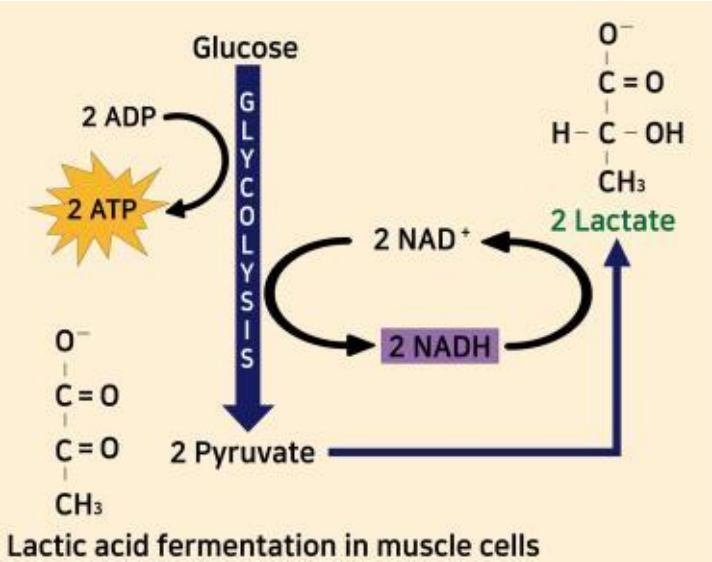
그리고 포도주, 맥주, 증류주와 같은 주류에 들어 있는 알코올은 술에 취하게 만드는 물질이다. 또한 사탕수수, 옥수수, 사탕무를 포함한 공급 원료의 알코올 발효를 통해 가솔린에 첨가되는 알코올을 생산한다. 금붕어와 잉어를 비롯한 어류의 일부 종에서는 산소가 부족할 때 알코올 발효를 통해 에너지를 공급한다. 막걸리는 곡물을 발효시켜 만든 술로 누룩을 넣어 만든다. 누룩은 곡물에 누룩곰팡이, 효모, 젖산균 등을 배양한 우리나라 전통 술 발효제다. 곡물은 탄수화물로 이뤄져 있는데 누룩 속의 아밀레이스라는 효소가 탄수화물을 분해해 당으로 만든다. 누룩 속 효모는 이 당을 이용해 알코올 발효를 하고 이 과정에서 에너지와 함께 에탄올과 이산화탄소가 생성된다.

나. 젖산 발효

젖산 발효는 당류를 분해해 젖산과 에너지를 생성하는 대사과정을 말한다. 젖산 발효는 가장 간단한 형태의 발효로 해당과정에서 생성된 피루브산은 간단한 산화환원반응을 거쳐 젖산을 형성한다.

젖산 발효는 부산물로 가스를 생산하지 않는 유일한 호흡 과정이기 때문에 특이하다. 전체적으로 1분자의 포도당(또는 다른 6탄당)은 2분자의 젖산으로 전환된다(그림 3).

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH$



[그림 3] 유산균에서의 젖산 발효의 기전

젖산균은 유산균이라고도 한다. 젖산 발효는 혈액이 산소를 공급할 수 있는 것보다 빠르게 에너지를 소모할 때 동물의 근육에서 일어난다. 또한 젖산 발효는 일부 세균(젖산균)과 일부 균류에서도 일어난다. 젖산발효는 부산물에 따라 동형발효(homolactic fermentation)와 이형발효(heterolactic fermentation)로 나뉜다. 동형발효는 부산물로 젖산만 생성되고 이형발효는 부산물로 젖산과 함께 아세트산, 알코올, 이산화탄소 등 다른 부산물들이 생성된다.

유산균은 요구르트에서 젖당을 젖산으로 전환시켜서 신맛을 내게 하는 세균의 유형이다. 젖산발효에서 생성되는 젖산은 병원균과 유해세균이 생기는 것을 막는 성질이 있어 식품을 만드는 데 이용하기 좋고 유제품류, 김치류, 장류 등을 만드는 데 이용된다. 동형젖산 발효는 최종 생성물로 주로 젖산만을 생성하는 것이고, 이형젖산 발효는 일부 젖산이 추가로 대사되어 알코올과 이산화탄소, 아세트산 또는 다른 대사산물을 생성하는 것이다.

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CHOHCOOH + C_2H_5OH + CO_2$

배추에는 젖산균을 포함한 많은 미생물들이 살고 있는데 배추를 소금에 절이는 과정에서 젖산균을 제외한 대부분의 미생물들은 없어진다. 김치를 담구면 먼저 이형젖산발효가 시작되어 양념과 배추에 포함된 당을 이용해 젖산과 아세트산, 이산화탄소 등 다른 부산물들을 만들어 낸다. 부산물들은 김치의 맛을 이루며 톡 쏘는 맛을 유발하기도 한다. 김치가 적당히 익은 시기를 지나면 이형발효젖산균의 활동이 줄어들고 동형발효젖산균이 많아진다. 동형발효를 통해서는 젖산 밖에 생성되지 않기 때문에 김치가 많이 익으면 신김치가 되는 것이다.

젖당이 분해되면(요구르트와 치즈에서처럼), 먼저 포도당과 갈락토스(둘 다 같은 분자식을 가진 6탄당 이성질체들)로 전환된다.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2\ C_6H_{12}O_6$$

이형젖산 발효에서 젖산을 다른 화합물로 전환해야 하는 이유는 다음과 같다.

젖산에 의한 산성화는 생물학적 과정을 방해한다. 이는 젖산 발효 생물이 산성 환경에 부적합한 경쟁자들을 몰아내는데 유용할 수 있다. 결과적으로 식품이 더욱 더 긴 유통기한을 가질 수 있게 된다. 그러나 특정 시점이 지나면 산성화가 젖산을 생성하는 생물에게 영향을 미치기 시작한다. 고농도의 젖산은 발효가 일어날 수 있는 속도를 감소시키고, 성장을 늦추어 역평형을 유도한다.

젖산이 쉽게 전환될 수 있는 알코올은 휘발성이어서 쉽게 빠져 나가므로 반응이 쉽게 진행될 수 있도록 한다. 또한 이산화탄소(CO_2)도 생성되지만, 약산성이며 에탄올보다 휘발성이 높다. 젖산균은 섭취 시 장 내에 서식하면서 장이 원활히 기능하도록 돕는 역할도 한다.

3. 발효 공정의 유형

대부분의 산업적인 발효는 비연속 발효(batch fermentation) 또는 유가 배양식 발효(fed-batch fermentation)를 사용하지만, 다양한 난제들 특히 무균상태를 유지하는 어려움을 해결할 수 있다면 연속발효가 더 경제적일 수 있다.

가. 비연속 발효

비연속 발효(batch fermentation, 회분 발효)는 원료를 넣은 다음 더 이상 추가적인 원료의 투입 없이 발효 반응을 진행시키는 것으로 가장 일반적으로 사용하는 발효 방법이다. 비연속 발효는 인류가 자연적으로 습득한 것으로 수천 년 동안 빵과 술을 만드는 데 사용되어 온 발효 방법이다.

그러나 현대에 이르러서는 발효 중간에 멸균하기 위해서 고압 증기를 사용하기 때문에 비용이 많이 들 수 있다. 그리고 pH를 조절하거나 거품을 억제하기 위해 소량의 화학 약품을 넣기도 한다.

나. 유가 배양식 발효

유가 배양식 발효(fed-batch fermentation)는 발효하는 과정에 발효를 더욱 효과적으로 하기 위하여 일부 첨가물을 추가하는 발효를 말한다. 특히 2차 대사산물의 질이 좋아지도록 영양 물질을 추가함으로써 양질의 부산물을 얻을 수 있다. 그래서 고체 상태에 소량의 물을 첨가하여 부산물의 풍미를 높이고, 효소나 유기산을 제조하기 위해 식품 산업에서 널리 사용되는 발효 방법이다.

유가 배양식 발효는 다양한 노폐물에 적응할 수 있기 때문에 폐수 처리 공정에서 특히 사용을 많이 한다. 그리고 미생물에 의한 오염을 막을 수 있다.

다. 연속 발효

연속 발효는 발효 과정에 첨가물을 추가하면서, 최종 생성물을 연속적으로 제거하는 발효를 말한다. 발효 과정에 부산물을 연속적으로 제거함으로써 부산물이 반응을 억제하는 것을 방지한다. 그러나 연속 발효는 정상 상태를 유지하면서 오염을 피하는 것이 어렵고, 장치의 설계가 복잡해지는 단점이 있다.

4. 발효와 부패

발효는 부패와 동일한 의미지만, 통상적으로 그 결과물이 인간에게 이로움을 줄 때 발효라 하고 결과물이 인간에게 해롭거나 최소한 이로움을 주지 않을 때 부패로 구분한다.

쉽게 말하면, '사람에게 이로우면 발효, 쓸모없거나 해가 되면 부패, 산패'이다. 부패의 과정에서 나온 대부분의 부산물은 대부분의 경우 이롭지 않다 수준이 아니라 해롭거나 치명적인 독이다. 그 대표적인 결과물이 식중독이다.

현재 부패라고 불리는 어떠한 현상이라도 장래 그 부패 과정이나 산물이 인간에게 유용하다는 것이 밝혀진다면 그 부패는 발효라고 불릴 수 있다. 예를 들면 나일론의 원료 중에는 생물체의 부패로 인하여 생기는 물질도 있다. 당연히 해당 분야에서는 이런 물질들을 나일론 생산에 직접 사용하므로 생물을 통하여 생산하는 과정을 발효라고 부른다.

주로 발효는 탄수화물이 부패는 단백질이 분해될 때에 일어난다. 단백질은 분해될 때 그에 포함된 질소나 황에 의해 생기는 질소화합물(암모니아 등)이나 황화합물(황화수소 등)이 유독하고 악취가 나기 때문이다. 이를 역이용하는 식품도 있는데 가장 유명한 건 역시 수르스트뢰밍과 홍어다.

결국 발효와 부패는 미생물이 물질을 변질시킨다는 점에서 뿌리는 같지만 인간에게 유익한 물질이 생성되는지 해로운 물질이 생성되는지에 따라 나뉜다고 할 수 있다. 어떤 물질이 생성될지는 환경에 따라 달라진다. 부패는 자연적으로 유기물에게 발생하는 현상이다. 습하고 통풍이 잘 되지 않고 온도가 따뜻한 환경에서 더 잘 부패된다. 발

효는 특정한 조건과 환경 하에서만 발생한다. 먼저 온도. 온도는 습도와 직결된다. 너무 건조해도 너무 습해도 발효는 잘 일어나지 않는다. 또 온도가 지나치게 높으면 발효균이 모두 죽을 수 있다. 발효는 식재료마다 알맞은 발효온도가 다 다르다. 예를 들어 알코올 발효엔 15~30℃의 온도가 적당한데 레드와인은 25~30℃, 화이트와인은 20℃ 이하가 적당하다. 적정 시간 이상으로 과발효되면 부패단계로 넘어가게 된다.

5. 발효 산업의 분류

발효의 전통적 의미는 미생물을 이용하여 기질을 우리가 원하는 대사물질로 전환시키는 작용이지만, 현대적으로 생물전환은 미생물이 전자전달체를 환원할 때 발생하는 에너지(ATP)를 이용하여 생육하면서 수행하는 대사작용을 뜻한다. 발효는 미생물의 산소요구도에 따라 호기발효, 혐기발효, 통성혐기발효 등으로 나눌 수 있다. 발효로 만들어지는 대표적인 제품은 발효식품과 양조주, 발효물질과 그 유도체, 효소류, 식·사료 단백질 및 바이오 에너지 등이다. 발효산업은 크게 발효식품, 발효산물산업, 효소 산업, 식량 및 에너지산업, 환경산업, 미용산업 등으로 나눌 수 있다.

〈표 2〉 발효산업의 분류

대분류	중분류	대표적 제품
발효식품	양조식품	농산(대두, 채소, 곡류), 수산(젓갈, 식해), 축산(유제품)
	양조주	곡주(탁주, 청주), 과실주(포도주, 매실주), 맥주
발효물질	1차 대사물질	아미노산계(MSG, 리신), 핵산계(IMP, GMP), 유기산계(구연산, 초산, 글루콘산)
	2차 대사물질	항생물질, 색소, 독소
	건강소재	프로바이오틱스(유산균 등), 비타민, 과당류, 다당류
	유도체	아미노산계, 핵산계, 유기산계
효소	-	식용, 의약용, 공업용, 제한효소
식량 및 에너지	식, 사료	단세포 단백질(SCP), 미세조류
	바이오에너지	알콜(메탄올, 에탄올, 부탄올), 대체에너지(바이오수소, 바이오디젤 등)
환경	하수처리	하수 및 오수의 생물학적 처리
	환경개선	토양복원제, 토양개량제 등
미용	미용용품	발효화장품, 발효비누 등

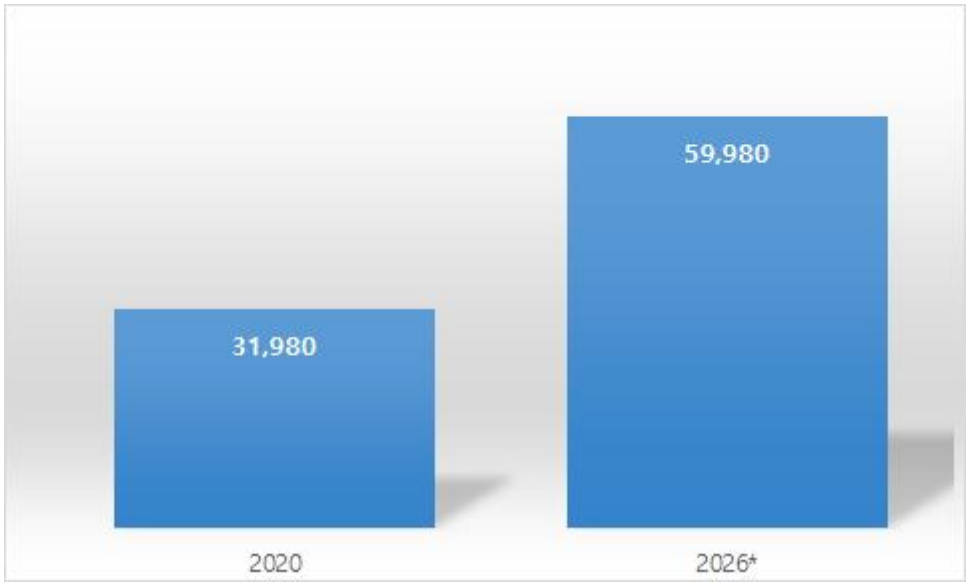
6. 발효 산업의 현황

코로나 이후 건강 분야가 식음료 트렌드로 주목받아 세계 발효식품이 빠르게 성장하였으며 이에 따라 전통 발효식품인 김치와 장류의 세계 시장 확대 가능성이 커지고 있다. 전 세계 발효식품 시장 규모는 총 319억 달러로 향후 5년간 연평균 6.2% 성장할 것으로 전망한다. 2020년 우리나라의 김치와 장류 수출은 지난해 같은 기간 대비 각각 증가하였다.

가. 세계 시장 규모

- 2020년 발효식품 시장 규모는 총 319억 8,000만 달러 한화 약 35조 5,682억 원으로 집계되며 건강에 대한 전 세계적 인식 제고로 빠른 성장이 예상된다(그림 4).

- 세계 발효식품 총수입액은 547억 8,174만 달러 한화 약 60조 8,242억원으로 집계 최근 5년간 연평균 4.4% 증가하였다.
  - 2021년부터 향후 5년간 연평균 6.2% 성장하여 2026년 말 599억 8,000만 달러에 달할 것으로 전망된다.



[그림 4] 세계 시장 규모

출처: Market Watch, Fermented Food and Ingredients Market 2020 : Global Industry Analysis by Top Countries Data with Size, Share, Segments, Drivers and Growth Insights to 2026

나. 세계의 동향

- 발효식품의 효능에 대한 전 세계적인 조사 연구를 통해 과학적 입증이 가능해짐에 따라 시장 규모가 확대될 것으로 전망된다.
  - 2016년 중국 상하이 대학은 발효식품 내 프로바이오틱스가 면역력 향상에 도움이 되어 감기 감염 위험을 낮춘다는 연구 결과를 발표하였다.
  - 캐나다 달하우지 대학은 발효식품의 프로바이오틱스*가 소화(Dalhousie University) 불량 과민성 대장 증후군 등 소화 장애 완화에 도움이 된다는 연구 결과를 발표하였다.

  * 프로바이오틱스는 장내 유산균 수치를 조절하여 주기적으로 섭취할 시 소화 장애 개선 효과 보유

- 2018년 발효식품 시장 규모를 기준으로 영국, 독일이 주요 소비국으로 나타나며 중국이 높은 성장세를 보였다.
  - 영국은 간편식품(인스턴트, 냉동식품) 등 소비량 증가와 위장 건강에 대한 우려로 발효식품의 수요가 증가하였다.
  - 발효식품이 체중 감량에 도움이 되는 것으로 알려지며 체중 감량을 목적으로 발효식품을 섭취하는 비만 소비자가 증가하였다.
  - 각종 대중매체와 식품 전문매체에서 발효식품의 효능과 세계 각국의 발효식품 조리법 등이 소개되어 발효식품에 대한 인지도가 향상되었다.

- 독일은 사우어크라우트 등 전통적으로 발효식품을 섭취하여 일반 소비자의 발효식품에 대한 인지도가 높아졌다.
  - 발효식품에 대한 높은 인식과 코로나19 이후 건강을 고려하는 소비자의 증가로 발효식품 시장규모는 더욱 성장할 것으로 전망되었다.

- 인도의 경우 인당 소득 증가에 따른 건강에 대한 인식이 향상되어 발효식품 시장이 성장한 것으로 분석되며 발효 조미료 제품을 중심으로 시장이 확대될 것으로 전망되었다.

- 미국, 캐나다 등 북미 권역 국가에서도 젊은 층 사이에서 발효 음료가 유행하며, 발효식품이 주목받는 추세가 되었다.
  - 케피어(Kefir, 발효 우유 음료)나 마시는 요구르트 제품, 주로 과일 기반 제품의 수요가 증가하며 북미 권역의 시장규모가 성장하였다.
  - 또한 코로나19 이후 미국에서 에스닉(제3세계의 고유한 음식을 일컫는 말로 주로 동남아, 아프리카, 중동, 유럽 등지의 전통음식) 푸드와 홈쿠킹이 트렌드로 상승하며 한국, 일본, 중국 등 아시아권역 국가의 발효조미료 미소 된장, 고추장 등 수입량이 증가하였다.

다. 제품별 시장 현황

- 발효유 제품(67.6%)이 압도적인 비중을 차지하며 그 외 콩발효 식품(19.8%), 채소(9.8%), 발효식품 기타 발효식품(2.8%) 순이었다.

- 콩 발효 식품은 최근 5년간 연평균 6.0% 상승하고, 전년 대비 2.4%가 성장세를 견인하는 것으로 분석되며 그 외 품목의 수입액 역시 최근 연간 증가하는 추세이다.
  - 발효유 제품은 2019년 세계 발효유 제품 수입액 370억 4,086만 달러로 최근 5년간 연평균 4.1% 증가하였다.
    * 치즈(87.6%) 기타 발효유 제품(12.4%) 순

- 콩 발효 식품 2019년 수입 규모는 108억 5,068만 달러로 꾸준한 성장세를 보임에 따라 최근 5년간 연평균 6.0%가 상승하였음
  * 된장 춘장 고추장 등 기타 장류(93.2%) 간장 순(6.8%)
  * 염장 채소류, 초절임채소류, 오이피클 순(58.7%),(29.1%),(12.2%)
- 기타 발효식품(발효주)의 수입액은 총 15억 1,164만 달러로 강보합세(최근 5년간 1.5% 상승)

〈표 3〉 세계 발효 식품 산업의 시장 현황

구분		2015	2016	2017	2018	2019	비중 ('19)	전년비 ('18/'19)	연평균
전체		46,159.6	46,427.3	51,351.3	54,926.2	54,781.7	100.0	-0.3	4.4
1	발효유제품 (치즈, 기타 발효유제품)	31,491.8	31,309.1	35,110.5	37,374.9	37,040.9	67.6	-0.9	4.1
2	콩 발효식품 (기타 장류, 간장)	8,586.5	8,939.4	9,605.0	10,596.5	10,850.7	19.8	2.4	6.0
3	채소발효식품 (염장 채소류, 초절임 채소류, 오이피클)	4,658.0	4,801.4	5,173.2	5,446.8	5,378.6	9.8	-1.3	3.7
4	기타 발효식품(발효주)	1,423.4	1,377.4	1,462.7	1,508.0	1,511.6	2.8	0.2	1.5

출처: ITC Trademap, 금액의 단위는 백만달러임.

7. 국내 발효 산업의 현황

국내 대표 전통 발효식품 중 김치와 장류(고추장, 된장, 간장)의 국내 생산, 시장 규모 및 수출액을 살펴보면, 2020년 기준으로 국내 생산액은 2조 5887억 원, 수출액은 7억 1,041만 달러(8,354억원)로 각각 집계되었으며, 2019년 소매 매출액 기준으로 국내시장 규모는 2조 4,341억 원 수준이다.

- 2019년 대비 생산액은 1.0%, 수출액은 0.4% 증가함
- 생산과 수출에서 김치의 비중이 70%를 상회하고 있음

〈표 4〉 국내 전통발효식품 생산액 추이

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2016년~2020년	
						합계	비중
김치	1,033,434	1,032,399	1,119,642	1,178,899	2,010,779	6,375,153	70.7%
장류	568,223	499,438	543,082	449,693	577,875	2,638,311	29.3%
전체	1,601,657	1,531,837	1,662,724	1,628,592	2,588,654	9,013,464	100.0%

출처: 농림축산식품부(2020). 농식품 수출환경 변화대응 이슈조사-품목편

〈표 5〉 국내 전통발효식품 수출액 추이

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2016년~2020년	
						합계	비중
김치	78,900	81,393	97,456	104,992	144,511	507,252	71.4%
장류	35,549	35,917	40,363	41,989	49,339	203,157	28.6%
전체	114,449	117,310	137,819	146,981	193,850	710,409	100.0%

출처: 농림축산식품부(2020). 농식품 수출환경 변화대응 이슈조사-품목편

03 효소를 통한 생물 전환

1. 생물전환 기술의 전망

생물전환이란 미생물 혹은 효소의 생물학적 반응을 이용하여 기존 소재를 인간에게 유익한 성분으로 변환시키는 기술을 말한다. 생물전환을 기존의 식품에 적용하면 안전성은 증대되고, 흡수율은 증가하며, 원래의 기능은 향상되며, 새로운 기능을 부여하는 등 다양한 개선이 가능해진다. 이처럼 생물전환은 기존 소재에 대한 활용성을 높여 인간에게 유효한 성분으로 바꿀 수 있으며, 식품 내에 미량으로 존재하는 소재를 효율적으로 추출할 수 있어 저비용으로 생산효과를 높일 수 있다는 장점이 있다. 뿐만 아니라, 다양한 소재를 가지고 미생물의 투여 혹은 효소의 발효 작용을 통해 무수히 많은 신규 소재를 확보할 수 있다(그림 5).

생물전환에 있어서 효소는 기질특이성을 가지고 있으며, 인간에게 유효한 성분으로 바꾸는 효과가 탁월할 뿐만 아니라 효소로 인한 반응을 통제하고 유도할 수 있기 때문에 식품산업뿐만이 아니라 점차 의약품 제조, 기능성 식품 생산, 신소재 합성 등 다양한 분야에서 활용이 증가하고 있다.

[그림 5] 생물전환의 장점

2. 생물전환 기술에서의 효소 반응이 가지는 이점

특히 생물전환에서의 효소 반응은 다음과 같은 장점을 가진다. 효소 반응 자체가 생체 내에서 일어나는 만큼 대부분이 일상적인 조건에서 반응하는 경우가 많기 때문에 큰 비용을 들이지 않고 반응 온도나 pH 등의 최소한의 조건을 맞추어 주는 것만으로 원하는 반응을 유도할 수 있는 장점이 있다(그림 6).

[그림 6] 효소 반응이 가지는 이점

효소 반응은 화학 촉매에 비하여 비교적 효율성이 높아 공정 시간과 비용을 대폭 절감하여 원하는 반응을 얻어낼 수 있으며, 사람의 몸에 나쁜 영향을 미치는 유기용매 등 독성물질을 사용하지 않으므로, 친환경적이면서 건강에 이로운 공정을 개발할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 효소의 성질상 특정 산물의 생산 효과를 높이면서도 원하지 않는 부산물의 산출은 최대한 줄여 공정의 효율성을 대폭 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 이종 숙주를 대량으로 생산이 가능하고 단백질 공학 기법을 활용하여, 비교적 간단하게 효소의 특성을 개선할 수 있으므로 생산물의 적용성을 확장하고 공정을 개선하는 것이 가능하다.

3. 생물전환 기술의 현황

최근 생물전환 기술을 이용한 식품소재 개발 연구가 활발해짐에 따라 생물전환 원천기술과 소재 확보의 필요성이 대두되고 있다. 2020년 기준 세계 효소 시장 규모는 총 319억 8,000만 달러 한화 약 35조 5,682억 원으로 집계되며 건강에 대한 전 세계적 인식 제고로 빠른 성장이 예상되며, 2021년부터 향후 5년간 연평균 6.2% 성장하여 2026년 말 599억 8,000만 달러에 달할 것으로 전망되고 있다.

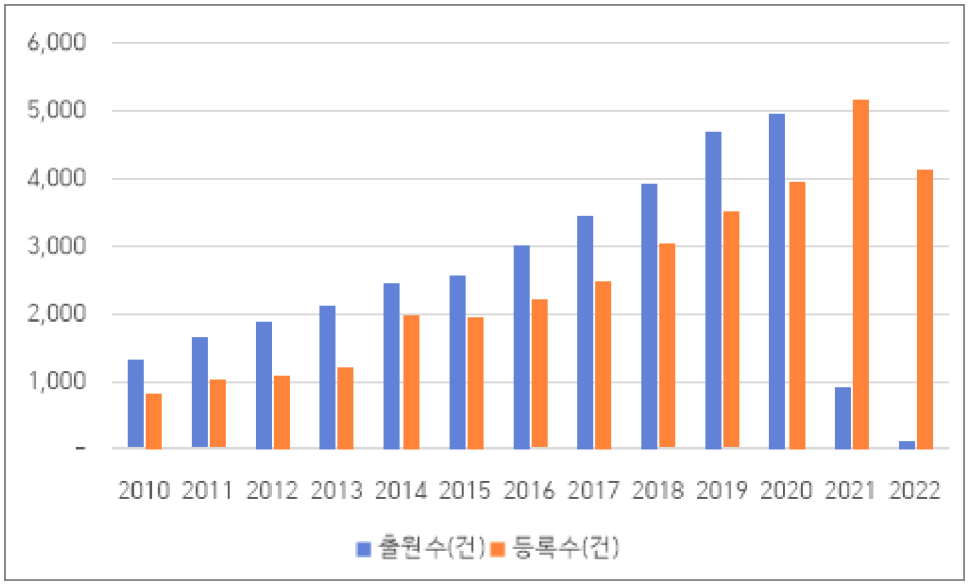
2019년 세계 효소 시장 중 식품 · 화장품 분야는 42억 달러(34%) 규모인 것으로 알려져 있다. 식품 중에서 생물전환 기술 제품의 비율을 보면 발효유 제품(67.6%)이 압도적인 비중을 차지하며, 다음으로는 콩 발효 식품(19.8%), 채소(9.8%), 발효식품 기타 발효식품(2.8%) 순으로 나타났다.

발효유 제품 중에는 치즈가 87.6%를 차지하고 있으며, 기타 발효유 제품이 12.4%를 차지고 하고 있다. 콩발효 식품 중에는 된장, 춘장, 고추장 등 기타 장류가 93.2%로 가장 많으며, 다음은 간장이 6.8%를 차지하고 있다. 채소 중에는 염장 채소류가 58.7%로 가장 많으며, 초절임 채소류가 29.1%로 다음을 차지하고 있으며, 오이피클이 12.2%를 차지하고 있다.

4. 생물전환 특허 건수

가. 국내 특허 출원 효소 생물전환

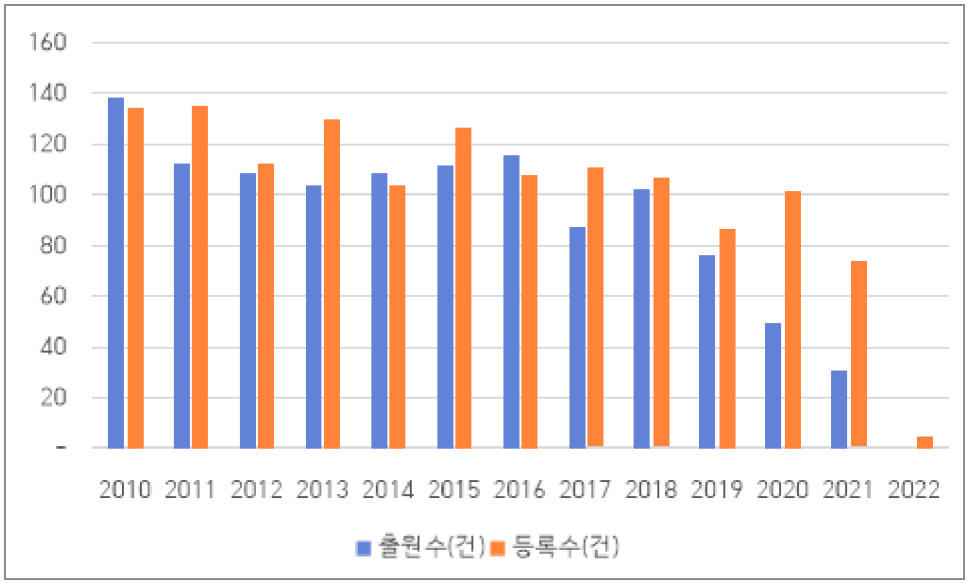
효소 생물전환 관련 국내 특허 출원은 2022년 8월 현재 총 37,813건이 등록되어 있다. 연도별 효소 생물전환 관련 국내 특허 출원 건수와 등록 건수를 보면 다음과 같다(그림 7).



[그림 7] 연도별 효소 생물전환 관련 국내 특허 출원 건수와 등록 건수

나. 해외(일본) 특허 출원 효소 생물전환

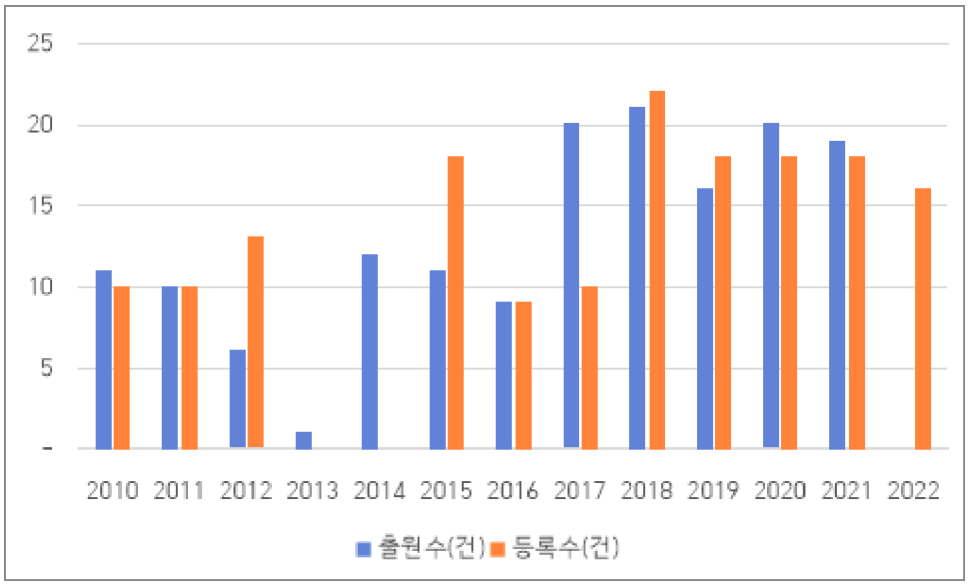
효소 생물전환 관련 해외(일본) 특허 출원은 2022년 8월 현재 총 3,860건이 등록되어 있다. 연도별 효소 생물전환 관련 해외(일본) 특허 출원 건수와 등록 건수를 보면 다음과 같다(그림 8).



[그림 8] 연도별 효소 생물전환 관련 해외(일본) 특허 출원 건수와 등록 건수

다. 해외 특허 출원(PCT: 특허협력조약) 효소 생물전환

효소 생물전환 관련 해외 특허 출원(PCT: 특허협력조약)은 2022년 8월 현재 총 165건이 등록되어 있다. 연도별 효소 생물전환 관련 해외 특허 출원(PCT: 특허협력조약) 건수와 등록 건수를 보면 다음과 같다(그림 9).



[그림 9] 연도별 효소 생물전환 관련 해외 특허 출원(PCT: 특허협력조약) 특허 출원 건수와 등록 건수

5. 생물전환 기술의 전망

발효 산업은 식량, 에너지, 의약, 정밀화학, 전통 식품, 유기용제 등을 망라하는 국가의 기간산업이라 할 수 있다. 우리나라는 오랜 발효의 전통을 가지고 있으며, 바이오 산업 중 선진국 대비 90% 이상의 경쟁력을 갖춘 분야이기도 하다. 이러한 확실한 발효 산업을 기반으로 BT 산업의 발전을 추구하는 것이 국가 차원에서도 효과적이라고 할 수 있다. 일본이 발효 산업을 기반으로 BT 강국으로 도약한 사실을 타산지석으로 삼아야 할 것이다.

국내 대표 전통 발효식품 중 김치와 장류(고추장, 된장, 간장)의 국내 생산, 시장 규모 및 수출액을 살펴보면, 2020년 기준으로 국내 생산액은 2조 5,887억 원, 수출액은 7억 1,041만 달러(8,354억원)로 각각 집계되었으며, 2019년 소매 매출액 기준으로 국내시장 규모는 2조 4,341억 원 수준이다.

그러나 전 세계 생물전환 시장의 약 70%를 노보자임(Novozyme)과 제넨코(Genencor) 등 특정 기업이 독점하고 있는 상황이며, 국내 식품 효소 시장에서 노보자임, 제넨코, 듀폰(DuPont) 등 해외 3개사의 점유율은 무려 84%에 이른다.

이처럼 세계적으로 효소 시장이 성장하고 있는 상황에서 국내에서도 생물전환에 대한 중요성을 인식하여 식품회사 및 스타트 기업에서 생물전환 시장에 뛰어들기는 했지만 아직까지 세계 생물전환 시장으로의 진출은 어려운 상황이다. 더욱이 국내에서 조차 자국에서 개발한 생물전환으로 인한 생산물들에 대한 사용이 미비하다는 것이다.

더구나 나고야 의정서가 발효됨에 따라 해외의 생물자원을 이용하면 로열티와 기술사용으로 인한 비용 부담이 가중되고 이는 결국 제품의 원가 상승으로 이어지고 있다. 따라서 국내의 생물자원 기업의 생존과 생물자원 기술의 확보를 위한 다각적인 노력이 무엇보다 절실히 필요한 때이다.

04 효소를 통한 생물전환의 산업과 아이템

1. 차가버섯 추출물

1) 차가버섯의 특징

시베리아와 북아메리카, 북유럽 등 북위 45도 이상 지방의 자작나무에 기생하는 버섯이다. 차가버섯(*Inonotus obliquus*)은 소나무비늘버섯과에 속한 담자균 버섯으로 β-glucan, lignin, vanillic acid, triterpene acid와 syringic acid 등의 생리 활성물질이 존재하여 암, 위염과 결핵 등에 약리 효과가 있으며, 성인병 치료에 효능이 뛰어나다.

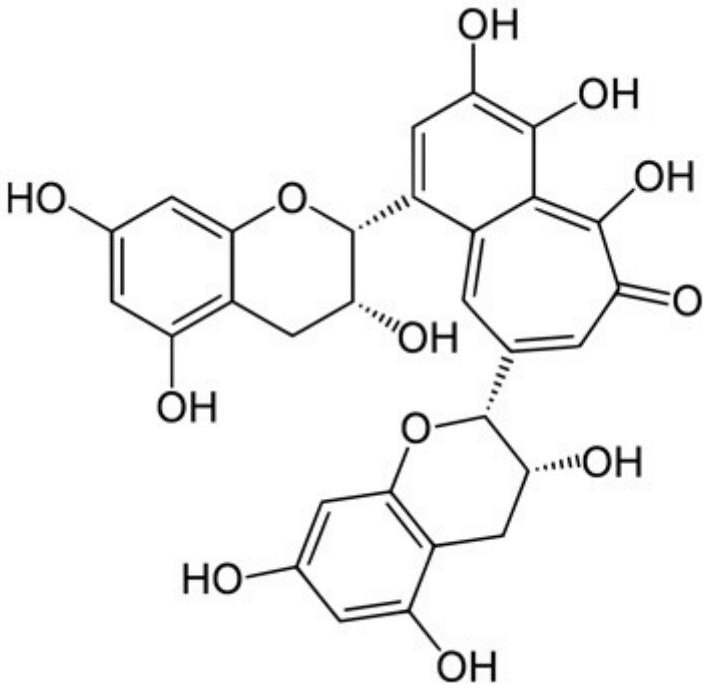
차가버섯에 존재하는 생리활성물질 중 폴리페놀은 다른 식용 버섯보다 약 작게는 4배부터 많게는 20 배 높게 함유되어 있다(그림 10). 폴리페놀은 우리 몸에 있는 활성산소(유해산소)를 해가 없는 물질로 바꿔주는 항산화물질 중 하나로 카테킨·레스베라트롤·플라보노이드 등이 이에 속한다.

폴리페놀은 주로 단백질이나 탄수화물과 결합된 복합체로 존재하고 체내 소화효소를 통한 분해가 어렵기 때문에 체내 흡수율이 낮은 단점을 지닌다. 그러나 국내에 유통되고 있는 차가버섯 음료, 분말과 캡슐 등의 제품은 methanol이나 ethanol과 같은 용매에 의한 단순한 추출공정으로부터 단백질이나 탄수화물과 같은 고분자 물질 추출을 통해 제조되기에 체내 흡수율 개선에 한계가 있어 생리활성이 증진된 기능성 고부가가치의 제품 개발을 위한 새로운 추출공정이 요구된다.

[그림 10] 차가버섯의 폴리페놀 함량

2) 폴리페놀의 추출

폴리페놀은 다가의 하이드록시기(-OH)를 가지는 방향족 화합물로 하이드록시기에 의한 전자공여 작용을 통해 ROS를 환원시켜 항산화 효과를 나타낸다(그림 11). 차가버섯으로부터 항산화 효과 증진을 위해서는 폴리페놀과 단백질 또는 탄수화물 간의 결합을 pH, 온도와 이온 세기와 같은 조성 변화로 분해하여 유리형 폴리페놀을 생산함으로써 항산화 활성을 가지는 하이드록시기의 노출을 증가시킬 수 있는 공정이 필요하다.



[그림 11] 폴리페놀

천연물에서 폴리페놀을 추출하기 위해 유기용매 추출과 고온 추출이 일반적으로 이용되지만, 유기용매 잔류로 인해 인체에 독성을 유발하거나 고온에 의한 유효성분의 분해 및 변성에 따른 수율 감소와 생리활성 손실이 발생하는 공정상의 단점을 가지고 있다. 반면 생물전환은 미생물 또는 효소를 이용하여 전구물질로부터 기능성 물질을 생산하는 기술로 결합형인 고분자 화합물의 분해를 통해 유리형의 저분자 화합물로 전환하여 추출효율을 높이는 공정으로 과정이 복잡하고 유기용매의 유해성에 대한 문제가 있는 화학적 추출공정과 달리 기질 특이성에 의해 특정 기질과 반응하기 때문에 과반응에 의한 부산물의 생산이 비교적 적게 발생하여 균일한 분해물을 생산할 수 있다.

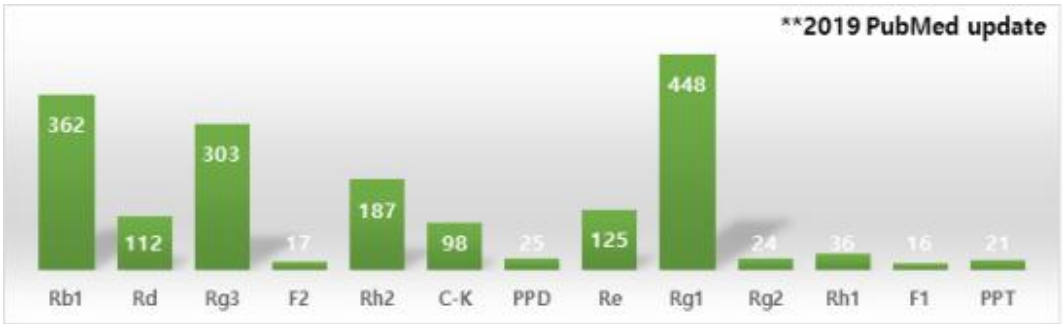
더불어 기질 농도, 미생물의 분해 또는 효소의 기질에 대한 특이성을 통해 기존 물질이 구조적으로 변하면 용해도 유효 성분 함량과 흡수율이 증가함으로써 기능성 증진 및 신규 기능성 부여와 함께 체내 안전성 및 흡수율 개선이 가능하다. 특히, 용매 추출에 비해 상대적으로 낮은 온도에서 공정에서 단백질이나 탄수화물과 결합된 폴리페놀의 가수분해를 통해 유리형으로 전환함으로 부산물 생산 저감과 열분해 감소를 통한 수율 증대의 장점이 있어 천연물로부터 폴리페놀 추출에 있어 효과적인 공정으로 알려져 있다(그림 12).

[그림 12] 폴리페놀 생물전환 제품

2. 인삼 사포닌(진세노사이드)

1) 진세노사이드의 특징

- 인삼의 만병통치와 같은 약리효과는 진세노사이드라는 생리활성 물질에서 나타나며, 홍삼이나 그 분말 및 추출물을 통하여 오랫동안 안전하게 섭취하여 온 식품이며 심각한 독성이 보고된 바가 없다.
- 최근에는 천연물 분취기술이 발달하면서 전체식인 홍삼정이 아닌 각 개별 진세노사이드로 효능테스트를 수행하여 저널에 발표하고 있다. 그 수가 무려 천여 편이 넘는다(그림 13).
- 인삼 사포닌은 콜레스테롤과 유사한 화학적 구조를 가져 콜레스테롤 흡수를 저해하고 배출을 돕기도 한다. 육류 등의 동물성 식품을 장기간 섭취하면 체내에 산화된 지방 덩어리와 비슷한 과산화지질이 발생하는데 이것이야말로 암을 일으키는 요인 중 하나인데 인삼의 사포닌은 과산화지질을 분해하여 암의 근원을 차단한다. 또한 사포닌은 세포 파괴를 저지하며, 돌연변이를 억제해 특히 결장암 발생 확률을 낮춘다. 그리고 체지방으로 축적되는 에너지를 줄여주는 것 역시 사포닌 고유의 역할 중 하나로, 동물 실험 결과 비만 체질을 근본적으로 개선하는 기능까지 있다.
- 최근에는 소비자들이 홍삼 제품에 대해 기능성의 의문점과 피로도가 쌓이는 시점에서 희귀 진세노사이드(Rg3, C-K)들이 다량으로 함유되어 기능이 강화된 홍삼 제품들이 출시되고 있다.



Category	PPD type ginsenosides							PPT type ginsenosides					
Amount	Major		Minor					Major		Minor			
Pharmacological effects	Rb1	Rd	Rg3	F2	Rh2	C-K	PPD	Re	Rg1	Rg2	Rh1	F1	PPT
Structure	Rb1	Rd	Rg3	F2	Rh2	C-K	PPD	Re	Rg1	Rg2	Rh1	F1	PPTol
Neuroprotective	+	+	+		+				+		+		
Anti-angiogenesis	+		+										
Skin healing	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	
Anti-aging	+								+			+	
Cardiovascular		+											
Anti-diabetic	+				+	+		+		+			
Anti-inflammatory		+	+		+	+					+		
Anti-cancer			+	+	+	+	+		+		+	+	+
Improve memory					+			+	+		+		+
Anti-osteoporosis					+								
Anti-oxidant		+	+					+		+	+	+	
Angiogenesis								+	+				

[그림 13] 다양한 주요, 희귀 진세노사이드의 효능과 이에 대한 국제 저널 보고

- 또한, 만성질환을 예방하기 위해서는 약이 아닌 식품으로서 꾸준히 섭취 할 수 있는 홍삼유래 기능성 진세노사이들을 개발하는 시도가 많이 이루어지고 있다. 국내의 대표적인 보양식품은 인삼으로, 예전부터 많은 질병 치료용으로 이용되고 있고, 많은 곳에서 재배를 하고 있으며, 조선시대부터 인삼을 가공한 홍삼이 개발되었고 야산 에서 발견되는 산삼은 보양식으로 아주 고가에 거래가 되고 있다. 인삼의 가공식품인 홍삼의 다양한 기능성에 대한 연구결과가 발표되어있고, 만성질환에 효과가 있음이 발표되었다.

- 이런 진세노사이드의 기능적인 효과를 봤을 때 단일형태의 Rg1, Rg3, C-K(Compound K) 3가지의 진세노사이드를 기능성 소재로 생산하면 만성질병을 예방할 수 있는 제품을 새롭게 개발할 수 있다.(표 6)

- 인삼에서 분석된 진세노사이드의 종류는 모두 182종이지만 5가지의 메이저 진세노사이드가 (Rb1, Rd, Rc, Re, Rg1) 인삼 진세노사이드의 90%이상을 차지하며 나머지 마이너 진세노사이드로 미량으로 존재하지만 뛰어난 흡수력과 약리적 효능들이 밝혀지고 있다. 〈표 6〉에서 기능성 소재로 생산하고자 하는 3개의 진세노사이드 중 Rg1을 제외한 Rg3, C-K는 모두 마이너 진세노사이드에 속하고 메이저 진세노사이드를 마이너 진세노사이드로 전환하기 위한 연구들이 진행되고 있으며, 물리적 방법과 생물학적 방법으로 진행되고 있는 현황이다.

〈표 6〉 진세노사이드와 만성질환에 대한 효과

질환	질병	물질	효과
대사질환	고혈압	Rg1	• 혈압을 낮추는 데는 영향이 없었으나, 고혈압으로 인해 생기는 혈관질환을 예방하여, 그로인해 생기는 심장질환, 신장질환을 예방
		Rg3	• 직접적으로 수축기혈압과 이완기혈압 낮추는 효과
	고지혈증	Rg3	• 고지혈증은 혈소판 응집을 증가시켜 혈관을 막게 되지만, Rg3에 의해서 혈소판 응집이 줄어드는 결과를 보임 • 총콜레스테롤과 LDL을 포함한 간장지질을 감소
	당뇨	Rg1	• 혈당 감소, 인슐린저항성 감소
		Rg3	• 인슐린 생산량 증가, 혈당감소
	비만	Rg3	• 근육에서의 포도당 흡수를 증가시켜 포도당 소모량을 증가 시켜 혈당과 몸무게 감소 • 중성지방의 저장 및 생산을 저해
염증질환	골관절염	Rg1	• 염증저해작용으로 관절염에 효과 • 항염작용으로 인한 인공관절 보호
		CK	• 뼈와 연골감소 예방효과
	류마티스성 관절염	CK	• 염증을 유발하는 cytokine의 생산을 낮추어 관절을 보호
치매	알츠하이머	Rg1	• Amyloid-βplaque accumulation 감소
		CK	• Amyloid-βplaque 제거
기억력 개선	기억 및 학습력	Rg1	• 기억 소거 방지 • 신경 전구 세포의 증식/ 또는 생존 능력을 조절

- 메이저 진세노사이드를 마이너 진세노사이드로 전환하기 위한 전환 방법으로 산·열처리와 같은 물리적인 방법, 재조합효소와 같은 생물학적 방법 등이 있지만 산·열처리 공정은 쉽게 당을 떨어트리는 것이 가능하지만 수율이 낮다는 단점이 있으며, 재조합효소를 미생물을 이용하여 생산 한 뒤 이를 이용하여 원하는 물질을 빠르게 생산할 수 있지만 식품에 이용하기 위해서는 안전성에 대한 이슈를 해결해야 하는 문제가 있다.

2) 진세노사이드의 생물전환, C-K 생산

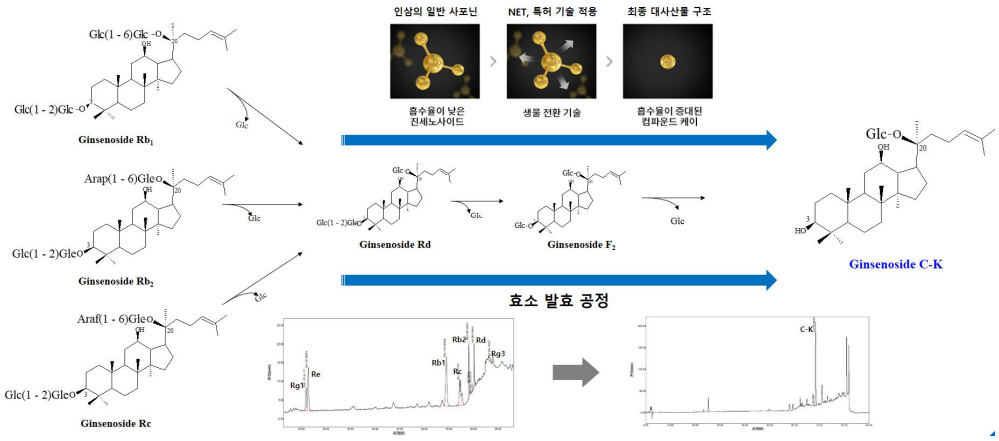
- 희귀진세노사이드(minor ginsenoside) 중에서도 compound K는 인삼에만 들어있는 사포닌으로써 체내에 흡수가 쉽고 강력한 약리 효과를 갖고 있으며, 특히 비타민 C의 40배에 달하는 항산화력을 갖고 있다. 뿐만 아니라 당뇨병과 같은 혈관 염증 질환의 예방과 치료에 매우 중요한 항염증 기능도 갖고 있으며 추가적으로 죽종 형성을 억제하여 동맥경과를 예방해 주며, 면역력 증진 및 간 기능 회복으로 인한 피로 회복 효과에도 탁월하다. 심지어는 항암 효과까지 있다고 저널에 보고되어 있다. 이는 제약 또는 건강기능식품에 접목하여 활용 중에 있으며, 앞으로도 발전 가능성이 무궁무진하다.

- 뿐만 아니라, 화장품 원료에도 접목되는데 피부의 탄력·주름 개선에 큰 효능이 있어 안티에이징 효과를 나타내며 피부 톤 균일화 및 피부를 화사하게 만들어주는 브라이트닝 효과도 갖고 있기에 가능한 일이다. 그리고 최근에 대두되는 미세먼지·초미세먼지로 인한 극심한 피부 속 건조증을 완화 시켜 줄 수 있는 보습 효

과가 탁월하다. 이처럼 compound K는 제약, 건강기능식품 및 미용 등 아주 다양한 분야에서 각광 받고 있는 물질이다(그림 14).

[그림 14] Compound-K의 다양한 효능

- 현재까지 알려진 compound-K 의 생산방식은 효소를 이용하는 방법이다. 첫째는 상업용 식용 효소를 이용하여 전환하는 방식이다. 두 번째는 재조합 효소를 이용하는 방식이며, 세 번째는 유산균 발효를 통해서 이루어질 수 있다. 이 세 가지 방법 중에서 단연코 첫 번째 방식은 식용 효소를 이용한 compound-K 생산 방식은 식용 및 화장품 용도로도 동시에 쓰일 수 있을 뿐만 아니라 전환 효율도 우수하여 매우 각광받고 있다. ㈜에이스엠자임에서는 일반 진세노사이드를 compound K로 전환시킬 수 있는 특수 효소를 곰팡이균 *Aspergillus niger* C2-2에서 추출하여 효율 높게 전환시킨 기술로 농림부 신기술 인증을 2021년에 받았다 (NeT 제 31-102호, 그림 15).

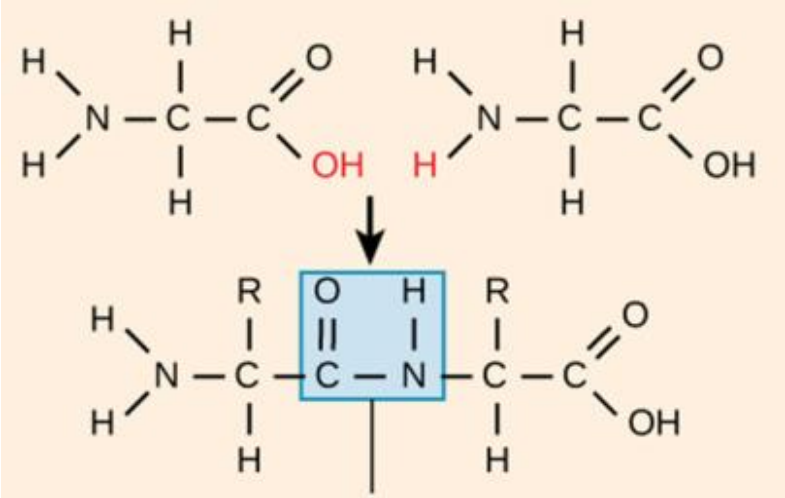


[그림 15] 일반 진세노사이드의 효소를 이용한 C-K로의 전환 모식도

3. 효소분해 단백질

- 단백질 분해효소 프로테아제는 단백질을 분해하는 효소들을 통틀어 이루는 말이다. 단백질 분해 시 펩티드 결합이 끊어지면서 물이 소비되므로, 단백질 가수 분해 효소라고도 한다(그림 16). 단백질을 분해하여 아미노산이나 펩티드 혼합물을 만들며, 단백질을 내부에서 분해시켜 버리고, 다른 펩티드 혼합물의 펩티드 결합들도 분해시켜 버린다. 소화 기관에서 그 분해가 주로 일어나며, 효소의 예로는 펩신, 펩티디아제, 트립신 등이 있다.

- 펩티드 결합의 단백질 가수분해는 수많은 생리학적 과정의 조절을 위한 필수적이고 보편적인 메커니즘으로 인식된다. 네 가지 주요 단백질분해 효소 부류가 프로테아제를 설명하기 위해 일상적으로 사용되고 있다. 세린 프로테아제가 아마도 가장 잘 특성화된 종류이다. 이러한 프로테아제 부류에는 트립신, 키모트립신 및 엘라스타제가 포함된다. 시스테인 프로테아제 부류는 파파인, 칼파인 및 리소좀 카텝신을 포함한다. 아스파르트산 프로테아제에는 펩신과 레닌이 포함된다. 메탈로프로테아제에는 서몰리신 및 카르복시펩티다아제 A가 포함된다.



[그림 16] 펩티드 결합

프로테아제는 더 작은 폴리펩타이드 또는 단일 아미노산에서 단백질의 촉매적 분해를 촉진하기 위해 포괄적인 제품을 제공하여 귀하의 단백질 연구 애플리케이션 필요를 충족시킨다. 또한 프로테아제는 단백질체학에서 일반적으로 사용되며 서열분석에 따른 질량 분석법 분석(직렬 MS)을 위해 단백질을 작은 펩타이드 단편으로 분해하기 위해 적합하다.

트립신은 질량 분석법을 위한 유용한 질량 범위에서 펩타이드를 생성하며 단백질 식별을 위해 가장 많이 사용되는 프로테아제로 인식되고 있다.

프로테아제는 다양한 산업 및 응용 부문에서 상업적 중요성을 가지고 있으며 다양한 애플리케이션을 가지고 있다. 프로테아제는 극한의 pH 또는 고온에서의 가수분해를 포함한 다양한 생리학적 특성으로 인해 제약, 진단, 섬유, 식품 및 음료 부문에서 사용하기에 이상적이다. 이러한 프로테아제의 특정한 애플리케이션은 식이 섬유 검사 및 오염 제거용 정치 세정(clean-in-place) 첨가제를 포함하나 이에 국한되지 않는다.

지단백질 분해 효소 포뮬러 - 아이허브 iherb

지연 방출 베지 캡슐 90정

지저분자 효소분해 단백질 발효 가수분해 프로틴 유청 단백질 mbp 가루

[그림 17] 시판 효소분해 단백질 제품

4. 저분자 콜라겐

1) 콜라겐의 정의

콜라겐은 단백질의 일종으로서, 교원질(膠原質) 또는 아교질이라고 부르기도 한다. 콜라겐 단백질은 여러 종류로 구분되어 있다. 현재까지 모두 28종류의 콜라겐 단백질이 발견되었으며, 그 중 인간에게서 흔히 볼 수 있는 것은 5종류이다. 종류에 따라 뼈나 피부, 연골, 결합 조직 등을 구성한다. 동물의 가죽이나 생선의 비늘도 콜라겐으로 이루어진 것이다.

단백질에도 여러 종류가 있는데, 양질의 단백질이 필요하다면 근육을 단련하고 뼈를 튼튼하게 하는 '콜라겐' 섭취를 권한다. 콜라겐은 뼈·피부·연골·힘줄 등 우리 몸을 구성하는 주요 성분이기 때문이다. 체내 단백질의 3분의 1이 콜라겐일 정도다. 대표적으로 뼈만 보더라도 철골 역할을 하는 콜라겐이 35% 있고, 그 주변을 칼슘과 인이 둘러싸고 있다. 콜라겐이 부족하면 뼈가 약해지고, 근육의 탄력 및 강도가 줄어든다.

콜라겐은 일반적으로 물에 잘 녹지 않으며, 산이나 염기처리와 함께 가열하면 분해되어 젤라틴으로 변한다. 콜라겐과 젤라틴은 투명도에서 큰 차이가 있으며 콜라겐은 자기조립이 가능한 단백질이기 때문에 물 속에서 하이드로젤 상태를 이룬다. 젤라틴에 불순물이 섞인 것을 아교라고 부른다.

2) 콜라겐의 구조

콜라겐은 글리신, 하이드록시 리신, 하이드록시 프롤린이 반복되는 구조를 지니며 type I, type II, type V를 포함하여 6종류 이상이 발견되어왔다.

세 종류의 아미노산이 반복된 사슬을 alpha chain이라 부르며, alpha chain 세가닥이 감긴 것을 triple helix라고 부른다. 일반적으로 이 triple helix 끼리 가교결합이 일어나면서 콜라겐의 복잡한 구조가 형성되게 된다(그림 18).

콜라겐은 자기조립에 의한 복잡한 구조를 가지고 있고 생체조직의 구조적 지지체 역할만이 아니라 세포의 분화, 부착, 이동에 중추적인 역할을 맡고 있다. 콜라겐이 만드는 독특한 사슬구조는 second harmonic generation이라는 비선형광학적 현상을 보인다. 사실상 생물의 진화에 엄청난 역할을 한다.

콜라겐이 들어간 화장품이나 식품 광고가 많기 때문에 미용이나 건강식품의 용도로 많이 쓰일 것처럼 보이나, 실제 산업에서 콜라겐은 젤라틴을 제조하는 경우 외에는 의료용 재료로써 널리 사용되며 적용되는 용도 또한 무척 다양하다. 봉합사(suture)나 조직공학의 지지체(scaffold) 등에도 사용되며 시험관 내에서 동물세포 배양을 위해서도 빈번하게 사용된다.

[그림 18] 콜라겐의 구조

출처: 매경헬스

3) 콜라겐의 특징

콜라겐이 피부나 연골의 구성 성분이기 때문에 먹거나 바르면 피부 탄력 혹은 뼈에 좋다는 이야기가 있어 콜라겐이 많은 음식인 닭발, 닭 날개나 도가니, 혹은 돼지껍질, 족발 등을 즐겨 찾는 사람들이 많으며 이를 노린 콜라겐 제품도 시중에 많이 나와 있다. 그러나 일반적으로 생각해보면 콜라겐도 단백질의 일종이기 때문에 피부나 소화기관으로 흡수되지 않는다.

단백질은 대개 분자량이 큰 고분자물질이고(괜히 분자량을 kda로 세는 게 아니다) 콜라겐도 분자의 크기가 커서 피부가 흡수를 못 한다. 또한 섭취를 했을 때는 소화기관에서 다양한 소화 효소작용으로 분해되어 아미노산이 되며, 이렇게 흡수된 아미노산이 몸 안에서 다시 콜라겐으로 생성될 거라는 보장은 없다. 다시 말해 콜라겐을 먹으나, 콩을 먹으나, 우유를 마시나 일단 단백질이라면 몸에 들어가면 다 똑같이 아미노산으로 분해된다는 말이다. 게다가 콜라겐은 연골이나 각종 결합 조직 및 세포 간 기질의 주요 성분으로 몸 안의 그 어떤 단백질보다도 많이 존재한다. 때문에 합성된 콜라겐이 오로지 피부로만 갈 것이라는 보장도 없는 셈이다.

심지어 콜라겐은 일반 단백질보다 분자량이 커서 인체에 제대로 소화 흡수되지도 않고 90% 이상이 그대로 배출되며, 필수 아미노산이 전혀 포함되지 않아서 좋은 단백질 공급원이라고도 볼 수 없다. 관련 기사 최근에는 육류 콜라겐보다 흡수율이 훨씬 좋다는 어류 콜라겐이 판매되기도 하는데 어류에서 나온 콜라겐이라고 흡수율이 더 좋다는 보장도 없으며, 실제로 흡수율이 더 좋다는 그 어떤 임상시험도 없는 상태다. 사실상 그냥 사기에 가까운 마케팅 전략인 셈이다.

4) 콜라겐의 효능

콜라겐은 보통 글리신과 두 종류의 아미노산으로 구성되니까 콜라겐을 섭취하면 그 원재료가 되는 아미노산을 섭취하는 셈이니 결과적으로 콜라겐 합성이 늘어나 피부가 좋아진다는 반론도 있지만 무엇보다도 콜라겐을 구성하는 주요 아미노산은 모두 비 필수 아미노산이다. 섭취하나 마나 어차피 부족하면 체내에서 알아서 합성된다는 이야기이다. 정 좋은 피부를 가지고 싶거든 보습과 자외선 차단을 하는 게 더 효율적이다. 돼지껍데기나 족발을 하루에 10kg정도 먹는다면 피부가 탱탱해지고 기름이 늘어나 촉촉한 피부 같은 느낌은 든다.

돼지껍질, 족발, 닭 날개 등 일반 식품 속 콜라겐은 분자량이 커서 흡수가 잘 안 된다. 이럴 때 필요한 게 '저분자 콜라겐'이다. 실제로 저분자 콜라겐 펩타이드를 섭취하면 24시간 내에 피부, 뼈, 연골 등에 흡수된다는 사실이 동물 실험을 통해 확인된 바 있다.

한편 피부 건강에도 콜라겐이 중요하다. 피부는 표피와 진피로 나뉘는데, 그중 진피는 콜라겐과 같은 단백질로 채워져 있다. 특히 자외선이 강해지는 요즘 같은 시기에는 자외선으로 인한 피부 손상과 탄력 저하를 방지하기 위해 콜라겐 보충이 필요하다.

콜라겐은 비타민C·D와 함께 먹으면 더 효과적이다. 비타민D는 근육세포의 수용체와 결합해 단백질 합성과 근육세포의 성장을 돕는다. 비타민C는 이미 생성된 콜라겐을 보호하고 유해산소로부터 파괴되는 것을 예방한다.

5) 저분자 콜라겐

저분자 콜라겐은 효소 분해에 의해 어류 콜라겐으로 부터 제조되어 인체에 빠르게 흡수되는 저분자 콜라겐펩타이드를 말한다. 저분자 콜라겐은 총 트리펩타이드(Total tri-peptide(Gly-X-Y)) 함량이 15% 이상이며, 지표 트리펩타이드(Tri-peptide(Gly-Pro-Hyp))를 약 3% 함유하고 있다.

저분자 콜라겐은 섭취 후 피부층에 빠르게 도달하여 피부 속 콜라겐 및 히알루론산의 생성을 촉진시켜 주름 및 탄력을 개선하여 건강한 피부를 만드는 데 도움을 준다.

피쉬 콜라겐은 육류 콜라겐보다 체내 흡수율이 약 42배 높다. 또 체내 흡수에 유리한 '저분자 콜라겐 펩타이드'로도 불리는 데 피부 속 콜라겐과 동일한 구조로 주름 완화와 피부 탄력을 높여준다.

피쉬 콜라겐은 주로 명태나 홍어, 연어 껍질에서 추출한 저분자 콜라겐이다. 어류의 비늘에서 추출한 성분이므로 해산물 알레르기가 있는 사람은 섭취를 피하는 것이 좋다.

피쉬 콜라겐 섭취 시에는 과일주스는 피하는 것이 좋다. 과일주스가 콜라켄 효과를 저해시키기 때문이다. 또 과다 섭취 시 설사나 메스꺼움을 유발할 수 있으므로 하루 권장량만 먹어야 한다. 저분자 콜라겐 펩타이드의 권장량은 하루 1~3g으로 티스푼 1~3스푼 정도가 적당하다.

저분자 콜라겐은 정제, 캅셀, 환, 과립, 액상, 분말, 편상, 젤리, 시럽, 바 등 다양한 제형으로 제조가 가능하다(그림 19).

캘리포니아 골드 뉴트리션

대웅생명과학 어류 저분자 피쉬 콜라겐 펩타이드

[그림 19] 시판 저분자 콜라겐 제품

05 참고문헌

- 김세빈·김다혜·홍지우·김진우(2022). 상업 효소를 이용한 차가버섯 추출물의 생물전환 공정을 통한 생리활성물질 생산과 항산화 활성 증진. Korean Journal of Medicinal Crop Science - Vol. 30, No. 1, pp.12-18
- 르네 뒤보(2006). 과학을 향한 끝없는 열정 파스퇴르. 이재열, 김사열 번역. 사이언스북스 : 서울.
- 이강선·남기열·최재을(2013). 추출방법에 따른 홍삼추출액의 사포닌 조성과 품질특성. 韓藥作誌(Korean J. Medicinal Crop Sci.) 21(4) : 276 - 281
- 식품과학과 산업(2020). 한국 전통발효식품의 현재와 미래발전전략, 한국식품과학회.
- 식품과학과 산업(2020). 장류산업의 현황과 향후 발전 방안, 한국식품과학회.
- 한국과학기술한림원(2015). 발효식품 과학과 산업의 종합발전방향, 2015. 3, 한국과학기술한림원
- 농림축산식품부(2020). 농식품 수출환경 변화대응 이슈조사-품목편, 2020, 농림축산식품부
- 한국농수산식품유통공사(2018). 가공식품 세분시장 현황(고추장, 된장, 간장). 한국농수산식품유통공사
- 홍순광(2005). 생물전환 기술 산업의 발전과 전망. Biozine, 생명공학정책연구센터 : 대전.
- Zhu, X. D., Pang, C. P., Cao, Y., and Fan, D(2016). Biotransformation of cholesterol and 16α, 17α -epoxypregnenolone and isolation of hydroxylase in Burkholderiac epacia SE-1. BiomedRes. Int. 2016, 5727631.
- Cho, E.J ., Trinh, L. T. P., Song, Y., Lee, Y. G., and Bae, H. J(2020). Bioconversion of biomass waste into high value chemicals. Bioresour. Technol. 298, 122386.
- Lee, N. K. and Paik, H. D(2017).Bioconversion using lactic acid bacteria: ginsenosides, GABA, and phenolic compounds. J. Microbiol. Biotechnol. 27, 869-877.
- aTFIS와 함께 읽는 식품시장 뉴스레터-김치, 2020년 8월 4주차, 한국농수산식품유통공사
- aTFIS와 함께 읽는 식품시장 뉴스레터-고추장, 2021년 1월 4주차, 한국농수산식품유통공사
- aTFIS와 함께 읽는 식품시장 뉴스레터-된장, 2018년 11월 4주, 한국농수산식품유통공사
- aTFIS와 함께 읽는 식품시장 뉴스레터-간장, 2021년 1월 2주, 한국농수산식품유통공사
- Bae KC and Kim SH.(1998). Antioxidant effects of Korea ginseng radix, Korea red ginseng radix and total saponin.Korean Journal of Oriental Physiology & Pathology. 12:72-81.
- Choi WY, Lee CG, Song CH, Seo YC, Kim JS, Kim BH, Shin DH, Yoon CS, Lim HW and Lee HY.(2012). Enhancement of low molecular ginsenoside contents in low quality fresh ginseng by fermentation process. Korean Journal of Medicina Crop Science. 20:117-123.
- Han JS, Kang SJ, Nam KY and Choi JE.(2010). Difference of ginsenoside yields in red ginseng parts according to extraction time at low temperature. Journal of Crop Science. 55:299-305.

- Han JS, Li X, Park YJ, Kang SJ, Kim JS, Nam KY, Lee KT and Choi JE.(2009a). Saponin content and quality for the promotion of white ginseng water extraction conditions. Journal of Crop Science. 54:458-463.
- Han JS, Li X, Park YJ, Kang SJ, Nam KY and Choi JE.(2009b). Effects of extraction temperature and time on saponin content and quality in raw ginseng(Panax ginseng) water extract. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 17:352-356.
- Jeong DW, Moon SK, Hong JW, Shin JW, Park YM, Jung JH, Kim CH, Min IK, Park SU, Jung WS, Park JM, Go CN, Cho KH, Kim YS and Bae HS.(2006). Effects of Korean ginseng, Korean red ginseng and fermented Korean red ginseng on cerebral blood flow, cerebrovascular reactivity, systemic blood pressure and pulse rate in humans. Journals of the Korean Oriental Medical Society 27:38-50.
- Kang SY and Kim ND.(1992). The antihypertensive effect of red ginseng saponin and the endothelium-derived vascular relaxation. Journal of Ginseng Research. 16:175-182.
- Keum YS, Park KK, Lee JM, Chun KS, Park JH, Lee SK, Kwon H and Surh YJ.(2000). Antioxidant and anti-tumor promoting activities of the methanol extract of heat-processed ginseng. Cancer Letters. 150:41-48.
- Kim CS, Choi KJ, Kim SC, Ko SY, Sung HS and Lee YG.(1998). Controls of the hydrolysis of ginseng saponins by neutralization of organic acids in red ginseng extract preparations. Journal of Ginseng Research. 22:205-210.
- Kim HS, Lee EH, Ko SR, Choi KJ, Park JH and Im DS.(2004). Effects of ginsenosides Rg3 and Rh2 on the proliferation of prostate cancer cells. Archives of Pharmacal Research. 27:429-435.
- Kim YM, Yoon CE, Kim KH and Lee EW.(2007). Studies on saprogenic bacteria isolated from Korean red ginseng extract product. Journal of Life Science. 17:1394-1399.
- Lee JW, Lee SK, Do JH and Shim KH.(1998). Characteristics of the water soluble browning reaction of korean red ginseng as affected by heating treatment. Journal of Ginseng Research. 22:193-199.
- Lee MR, Sun BS, Gu LJ, Wang CY, Mo EK, Yang SA, Ly SY and Sung CK.(2008a). Effects of white ginseng and red ginseng extract on learning performance and acetylcholinesterase activity inhibition. Journal of Ginseng Research. 32:341-346.
- Lee NR, Han JS, Kim JS and Choi JE.(2011). Effects of extraction temperature and time on ginsenoside content and quality in ginseng(Panax ginseng) flower water extract. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 19:271-275.
- Lee SH, Kang JI and Lee SY.(2008b). Saponin composition and physico-chemical properties of korean red ginseng extract as affected by extracting conditions. Journal of Food Science and Nutrition. 37:256-260.
- Li X, Han JS, Park YJ, Kang SJ, Kim JS, Nam KY, Lee KT and Choi JE.(2009). Extracting conditions for promoting ginsenoside contents and taste of red ginseng water extract. Journal of Crop Science. 54:287-293.
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS).(2013). Health functional food code. Ministry of Food and Drug

Safety. Cheongwon, Korea. p.55-56.

- Park CK, Kwak YS, Hwang MS, Kim SC and Do JH.(2007). Trends and prospect of ginseng products in market health functional food. Food Science and Biotechnology. 40:30-45. Xie JT, Mehendale SR, Li XM, Quigg R, Wang XY, Wang CZ,
- Wu JA, Aung HH, Rue PA, Bell GI and Yuan CS.(2005). Anti-diabetic effect of ginsenoside Re in ob/ob mice. Biochimica et Biophysica Acta. 1740:319-325.
- Yang BW, Han ST and Ko SK.(2006). Quantitative analysis of ginsenosides in red ginseng extracted under various temperature and time. Natural Product Sciences. 37:217-220.
- Yokozawa T, Kobayashi T, Oura H and Kawashima Y.(1985). Studies on the mechanism of the hypoglycemic activity of ginsenoside-Rb2 in streptozotocin-diabetic rats. Chemical & Pharmaceutical Bulletin. 33:869-872.
- Yoon SR.(2010). Optimization of heat processing conditions for improving the functional components and physiological properties of ginseng(Panax ginseng C. A. Meyer). Ph. D. Thesis. Kyungpook National University. p.1-155.

발행일 2022년 9월
발행처 농림식품기술기획평가원
집필진 임완택 (주)에이스엠자임 대표
편집인 농림식품기술기획평가원
문의처 임완택 대표(wandra@hknu.ac.kr)

이 보고서에 실린 내용은 필자 개인의 견해이며, 농림식품기술기획평가원의 공식 견해와 일치하는 것은 아닙니다.

본 발간물에 대한 소유권은 집필진과 발간기관에 있으며, 무단으로 전재·복제하거나 상업적인 목적으로 사용하는 것을 금합니다.

2022년 식품R&D 이슈 5

식품가공 분야의 생물전환에 관한 동향 보고서

발효 및 효소 활용 생물전환을 통한
식품소재의 고도화

비매품/무료
95570
9 791187 998990
ISBN 979-11-87998-99-0 (EPUB2)

IPET 농림식품기술기획평가원