

유용미생물 (EM, Effective Microorganisms)의 활용 현황

문윤희^{1,2}, 이광배¹, 김영준², 구윤모^{1,2*}

Current Status of EM (Effective Microorganisms) Utilization

Yun-Hee Moon^{1,2}, Kwang-Bae Lee¹, Young-Jun Kim², and Yoon-Mo Koo^{1,2*}

접수: 2011년 5월 10일 / 게재승인: 2011년 8월 23일
© 2011 The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering

Abstract: Effective Microorganisms (EM), a fermented medium developed by Professor Higa at the University of the Ryukyus, is a mixed culture containing dozens of microorganisms which are beneficial to nature including people, animals, plants and many microbial species in environment. EM is known to contain more than 80 kinds of anaerobic or aerobic microbes including photosynthetic bacteria, lactic acid bacteria, yeast, actinomycetes, fungi and so on, with yeast, lactic acid bacteria and photosynthetic bacteria as the main species of EM. Antioxidant effect generated by the concert of complex coexistence and coprosperity among these microbes is considered to be the main source of EM benefits. Currently, EM is earning an increasing attention with applications in agriculture, forestry, animal husbandry, fisheries, environment and medicine among others. At the same time, however, a quantitative interpretation of EM system based on a mixed culture model needs efforts from biochemical engineers for efficient production and further promotion of EM. In this paper, we describe the functions of major microbes in EM and current researches and applications of EM in agriculture, forestry, animal husbandry, fisheries, environment and medicine.

Keywords: effective microorganisms, antioxidant, yeast,

lactic acid bacteria, photosynthetic bacteria

1. 서론

일반적으로 자연계에는 여러 미생물들이 모여 혼합된 상태의 군집을 형성한다. 단일 미생물배양이란 자연계로부터 다른 종류의 생명체가 섞여있지 않은 단일 종을 분리하여 배양한 후, 미생물의 기본형태, 구조, 영양 요구조건, 성장에 적합한 환경, 대사산물, 다른 미생물과의 상호관계 및 병원성 등을 조사한다. 또한 특정 대사산물의 생산은 유전자조작, 배양조건 최적화와 적합한 돌연변이의 선별작업으로 증가될 수 있다. 반면, 혼합배양은 두 종류 이상의 미생물을 함께 배양하는 것으로, 예를 들면 첫째, 박테리아는 생장을 위해서 산소와 탄수화물을 소모하고 CO₂와 H₂O를 생산하는데 조류는 CO₂를 탄수화물로 전환시키고 태양빛 하에서 산소를 배출하여 상리적 상호작용을 한다. 둘째, 치즈제조에 사용되는 *Streptococcus lactice*는 젖산을 생산하는데 곰팡이인 *Geotrichium candidum*은 젖산을 물질대사하여 *S. lactis*를 위한 성장조건을 좋게 만들어줌으로써 공생한다. 셋째, *Desulfovibrio* (혐기성)는 SO₄²⁻를 환원하여 악취물질인 H₂S를 생산하는데 H₂S는 황박테리아 (sulfur bacteria)에 의해 에너지원으로 쓰여 악취를 제거한다 [2]. 이 밖에 자연계에 존재하는 유용미생물은 우리나라의 전통음식인 김치, 된장을 포함한 장류, 젓갈을 발효시키는 과정에 존재하여 왔으며, 인체에 섭취되었을 경우 장에서 유용미생물이 해로운 미생물의 성장을 억제하고 중간자적 미생물이 유용미생물의 작용을 도와 인간의 건강에 도움을 줄 수 있도록 작용한다 [3].

EM은 1980년대에 류큐대학 (the University of the Ryukyus, Japan) 농학부 Higa 교수에 의하여 토양개량, 병해충 방제 등을 목표로 2000여종의 미생물을 수집하여 그 중 5과 10속

¹인하대학교 생물공학과

¹Department of Biological Engineering

²초정밀생물분리기술연구센터

²ERC for Advanced Bioseparation Technology, Inha University, 253, Yonghyun-dong, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea
Tel: +82-32-860-7513, Fax: +82-32-873-2773
e-mail: ymkoo@inha.ac.kr

Table 1. Microorganisms in EM (EM certification)

Type of microorganisms	Basic species	works
Lactic acid bacteria	<i>Lactobacillus plantarum</i> (ATCC8014)	Lactic acid production
	<i>Lactobacillus casei</i> (ATCC7469, KCTC3237)	Breakdown of lignin and cellulose
	<i>Streptococcus lactis</i> (IFO12007, KCCM32406)	
Photosynthetic bacteria	<i>Rhodospseudomonas palustris</i> (ATCC17001)	Antioxidant synthesis
	<i>Rhodobacter sphaeroides</i> (ATCC17023, KCTC1434)	CO ₂ , N ₂ fixation
		Amino acid nucleic acids, bioactive substance and sugars synthesis
Yeasts	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (IFO0203)	Bio active substance synthesis (hormones and enzymes)
	<i>Candida utilis</i> (IFO0619)	
Actinomycetes	<i>Aspergillus oryzae</i> (ATCC3004, KCTC1082)	Antimicrobial activity of the soil
	<i>Mucor hiemalis</i> (IFO3358, KCCM12630)	
Fungi	<i>Aspergillus oryzae</i> (IFO5770)	Alcohol, esters and antimicrobial substances
	<i>Mucor hiemalis</i> (IFO8567)	
Others	Beneficial microorganisms in nature combine into EM in the manufacturing process and survive in the mixture of EM at pH level under 3.5.	

* In case species are not available, they can be replaced by those of similar characteristics.

80여종의 유익한 미생물의 조합으로 개발된 액상의 미생물 혼합 배양액으로 광합성 세균, 젖산균, 효모가 EM을 구성하는 주요한 미생물이다 [3,4]. 이들 미생물들은 산소의 존재유무와 관계없이 성장할 수 있는 통성혐기성균으로, 광합성 세균은 탄소원을 유기물에서 얻으며 에너지는 햇빛으로부터 공급받고, 젖산균과 효모는 탄소원을 유기물에서 얻으며 유기화합물을 산화하여 에너지를 얻는다. Higa 교수는 EM의 토양 식물, 수질과 같은 다른 환경에서 이로운 효과를 보았다. 그것은 EM 안의 유용미생물들이 부패가 진행 중이거나 부패가 예상되는 환경에 투입되면 항산화효소 (superoxide dismutase)나 항산화물질, 아미노산, 비타민, 당류, 유기산, 미네랄 및 각종 효소나 호르몬 등을 생성함으로써 발효환경이 조성되고, 따라서 산화된 조건에서 활동하는 유해미생물종을 억제하고 유익한 미생물의 증식을 강화하며 동시에 유해물질의 독성을 없앤다고 제시한다 [3,5]. 또한 그는 미생물을 유용미생물, 유해미생물, 중간자적 미생물로 분류하였는데, EM의 pH는 3.5 이하 이어서 병원성미생물과 유해미생물의 생존이 어려워 유용미생물들이 우세한 군집을 형성한다고 할 수 있다 [5]. 유용미생물은 자연을 소생시키고 유해미생물은 자연을 부패시킨다고 하였다. 모든 배지 (토양, 물, 공기, 인간의 장 등)에서 유용미생물과 유해미생물의 비가 결정적인데, 그 이유는 중간자적 미생물은 소생 혹은 부패를 따르는 경향이 있기 때문이다. 그러므로 Higa 교수는 배지에 유용미생물을 첨가하여 중간자적 미생물이 소생을 따르도록 할 수 있다고 믿는다.

EM은 농업, 임업, 축산, 어업, 환경 전반에 걸쳐 산화, 부패 및 환원작용을 억제할 수 있다. 따라서 병충해, 악취, 오폐수 나아가 노화와 질병의 원인인 활성산소문제까지 EM이 해결해줄 것이라 믿음이 날로 확산되고 있다.

2003년 일본 '에코퓨어' 잡지는 아시아권에서 일본, 러시아, 중국, 태국, 인도, 이스라엘, 싱가포르와 북한 등 38개국, 아프리카에서 남아프리카공화국, 이집트, 카메룬, 앙고라 등 24개국, 아메리카에서 미국, 캐나다, 아르헨티나, 브라

질, 멕시코 등 23개국, 유럽에서 영국, 이탈리아, 네덜란드, 스위스, 독일, 프랑스, 벨기에 등 25개국, 오세아니아에서 호주, 뉴질랜드, 피지 등 6개국 총 116개국이 EM을 사용하고 있다고 보도하였다.

그러나 현재는 EM 용액 자체의 효과에 대한 장점만을 이용하고 있을 뿐 EM 안의 주요 미생물이 어떤 비율로 존재하고 있는지에 관한 연구는 전무한 실정이다. 그러므로 향후 EM의 효율적인 생산과 광범위한 응용을 위해 EM 계에 대한 혼합배양 모델링을 기본으로 하는 정량적 해석이 필요하다.

따라서 본 논문은 현재까지 알려진 정보를 수집하여 EM을 구성하고 있는 주요 미생물이 어떠한 작용을 하며, EM이 농업, 임업, 축산, 어업, 환경과 의학에 어떻게 활용되고 연구되는지를 알리고자 하며, 특히 국내 연구자들에 의한 EM 연구 현황은 Table 2에 요약하였다.

2. 원리

2.1. EM안의 미생물 (Table 1) [6]

2.1.1. 효모

식물뿌리의 유기물질과 광합성 세균이 분비하는 아미노산과 당으로부터 아미노산, 비타민, 식물의 성장 촉진 호르몬, 효소, 다당류 등의 생리활성물질을 만들어 내며, 토양 속에서 식물 세포의 활성화와 뿌리의 분화를 촉진시키고 젖산균과 사상균의 증식을 돕는다. EM안의 대표적인 효모는 *Saccharomyces cerevisiae*와 *Candida utilis*가 있다.

2.1.2. 젖산균

요쿠르트, 치즈등 식품료 제조에 쓰이는 젖산균은 당으로부터 젖산을 생산한다. 젖산은 강한 살균제로써 유해한 미생물을 억제하고 효모와 같은 유용미생물의 증식을 도와 유기물의 급격한 분해를 증가시킨다. 또한 젖산균은 리그닌과 셀룰로오스 같은 유기물의 분해를 향상시킨다. 정장작용, 면역기

Table 2. Studies about EM by Korean researchers

분야	저자	논문 제목	연구 결과
농업	안승원 이국환 [50]	유용미생물 및 생광석처리가 쪽파의 생육 및 향산화물질 생성에 미치는 영향	EM 발효퇴비 (EM과 쌀겨 혼합 발효퇴비) 및 생광석 (1200 mesh) 처리가 쪽파의 크기, 신장 및 무게에 큰 영향을 보이지는 않았지만, DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 방법을 사용하여 쪽파의 향산화물질 측정 결과 EDA (Electron donating ability)가 무처리구와 비교하여 평균 9%가 증가함을 확인하였다. 쪽파의 종구는 제주도, 안면도, 경북 예천, 전남 무안, 충남 예산의 쪽파 종구를 사용하였다.
	안승원 [55]	친환경농업 상추재배의 EM 미생물제제 시용효과에 관한 연구	상추를 1)화학비료 100% 처리구, 2)EM 미생물제제 발효 유기물 처리구, 3)살균 후 EM 미생물제제 발효 유기물 처리구, 4)무처리구로 나누어 실험한 경우 EM 미생물제제의 공통적 특징은 총질소 함량은 감소시키고 향산화물질 (비타민류)과 생리활성물질 (BSL)을 증진시켜 맛있는 상추를 생산하는 친환경농법이 가능함을 보였다.
농업	강봉균 송창길 [56]	미생물제 액비의 엽면사비에 따른 알타리 무의 생육 및 수량형질 변화	알타리 무를 정식 전에 미생물제제로 처리하여 60일 경과 후에 생육을 조사한 결과 무처리 구에 비해 미생물제제 처리구가 엽장, 엽폭, 엽록소함량치와 무게가 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.
	석운영 외 4인 [57]	EM 활성액, 키토산 및 목초액 처리가 토양 미생물상의 변화 및 잎 상추의 생육에 미치는 영향	키토산, 목초액 및 EM 활성액을 각각 50배와 100배로 희석하여 처리한 결과 잎 상추의 생육은 전반적으로 무처리구에 비해 양호하였다. 특히 키토산 100배액 처리구가 다른 처리구에 비해 엽면적과 생체중 그리고 토양 미생물 수가 다소 증가하는 경향을 보였다.
	정순계 외 5인 [58]	키토산, 목초액 및 EM 처리가 토양 미생물상의 변화 및 토마토의 초기 생육에 미치는 영향	키토산, 목초액 및 EM 활성액을 각각 100, 500, 1000배 희석하여 처리한 결과 토양미생물 수는 무처리구와 비교하여 약간 증가하였고, 토마토의 초기 생육은 전반적으로 무처리구에 비해 양호하였다. 특히, 친환경자재간에는 키토산이 다른 자재에 비해 우수하였고 처리간에는 키토산 500배액이 가장 효과가 있었다.
	윤성탁 외 2인 [59]	미생물제제를 이용한 친환경 비생산체계에 관한 연구	EM을 0.5L/10a, 1L/10a, 1.5L/10a로 처리한 경우 수잉기의 엽면적은 1.5L/10a를 처리하였을 때 3228.5cm ² 로 가장 높았고, 무처리구는 EM 1.5L/10a 처리구에 비해 70.2% 수준이었다. 그러나 10a 당 쌀 수확량은 EM 1L/10a 처리구가 654.3kg으로 가장 높았다.
축산	한승관 [51]	유용미생물로 사양한 EM pork의 육질 개선 효과	EM 발효액 (10% v/v EM, 10% v/v 당밀, 80% v/v 물)을 음수 및 사료량의 20%가 되게 첨가하여 사양한 돼지 육질의 콜레스테롤 함량 측정 결과, 일반돈육은 평균 83 ± 4 mg/100 g인데 반하여 EM Pork는 71 ± 3 mg/100 g의 함량을 보였다.
	강경호 외 3인 [25]	양돈장 분뇨의 부숙 과정에서 DO 변화와 EM 첨가에 따른 오염물질 및 악취저감 효과의 비교	1)초기 DO 농도 2.5 mg/L와 EM 무처리, 2)초기 DO 농도 7.5 mg/L와 EM 무처리, 3)초기 DO 농도 2.5 mg/L와 EM 처리에서 유기물 분해를 위한 CODcr (산소요구량)은 각각 69%, 76%, 82%, NH ₃ 제거율은 82%, 86%, 98%, 황화물 제거율은 38%, 57%, 70%로 EM 처리구가 무처리구와 비교하여 더욱 효과적이었다.
수산업	문상욱 외 3인 [61]	EM 첨가사료에 의한 넙치, <i>Pararichthys olivaceus</i> 의 성장효과	대조군과 비교하여 EM 희석액 (0.2%, 1%)을 투여한 실험구에서 생존율, 체중과 총 생산량이 높았으며 수조벽면에 병원성 미생물의 역제력이 높은 광합성세균과 유산균이 출현하였다.
	윤승현 [71]	유용미생물을 이용한 양어장 수질 개선	<i>Rhodobacter sphaeroides</i> 2.4.1을 호기성·혐기성·광조건·암조건에서 조합하여 배양한 경우 호기성·광조건에서의 성장률이 가장 우수하였고, 장어양식장에서 8주 경과 후 대조군과 광합성세균을 첨가한 사육조의 COD농도는 각각 150.92 mg/L와 63.80 mg/L, 총질소 농도는 각각 127.30 mg/L와 62.02 mg/L, 총인 농도는 각각 49.10 mg/L와 13.75 mg/L로 감소하는 경향이 뚜렷하였다.
환경	김영준 [52]	유용미생물을 이용한 경기도 성남시 분당구하천(탄천)의 악취저감 효과 평가	탄천 악취 해소 효과를 확인하기 위해 대표적인 악취지표물질인 황화수소 농도를 가스검지관법으로 분석/비교한 결과 유용미생물을 사용한 사업구간에서는 0.1 ppm이하인 반면 비사업구간에서는 악취방지법 기준 황화수소 배출허용농도인 0.02 ppm을 웃도는 수치인 0.76 ppm이 감지되었다.
	윤기석 외 4인 [53]	유용미생물을 이용한 발효폐액의 악취 제거	유용미생물에 당(10g/l)을 첨가하여 오일을 제거시킨 발효폐액에 처리한 경우 무처리구와 비교하여 악취물질인 황화수소(H ₂ S)가 1/10 이하, 메틸머캅탄(CH ₃ SH)은 1/3 이하로 현저히 감소되었다.
	이장훈 외 2인 [54]	음식폐기물 퇴비화에서 유효 미생물 분리 및 첨가에 관한 연구	음식물쓰레기로부터 퇴비화에 관여하는 미생물을 분리한 후 음식물쓰레기에 접종하여 발효시킨 결과 미생물 처리구의 염분제거율은 대조군 대비 4% 증가, 퇴비화에 관여하는 고온성 미생물 수는 대조군 대비 10 ³ cfu/g가 많았으며 탄수화물, 단백질, 지방, 셀룰로오스를 분해하는 세균과 진균의 수는 대조군 대비 10 ¹ ~10 ² cfu/g가 더 높았다.
	김영규 외 2인 [60]	EM 발효와 염분 기작과의 관계에 관한 연구	EM 발효과정에서 염분거동을 파악하기 위하여 액상에서 EM 발효(쌀가루, 설탕, EM을 3%로 균일하게 첨가하고 증류수로 1L가 되게 하여 40°C에서 발효)를 통해 염분 농도를 측정하였는데 약 5% 정도 저감되는 것으로 확인되었다. 염분의 저감 기작은 Na ⁺ 가 EM 발효 과정에서 발생한 유기산과 결합하는 과정에서 용존 염분이 저감되는 것으로 나타났다.
환경	고성철 외 2인 [62]	유효미생물 (EM)에 의한 음식물쓰레기의 효율적 처리 및 자원화	음식물쓰레기 (5-8 kg)에 EM 3%를 첨가하여 발효시킨 지 4일째 현저한 악취 (암모니아와 황화수소) 제거 효과를 보였다. 음식물쓰레기의 염분은 발효침출액으로 34%까지 제거되었고 발효침출액은 배추와 쫓갓의 말아줄을 각각 5%와 10%로 증가시켰으나 배추와 쫓갓의 어린 식물 성장 증가에는 영향을 주지 않았다. 음식물 퇴비를 미경지에 처리하였을 때 토양 pH가 향상되었고 유기물, 가용성인과 칼슘의 함량이 증가되었다.
	고성철 현해남 [63]	EM으로 처리된 음식물쓰레기가 토양에 미치는 영향	음식물 퇴비처리구는 대조구 (화학비료 및 시판 유기질 비료 처리구)에 비해 pH상승효과를 보였고 토양유기물 함량이 화학비료처리구에 비해 현저히 증가되었으며 토양 질소와 가용성인 함량도 대조구에 비해 두드러진 증가를 보였다. 또한 음식물 퇴비처리구의 염분함량이 화학비료대조구에 비해 약 3배 정도 증가하였지만 배추를 재배한 경우 대조구와 비슷한 수준으로 감소 하였고 음식물 퇴비처리구가 상용유기질처리구에 비해 현저한 생육촉진효과를 보인 반면 화학비료처리구에 비해서는 약간의 효과만 있었다.

분야	저자	논문 제목	연구 결과
정병곤 [64]	이은영 [65]	소규모 오수처리시설의 효율향상을 위한 EM 적용 기술	반응조의 혐기 호기 환경을 번갈아가며 조성하고 EM을 주입할 경우 기존 정화시스템보다 폭기시간을 줄이고 반응기의 효율을 높일 수 있었다.
		통성혐기성 수소생산균주 <i>Rhodospseudomonas</i> sp. MeL 6-2를 이용한 수소생산효율에 미치는 포도당 및 자당 농도의 영향	안양천 공단 슬러지에서 MeL 6-2를 분리하였고 분리 균주는 통성혐기성인 <i>Rhodospseudomonas</i> sp.였다. 무기염 배지에 포도당과 자당을 각각 1-12g/l의 범위로 첨가할 경우 포도당과 자당에 의한 수소 비생산속도는 지속적으로 증가하여 각각 8 g/L에서 최대값인 14.7 mmol-H ₂ /mg-DCW-h와 163 mmol-H ₂ /mg-DCW-h를 나타내었고, 최대 수소생산수율은 각각 3.1 mmol-H ₂ /mmol-glucose와 4.5 mmol-H ₂ /mmol-sucrose이었다. 그리고 포도당을 사용한 경우는 <i>Rhodospseudomonas</i> sp.가 lag phase 없이 성장하였으나, 자당을 사용한 경우는 10 시간의 지체기 후 원활한 성장을 보였다.
경	이은주 외 4인 [33]	노성희 김성일 [66] SBR 공정에서 유효미생물이 생물학 적 영양염 제거에 미치는 영향	SRB (sequencing batch reactor)의 운전주기는 24시간을 1 cycle (30 min fill, 3h anaerobic, 14h aerobic, 4h anoxic, 2h settling, 30 min draw)로 하여 EM과 C/N비를 적절히 유지하며 운전한 결과 질소와 인의 제거율은 각각 98%와 92%였고 영양염류의 제거에도 기존의 활성슬러지를 이용한 경우와 비교하여 효과적이었다.
		태안 유출 원유의 생물정화를 위한 유효미생물 적용	원유 유출 7일이 지나 태안 백리포 해안가 모래 토양에 EM을 처리하여 2일이 지난 경우 처리 전 농도에 비해 TPH (total petroleum hydrocarbon) 농도는 68.5% 감소하였고, 처리 6일 후에는 71.8%가 감소되었다. 반면 대조구는 각각 47.3%와 60.6%의 감소를 보였다.
한승관 [67]	한승관 [68]	EM pork의 향산화 효과 및 콜레스테롤 함량 변화	돼지사육은 자돈부터 출하 시까지 일정량의 EM 활성액과 EM 생균제 및 천연항생물질을 100 : 1의 비율로 급여하였다. 전반적으로 EM pork는 일반돼지에 비해 약 11% 정도 향산화 효과를 보였고 콜레스테롤 함량은 약 15% 정도 감소 효과를 나타냈다.
		돼지고기에 대한 EM 함초 발효액의 향산화 효과	EM 함초 발효액의 지방산패 억제효과를 알아보기 위해 TBA (thiobarbituric acid) 방법을 이용하였고, 온풍 건조한 함초의 잎과 줄기에 비하여 뿌리 부분을 EM으로 발효시킨 EM 함초 발효액의 경우 저장 14일에서 TBARS (thiobarbituric acid reactive substances)치가 0.09 mg/kg으로 대조구 0.48 mg/kg보다 5.3배 정도의 향산화 효과를 나타냈다.
의학	Jeong Su Do 외 3인 [70]	한승관 [69] EM과 관련된 유산균을 첨가한 발효육의 산화억제 효과 [58]	유산균을 돈육에 첨가하여 시간에 따른 발효 돈육의 향산화 효과를 TBA 방법으로 측정하였다. 대조구는 저장 3일째 TBARS치가 0.19 mg/Kg을 나타낸 반면, 유산균을 첨가하여 37℃ 3일간 정지배양한 발효육제품의 TBARS치는 0.02 mg/Kg으로 나타나 9배 정도의 향산화 효과를 보였다.
		Effective microorganism s (EM) fermentation extract attenuates airway hyperreactivity and lung inflammation in a mouse model of asthma	EM-1을 알러지물질에 노출되어 있고 천식이 있는 쥐 (mouse)에 흡입시켰을 경우, 알러지물질에 type 2 helper T 세포가 억제 시킴으로써 기도 과민반응 및 염증이 줄어들었고 폐의 염증이 완화되었다. 그러나 천식환자의 염증매개물질인 8-isoprostane과 IFN-γ의 양은 변하지 않았다. 반면, IL-4, IL-5와 IL-13은 대조군과 비교하여 유의하게 감소되었다. 또한, 혈청에서 알러지물질에 반응하여 알레르기를 유발하는 IgE와 IgG1은 상당히 적은 양이 검출되었으나 IgG2a의 양은 거의 변화가 없었다.

능향상, 항중양성, 콜레스테롤 억제와 혈압조절작용 등을 하여 인간의 건강에 도움을 주는 미생물임이 확인되고 있다. EM 속의 유산균은 *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*와 *Streptococcus lactis* 등이 있다.

2.1.3. 광합성 세균

독립 영양체로써, 유기물과 아미노산, 핵산, 생리활성물질의 합성에 관여한다. 논, 호수 등 모든 곳에서 발견되며, 유기물과 무기물의 대사과정에 태양에너지를 이용한다. 광합성 미생물이 생산하는 대사산물은 유용미생물 모두의 생존 증식에 도움을 주어 미생물총의 다양성을 증가시킨다. 예를 들어 근권에서 내생균근균은 광합성 세균에 의해 분비된 기질을 이용함으로써 질소화합물의 가용능력이 증가되며, *Azotobactor*와 함께 질소 고정 능력을 향상시킨다. 유기영양 균인 효모나 유산균 등과 공생하고 유기물이 내는 악취물질 (예, 황화수소와 암모니아)을 제거한다. EM안의 광합성 미생물의 예로 *Rhodospseudomonas palustris*와 *Rhodobacter sphaeroides*가 있다.

2.1.4. 방선균

토양 속이나 마른풀 위에 붙어 살며 세균과 곰팡이의 중간적 성질을 가진 미생물로 균사와 같은 것을 사방으로 뻗어가며 성장한다. 현재 5,000여종의 방선균이 확인되었는데 그 중 2/3이상이 *Streptomyces* sp.에 속하고, EM에서는 *Streptomyces albus*와 *Streptomyces griseus*등이 존재하여 항생물질과 같은 생리활성물질을 생성한다. 그 항균물질은 병원균, 유해

한 곰팡이나 세균류의 증식을 억제하여 다른 유용한 미생물이 살기 좋은 환경을 만든다.

2.1.5. 사상균

사람의 눈으로 쉽게 볼 수 있는 곰팡이 균으로 효모와 달리 균사와 포자를 다량 만든다. 사상균 중에는 유해균도 있으나 EM 내의 누룩균인 *Aspergillus oryzae*와 *Mucor hiemalis* 같은 유용미생물도 많다. 특히, *Aspergillus oryzae*는 쌀을 당화하는 역할을 하여 막걸리나 약주의 제조과정에 쓰인다. 유기물을 빠르게 분해하여 알코올, 에스테르류, 다당류 등 여러 가지 생리활성물질을 생성하여 유용미생물의 증식을 돕고, 악취를 저감하며, 유해균총의 침입을 방지한다.

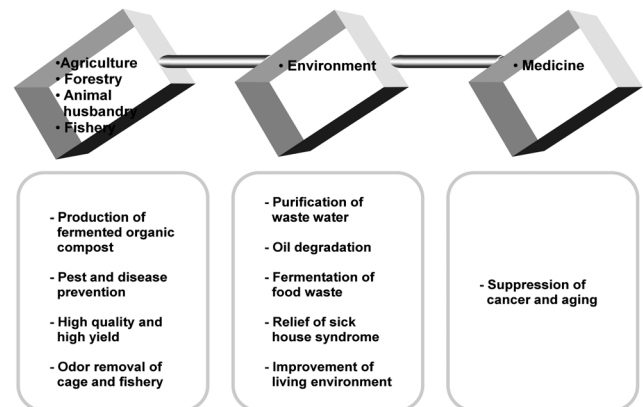


Fig. 1. Application fields of EM.

2.2. EM의 이용 분야 (Fig. 2)(Table 2)

2.2.1. 농업·임업

농업 분야에 있어서 EM활성의 원리는 작물의 수확량을 증가시키는 미생물종의 다양성을 증가시키는데 있다. EM의 중추적 역할을 하는 광합성세균은 다른 미생물과 상승효과를 통해 식물에 영양요구를 제공하고 질병을 줄인다 [7]. EM용액에 포함된 미생물은 Table 1과 같이 크게 5가지 미생물로 이루어져 있다. 이 미생물군의 특징은 유기물을 분해하면서 항산화물질을 생성하여 토양의 항산화능력을 증대시켜 유기영양이 가능한 것으로 알려져있다 [3,8].

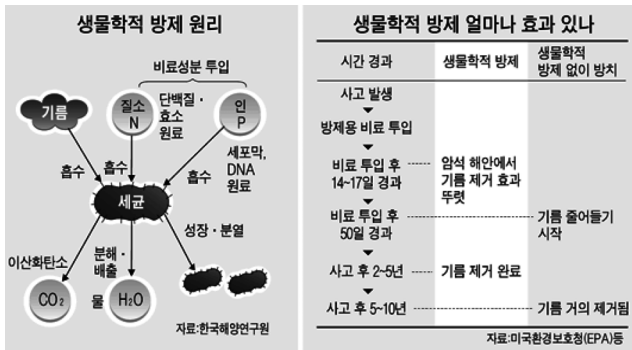


Fig. 2. Biological control principle using microbial oil degradation with an example of the Exxon Valdez accident (Joongang Ilbo).

Kinjo는 유기물에 EM을 5일 동안 처리하여 생산된 아미노산의 양은 EM을 처리하지 않은 경우보다 상당히 높음을 발견하였다 [9]. 또한, EM을 토양이나 식물 잎에 분사함으로써 광합성미생물과 질소고정미생물의 수가 증가한다고 하는데 Ruinen은 식물 잎 표면에서 질소고정 박테리아를 찾았고 [10], Pati와 Gupta는 식물 잎 표면의 질소고정 박테리아가 작물 수확량을 높인다고 보고하였다 [11-13]. 그러나 작물 수확량과 식물에 있어서 EM의 적용은 종종 모순된 효과가 보고되거나 영향이 없는 것 또한 보고되고 있다 [6,14-20]. 환경 보전형 농업으로서 EM을 이용한 채소류 및 과일류의 재배와 일반 재배경우를 비교할 때 (Table 3) 생활수준 향상으로 인한 소비층의 선호도와 고수익으로 경제적 효과가 큰 것으로 나타났다 [21].

2.2.2. 축산·수산업

가축과 어류의 사료나 음용수에 EM 발효액을 희석하여 섞어 줌으로써 질병에 대한 내성증가와 증체량의 증가로 건강하게 성장할 수 있도록 도와 폐사율을 줄이고 육질을 향상시켜 상품의 가치를 높일 수 있다 [22,23]. 또한 EM 활성액을 축사에 분무한 경우 광합성 세균이 가축의 장내에서 발생하는 유해가스나 분뇨의 악취 물질인 탄산, 질소, 유황 화합물을 먹이로 하여 증식하면서 초산, 프로피온산, 낙산, 길초산 등을 급속히 제거하고 불쾌도가 높고 맹독성을 지닌 2급 아민 화합물과 hydrogen sulfide, mercaptan 류도 제거한다. 이렇게 쾌적한 환경이 조성되면 질병의 발생을 억제하고 스트레스를 줄임으로써 고밀도 사육에서도 가축을 건강하게 키울 수 있다 [22]. 양돈농가와 액비화 과정에서 발생하는

악취를 감소시키기 위해 사료의 급여를 최소화하거나 사료에 첨가제를 넣어 악취 원인물질의 생성량을 근원적으로 감소시키는 방법과 발생된 악취를 감소시키는 약액처리법, 흡착법, 마스킹법, 생물학적탈취장치를 사용하였으나, 최근에는 분뇨처리시 악취물질을 제거할 수 있는 미생물제제 (예, EM)나 복합효소제제를 첨가함으로써 잔여물의 안정화는 물론 악취도 동시에 제거할 수 있는 처리방식이 새로이 도입되고 있다 [23-25]. EM 안의 광합성 세균은 크기가 1 μm 정도로 작고 운동성이 있어 1개 내지 수개의 편모를 가지고 있다. 이 편모는 갑각물질을 포함하고 있지만 세포막과 세포벽은 클로렐라 등의 조류와는 달리 대단히 탄력성이 있는 부드러운 점액 다당류를 포함한다. 이는 가축이나 어류가 포식하였을 때 소화·흡수율이 높아 종돈과 어린 가금류 및 플랑크톤과 치어의 초기사료로써 높은 가치를 지니고 있다. 양어장의 수질개선 면에서 광합성 세균은 질소고정력이 뛰어나 양어지의 암모니아나 아질산 등의 질소화합물을 신속히 제거하며 유기오염물을 먹이로 흡수하여 수질을 좋게 한다. 그러므로 겨울철에 적은 양의 환수를 가능하게 하여 수온유지비를 감소시킬 수 있으며 조류의 증식을 촉진시켜 생물학적 수질정화효율을 극대화시킨다 [22].

2.2.3. 환경

환경분야에서 EM은 수질정화, 악취제거, 유류분해, 음식물 쓰레기의 유기퇴비화에 이용될 수 있을 뿐만 아니라 아토피와 각종 질병을 일으키는 새집증후군의 예방에도 사용될 수 있다. 수질은 생활 하수와 가축 사육과 공장으로부터의 오수가 하천에 유입되면서 발생하는 유기물 및 영양염류에 의해 미생물의 과다 증식으로 오염된다. 제주도의 천지연은 EM과 황토로 흡공을 만들어 하천에 투하하여 자정능력을 회복하였고, 생활하수의 유입으로 몸살을 앓던 제주의 안덕계곡도 생활하수 유입 부분에 EM 발효액을 점적법으로 투입하여 복원되었다 [26]. 또한 성남시 [27], 고양시와 당진군은 맑은 하천 가꾸기 사업의 일환으로 EM을 이용하여 수질을 개선하고 악취를 제거하여 비용 절감을 시도하고 있다. Rashid는 생활 하수의 오염물질과 병원균을 제거하기 위해 EM과 개구리밥 (duckweed)을 처리하였는데 무처리한 경우보다 암모니아태질소 (ammonium nitrogen), 인 (phosphorous), 부유물, 생물학적 산소요구량 (BOD)과 대장균수가 3달 후 급격히 감소함을 보였다 [28]. Szymanski와 Patterson은 EM을 적용하여 저비용으로 오수 정화조 (septic tank)에서 생산되는 하수찌꺼기의 부피를 감소시킴으로써 환경에 대한 악영향의 완화 가능성을 보였으며 [29], Okuda는 Gushikawa 시 도시권의 폐수를 EM 처리하여 여과하는 과정을 거쳐 pH, BOD (biological oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), 부형고형물 (suspended solids), 질소와 인의 농도를 각각 측정하였는데 대조군 (primary tank)과 비교하여 EM 처리 (second pond)하여 여과한 물 (third pond)의 pH는 7.63 (대조군), 7.00 (EM 처리), 7.06 (여과)이었고, 이하 BOD 등이 모두 감소하였다. 이러한 영양분들의 감소는 부분적으로 미생물의 이용에 기인하며 정화된 물과 처리된 슬러지를 비료로 하여 작물 (오이와 토마토)을 재배하였을 경우

식물의 키, 잎의 수, 무게, 비타민과 클로로필 (chlorophyll)의 양이 증가되었다. 그리고 염소 처리된 수돗물에 EM (100 g of EM-X and EM-X ceramics per 100 liters water)을 처리한 경우 유해 요인이 제거됨을 확인하였다 [30]. 말레이시아 정부는 지속적인 개발을 위해 환경에 대한 인식이 가장 결정적인 요소라고 여겨 EM technology를 이용하여 수질 개선에 힘쓰고 있으며 [31], 이러한 EM 적용에 대하여 Higa 교수는 EM의 수처리과정 및 에너지흐름의 관점에서 EM의 항산화과정과 자연산화과정을 비교함으로써 환경개선에 중요한 역할을 할 수 있음을 설명하였다 [32].

우리나라는 육상자원이 부족하고 영토가 협소하여 동·서·남해 삼면의 풍부한 해양자원을 개발하고 보전해야 할 필요성 때문에 해양환경의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 그러나, 우리나라 연안은 공간적으로 협소하고 복잡한 반면에 경제성장 및 수출입 증대에 따른 해상교통량의 증가와 이들 선박을 운항하는 선원들의 자질하락으로 선박에 의한 해양오염 사고발생이 지속적으로 증가되고 있으며 오염사고의 규모도 점차 대형화되고 있는 추세에 있다. Lee 등은 2007년 12월 7일 오전 서해안 태안반도 해안에 정박 중이던 홍콩 선적 14만6천 톤급 유조선 ‘헤베이 스피리트 (Hebei Spirit)’호가 삼성중공업 소속 1만 1천 800 톤급 해상크레인 과 충돌하면서 12,547 kl의 원유가 유출되는 사고가 발생하였을 때, 원유 유출 피해를 입은 서해안 모래 갯벌에 유용 미생물을 적용하여 원유 분해를 통한 생물학적 방제 복구 및 복원 노력을 극대화하는 대안을 제시하였다 [33]. 실제로 1989년 3월 유조선 Exxon Valdez호 오염사고 당시 미국 알래스카에서도 이러한 방법이 효과를 보였다. 미국 환경보호청 (EPA)은 기름 분해 세균을 투하하고 사고 석 달 뒤 질소, 인과 같은 영양분을 해안 120 km에 뿌려, 5~10년 걸리는 기름 분해를 2~5년 만에 종료한 것으로 보고하고 있다. (Fig. 3). 전체 쓰레기 처리에 소요되는 막대한 비용과 매립지 확보가 더욱 어려워지고 있는 상황에서 음식물쓰레기의 적정 처리를 통한 감량화 및 자원화는 효율적인 쓰레기 정책의 실용화를 위해서 매우 중요하다. 특히 음식물쓰레기는 시각적인 불쾌감을 유발하고 취급과 보관이 어려워 많은 민원의 대상이 되고 있을 뿐만 아니라 매립지 침출수의 주요 발생 원이며 부패하여 악취를 유발하고 매립지의 지반침하를 일으킬 수 있다. 이와 같은 처리상의 난점을 해결하기 위해 발효에 의한 퇴비화나 사료화로 재활용이 시도되고 있다. EM의 첨가가 각종 쓰레기의 분해 및 퇴비화를 촉진시킨다는 연구결과가 보고되었다 [34,35]. 일본의 Kani시는 음식물쓰레기를 EM으로 발효시켜 퇴비는 토양의 유기비료로 사용하고 발효액은 부엌, 욕실, 화장실의 배수구에 흘려주어 배수시설과 하수관 안의 오염물질과 악취를 제거하였다 [36]. 경기도 시흥시에서는 음식물찌꺼기를 EM으로 발효시켜 지렁이 사육을 실험하였다. 음식물찌꺼기가 그대로 부패하면 유독가스가 발생되고 대부분의 영양분이 파괴되기 때문에 지렁이가 서식하지 못하나 음식물찌꺼기를 EM으로 발효시키면 이러한 문제점이 해소되기 때문에 지렁이를 사육할 수 있다 [37]. 이 밖에 새집증후군은 아토피 등 여러 질병을 일으키는데, 이에 대한 예방법으로 건물을 신축할 때 도료,

접착제, 콘크리트에 시판되는 EM 세라믹 파우더를 첨가하면 새집증후군의 원인 물질인 포름알데히드를 비롯한 각종 유해물질을 흡착, 제거하여 쾌적한 주거환경을 조성해 줄 수 있다 [38].

2.2.4. 의학

2.2.4.1. EM-X에 포함된 항산화물질 (Table 3) [39]

활성산소는 정상적인 대사과정 중 체내에서 생성되어 인체의 구성성분과 반응하여 산화적 손상을 유발함으로써 노화와 만성질환을 일으킨다고 알려져 있다. 이러한 산화물질을 제거하는 물질인 항산화제는 인체 내에 자연적으로 존재하는 것과 외부에서 투여해 주는 것으로 나눌 수 있는데, 인체 내에 자연적으로 존재하는 항산화제로는 과산화물제거효소 (SOD, superoxide dismutase), 카탈라아제 (catalase), 글루타치온 페록시다제 (glutathione peroxidase) 등의 효소와 요산 (uric acid), 빌리루빈 (bilirubin) 등이 있으며 외부에서 투여해 주는 것으로 비타민 (vitamin) A, C, E, β -카로틴 (carotene)과 미네랄 중에는 셀레늄 (selenium)이 대표적이다. 외부에서 투여해 주는 항산화제의 일종으로, EM-X는 가공하지 않은 쌀, 파파야, 해초에 젖산균, 효모와 광합성 미생물을 접종하여 발효시킨 후 미생물을 제거한 항산화 음료이다. EM-X는 40개 이상의 미네랄 (항산화물질인 flavonoids, kaempferol, panaxin, quercetin, lycopene, oryzanol, ascorbic acid, tocopherol, ubiquinone)과 생리활성물질 (nucleotide, peptide와 nicotinamide mononucleotide, nicotinamide adenine dinucleotide, L-alanine, L-glutamine과 같은 amino acid)로 구성되며 [39,40], 동남아 지역에서 음료로 이용되고 있고 임상실험 중이다.

Higa 교수는 암, 고혈압, 당뇨, 관절염, 다양한 알러지, 화학물질 과민증, 에이즈, 결핵 및 다른 전염성 질환에 EM-X 사용을 제안하였는데 [41], 실제로 이러한 제안을 증명하는 활발한 연구가 의학 분야에서 이루어지고 있다. 그 예로 EM의 2세대인 EM-X2를 MDA-MB231 breast cancer cell line과 K-562 chronic myelogenous leukaemia cell lines에 처리한 것 [42], EM-X2가 Hep3B hepatocellular carcinoma (HCC) cell line과 KG1a acute myelogenous leukaemia (AmL) cell line에서 세포사멸을 유도하면서 세포의 증식을 막는 현상 [43] 등을 들 수 있다. 그리고 EM-X는 쥐와 초파리의 혈장 내 superoxide dismutase의 농도를 증가시켜 활성산소를 제거하고 면역기능을 조절함으로써 생명을 연장시킨다는 연구보고 [44]와, EM-X를 쥐에 지속적으로 처리하면 N-methyl-D-aspartate으로부터 망막 신경세포를 보호할 수 있다는 연구보고가 있다 [45]. 더불어, 산화적인 스트레스는 다양한 염증 반응을 중재하는 chemokine interleukin-8 (IL-8)을 생성하는 염증을 일으키는 유전자의 발현을 촉진시킨다. Human alveolar epithelial cells (A549)에 EM-X (100 μ L/mL)를 처리하여 항산화력의 가능성을 보였다 [46]. Aruoma 등의 연구에서 EM-X를 처리한 경우의 CD (conjugated dienes) 값은 무처리한 경우와 비교하여 신장에서는 27%, 간에서는 19%의 감소를 보였으나 글루타치온과 α -tocopherol은 크게 영향 받지 않았다 [47]. Ke 등은 mouse와 rat에 EM-X를 구강 투여하

여 급성독성시험 (acute toxicity test), 만성독성시험 (chronic toxicity test), 돌연변이여부 (mutagenic test)를 조사하여, 결론으로 EM-X를 동물에 경구 투여하는 것이 독성이 없어 안전하다는 연구결과를 얻었다 [48]. 또한, Ke 등은 rats에 EM-X를 처리하여 골다공증 치료효과를 검토하였다. 골다공증은 골량의 감소 (bone loss)와 골조직의 미세구조 결함으로 뼈의 약화와 골절의 위험이 증가하는 전신적인 골격계 질환이다. EM-X를 처리한난소 절제된 쥐가 EM-X를 처리하지 않은 난소 절제된 쥐보다 골 밀도가 더 높았다 [49].

Table 3. Comparison of major results between conventional and EM farming [21]

Source	Varieties	Yield (kg/0.1 ha)	Management Cost (won/0.1 ha)	Labor input (hr/0.1 ha)
Rice	CF	518 (100)	228,147 (100)	31.1 (100)
	EM farming	575 (111)	216,000 (95)	35.9 (115)
Cucumber	CF	17,599 (100)	8,884,975 (100)	1040.0 (100)
	EM farming	12,535 (71)	6,835,000 (77)	1166.0 (112)
Tomato	CF	6,941 (100)	2,852,367 (100)	6606.0 (100)
	EM farming	7,866 (113)	3,499,000 (123)	774.0 (117)
Lettuce	CF	3,669 (100)	1,429,483 (100)	435.0 (100)
	EM farming	3,600 (98)	1,498,000 (95)	505.0 (116)
Melon	CF	3,380 (100)	2,467,000 (100)	284.3 (100)
	EM farming	3,258 (96)	3,981,000 (161)	303.0 (107)
Red pepper	CF	234 (100)	396,000 (100)	218.0 (100)
	EM farming	208 (89)	602,000 (152)	245.0 (112)
Pear	CF	2,471 (100)	1,256,944 (100)	314.6 (100)
	EM farming	2,250 (91)	1,142,422 (91)	167.4 (53)

*Note: CF means Conventional Farming.

Table 4. Analysis of antioxidant components of EM-X [39] (Values for 100 g of sample)

Test item	Test result
Carotene	0.34 mg
Retinol	0.21 µg
Vitamin A effect	0 IU
Vitamin B1	0.70 mg
Vitamin B2	0.54 mg
Vitamin B6	1.74 mg
Vitamin 12	0.2 µg
Vitamin C	1.6 mg
Vitamin D	0.002 µg
Vitamin E	6.1 mg
Vitamin K	0.004 mg
γ-oryzanol	ND
Lycopene	0 mg
Fructose	0.6 mg
Glucose	0.4 mg
Niacin	5.2 mg
Folic acid	23µg
Inositol	0 mg

*Test method: JIS556.

3. 결론

EM은 Effective Microorganisms의 머리글자를 딴 약자로 유용미생물을 뜻한다. 일반적으로 EM 용액은 효모, 유산균, 광합성 세균, 방선균, 사상균 등 80여 종의 미생물로 구성되며 1) 농업과 임업에서는 EM발효에 의한 유기비료와 유기퇴비의 사용으로 고품질 다수확으로 작물을 재배할 수 있고 농약의 대체로 병충해를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 토양의 개량으로 연작이 가능하고 잡초의 감소를 초래한다. 2) 축산과 어업에서는 사료나 음용수에 EM을 첨가하면 가축과 어류의 병원생 미생물에 대한 내성이 증가하고 육질이 좋아진다. 또한, 가축 우리와 어장의 악취제거와 환경개선으로 가축과 어류의 건강을 증진시켜 폐사율을 줄이고 가축 분뇨는 EM발효시켜 유기퇴비로 농업에 이용할 수 있다. 3) 환경에서는 수질 정화, 악취 제거, 유류 분해, 금속과 식품의 산화방지, 음식물 쓰레기의 발효로 EM 발효액과 유기퇴비의 생산, 그리고 새집증후군의 완화를 도모할 수 있다. 4) 의학에서는 EM-X가 인체 내 활성산소의 제거로 노화와 암 방지에 탁월한 효과가 있는 것으로 보고하고 있다.

현재 국내의 각 자치단체나 개인은 EM센터나 대학과 연계하여 EM에 관한 실험적인 정보를 얻어 실제 생활에 이용하여 긍정적인 효과를 보고 있으며, 국내외 대학에서는 농업, 임업, 축산, 어업, 환경 및 의학 분야에서 EM 관련 연구가 활발하게 이루어져 그 결과를 발표하고 있다. 그러나 향후 EM의 효율적인 생산과 광범위한 응용을 위해서는 EM계에 대한 혼합배양 모델링을 기본으로 하는 정량적 해석과 공생관계 규명, 사용 용도에 따른 EM 효과에 대한 메커니즘의 규명 연구가 더욱 필요할 것이다.

References

- Higa, T. (1991) Effective microorganisms: a biotechnology for mankind. First International Conference on Kyusei Nature Farming. pp. 8-14. Washington, DC, USA,
- Shuler, M. L. and F. Kargi (1992) *Bioprocess engineering-Basic concepts*. 2nc ed., pp. 397-427. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Herias, M.V., C. Hessle, E. Telemo, T. Midtvedt, L. Å. Hanson, and A. E. Wold (1999) Immunomodulatory effects of *Lactobacillus plantarum* colonizing the intestine of gnotobiotic rats. *Clin. Exp. Immunol.* 116: 283-290.
- Higa, T. (1993) An Earth Saving Revolution: A Means to Resolve Our World's Problems Through Effective Microorganisms (EM), pp. 335. Sunmark Publishing Inc., Tokyo, Japan.
- Higa, T. (2001) Effective Microorganisms in the context of Kyusei Nature Farming: a technology for the future. In: Senanayake, Y.D.A., Sangakkara, U.R. (Eds.), Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming. pp. 40-43. Pretoria, South Africa,
- Xu, H. (2000) Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. *J. Crop Prod.* 3: 183-214.
- Condor Golec, A. F., P. Gonzales Perez, and Ch. Lokare (2007) Effective Microorganisms: Myth or reality?, *Rev. Peru. Biol.*

- 14: 315-319.
8. EMRO (1995) EM Application Manual for APNAN Countries, 1stEd, pp. 1-7.
 9. Kinjo, S. (1990) *Studies on effective utilization of organic matter by lactic acid fermentation*. M. S. Thesis, Department of Agriculture, University of the Ryukyus, Okinawa, Japan.
 10. Ruinen, J. (1970) The phyllosphere. V. The grass sheet, a habitat for nitrogen fixing microorganisms. *Plant and Soil*. 33: 661-671.
 11. Pati, B. R. (1981) Effective of spraying nitrogen fixing phyllospheric bacterial isolates on wheat plants. *Plant and Soil*. 61: 419-427.
 12. Sen Gupta, B., A. S. Nandi, and P. Sen (1982) Utility of phyllosphere nitrogen fixing microorganisms in the improvement of crop growth I. *Plant and Soil*. 68: 55-57.
 13. Sen Gupta, B., A. S. Nandi, and P. Sen (1982) Utility of phyllosphere nitrogen fixing microorganisms in the improvement of crop growth II. Wheat. *Plant and Soil* 68: 69-74.
 14. Iwaishi, S. (2000) Effect of organic fertilizer and effective microorganisms on growth, yield and quality of paddy-rice varieties. *J. Crop Prod.* 3: 269-273.
 15. Bajwa, R. (2005) Effects of arbuscular mycorrhizae (AM) and effective microorganisms (EM) on various plants under allelopathic stress. *Allelopathy J.* 16: 261-271.
 16. Priyadi, K., H. Abdul, T. H. Siagian, C. Nisa, A. Azizah, N. Raihani, and K. Inubushi (2005) Effect of soil type, applications of chicken manure and effective microorganisms on corn yield and microbial properties of acidic wetland soils in Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51: 689-691.
 17. Javaid, A. (2006) Foliar application of effective microorganisms on pea as an alternative fertilizer. *Agron. Sustain. Dev.* 26: 257-262.
 18. Khaliq, A., M. K. Abbasi, and T. Hussain (2006) Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresour. Technol.* 97: 967-972.
 19. van Vliet, P. C. J., J. Bloem, and R. G. M. de Goede (2006) Microbial diversity, nitrogen loss and grass production after addition of effective microorganisms (R) (EM) to slurry manure. *Appl. Soil Ecol.* 32: 188-198.
 20. Okorski, A., J. Olszewski, A. Pszczokowska, and T. Kulik (2008) Effect of fungal infection and the application of the biological agent EM 1 on the rate of photosynthesis and transpiration in pea (*Pisum sativum* L.) leaves. *Pol. J. Nat. Sci.* 23: 35-47.
 21. Lee, B. N. (1999) Economic Analysis of Effective Microorganism (EM) on Nature Farming. *Kor. J. Intl, Agri.* 11: 383-390.
 22. Doosan EcoBizNet. AquaBacta (acuaculture) Technical Report. <http://ecobiznet.koreasme.com/index.html>.(2011).
 23. Doosan EcoBizNet. EcoBacta Technical Report. <http://ecobiznet.koreasme.com/index.html>.(2011).
 24. Weijiong, L. and N. Yongzhen (1995) Effects of effective microorganisms (EM) on reduction of odour from animal and poultry dung. *Proceedings of Fourth Conference on Effective Microorganisms*. 104-108.
 25. Kang, K. H., S. K. Kam, C. G. Hu, and M. G. Lee (2006) Comparison of Reduction Effect of Contaminants and Odor According to DO Change and EM Addition in Maturation Process of Piggery Slurry. *J. Environ. Sci.* 15: 563-569.
 26. EM center. Activities. <http://www.emcenter.or.kr>.(2010).
 27. Evermiracle. Applications. <http://www.evermiracle.com>.(2010).
 28. Rashid, M. T. and J. West (2007) Dairy wastewater treatment with effective microorganisms and duckweed for pollutants and pathogen control. *Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security* 93-102.
 29. Szymanski, N. and R. A. Patterson (2003) Effective microorganisms (EM) and wastewater systems. *Future Directions for On-site System: Best Management Practice Proceedings of On-site '03 Conference*. 348-355.
 30. Okuda, A. and T. Higa (1999) Purification of wastewater with effective microorganisms and its utilization in agriculture. *Proceedings of the 5th International Conference on Kyusei Nature Farming* 246-253. APNAN, Thailand.
 31. Zakaria, Z., S. Gairola, and N. M. Shariff (2010) Effective microorganisms (EM) technology for water quality restoration and potential for sustainable water resources and management. *International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting*. Ottawa, Canada.
 32. Higa, T. and N. Chinen (1998) EM treatments of odor, waste water, and environment problems.
 33. Lee, E. J., S. M. Lee, G. T. Lee, I. S. Kim, and Y.-H. Kim (2008) Application of effective microorganisms for bioremediation of crude oil spill in Taean, Korea. *J. Environ. Sci.* 17: 83-87.
 34. Nakasaki, K., M. Sasaki, M. Shoda, and H. Kubota (1985) Effect of seeding during thermophilic composting of sewage sludge. *Applied and environmental Microbiology*, Mar. 724-726
 35. Nakasaki, K., M. Shoda, and H. Kubota (1985) Effect of temperature on composting of sewage sludge. *Applied and environmental Microbiology* Dec. 1526-1530.
 36. David, G. F. and M. Hans (2000) The use of effective microorganisms (EM) in organic waste management.
 37. Chung, J. O. (1995) EM Composting of Food Waste in Korea *Journal of KOWREC*. 3: 97-105.
 38. Kim, S. R., Y. K. Kim, J. K. Lee, and I. O. Hwang (2006) Manufacturing and adhesion of ceramic carrier for EM fixation. *Chosun univ Institute of production tech.* 28: 51-61.
 39. Sato N. and T. Higa (2001) Research on the antioxidant components of EM-X and the mechanisms of action. *Clinical and Basic Medical Research on EMX vol. 1, EMRO, Okinawa, Japan*.
 40. Sato, N., Y. Hoshimura and T. Higa (1997) A study of active antibacterial substances in extracts through fermentation with effective microorganisms. *Biosci. Control* 37: 38-45.
 41. Higa, T. and B. Ke (2001) Clinical and Basic Medical Research on EM-X-a Collection of Research Papers 1. *EMRO, Okinawa, Japan*.
 42. Chui, C. H., G. Y. M. Cheng, B. Ke, F. Y. Lau, R. S. M. Wong, S. H. L. Kok, S. Fatima, F. Cheung, C. H. Cheng, A. S. C. Chan, and J. C. O. Tang (2004) Growth inhibitory potential of effective microorganism fermentation extract (EM-X) on cancer cells. *Int. J. Mol. Med.* 14: 925-929.
 43. Chui, C. H., D. K. P. Hau, F. Y. Lau, G. Y. M. Cheng, R. S. M. Wong, R. Gambari, S. H. L. Kok, K. B. Lai, I. T. N. Teo, T. W. T. Leung, T. Higa, B. Ke, J. C. O. Tang, D. W. F. Fong, and A. S. C. Chan (2006) Apoptotic potential of the concentrated effective microorganism fermentation extract on human cancer cells. *Int. J. Mol. Med.* 17: 279-284.
 44. Ke, B., T. Higa, Z.-X. Zhong, and Y.-F. Liang (2001) Antiaging activities of effective microorganisms extracts (EM-X) on the fruit fly and the mouse. *J. Snake* 13: 1-8.
 45. Aruoma, O. I., J. A. Moncaster, D. T. Walsh, S. M. Gentleman, B. Ke, Y.-F. Liang, T. Higa, and L.-S. Jen (2003) The antioxidant

- cocktail, effective microorganisms (EM-X) protects retinal neurons in rats against *N*-methyl-D-aspartate excitotoxicity *in vivo*. *Free Radic. Res.* 37: 91-97.
46. Deiana, M., M. A. Dessi, B. Ke, Y.-F. Liang, T. Higa, P. S. Gilmour, L.-S. Jen, I. Rahman, and O. I. Aruoma (2002) The antioxidant cocktail effective microorganism X (EM-X) inhibits oxidant-induced interleukin-8 release and the peroxidation of phospholipids *in vitro*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 296: 1148-1151.
 47. Aruoma, O. I., M. Deiana, A. Rosa, V. Casu, R. Piga, S. Peccagnini, M. A. Dessi, B. Ke, Y.-F. Liang, and T. Higa (2002) Assessment of the ability of the antioxidant cocktail-derived from fermentation of plants with effective microorganisms (EM-X) to modulate oxidative damage in the kidney and liver of rats *in vivo*: studies upon the profile of poly- and mono-unsaturated fatty acids. *Toxico. Lett.* 135: 209-217.
 48. Ke, B., Y.-F. Liang, Z.-X. Zhong, T. Higa, and O. I. Aruoma (2005) Evaluation of the toxicity and safety of the antioxidant beverage effective microorganisms-X (EM-X) in animal model. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 20: 313-320.
 49. Ke, B., Z. Xu, Y. Ling, W. Qiu, Y. Xu, T. Higa, and O. I. Aruoma (2009) Modulation of experimental osteoporosis in rats by the antioxidant beverage effective microorganism-X (EM-X). *Biomedicine & Pharmacotherapy* 63: 114-119.
 50. Ahn, S. W. and K. H. Lee (2005) EM and ore treatment effect of shallot growth and producing antioxidants. *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference. Nov 18-19.* 14: 119-123.
 51. Han S. K. (2005) Quality Improvement of Effective Microorganisms (EM) Pork Produced by Using EM, *J. Korea. Soc. Food. Sci. Nutr.* 34: 734-737.
 52. Kim Y. J. (2008) Assessment of river odor reduction using effective microorganisms (EM).
 53. Yoon, K. S., S. Y. Moon, S. W. Hur, Y. J. Kim, and Y. M. Koo (2008) Deodorization of Autolysed Cell Concentrate by using Effective Microorganisms. *KSBB Fall Meeting & International Symposium.* Oct.
 54. Lee, J. H., J. O. Joeng, and S. H. Park (2000) A Study on the Composting Process of Food Waste by Seeding the Isolated Effective Microorganism. *J. Env. Hith. Soc.* 26: 1-10.
 55. Ahn S. W. (2005) The Study of Effects of the EM (Effective Microorganisms) on Organic Agriculture of *Lactuca sativa* L. (Leaf Type). *Journal of the Korea greenery environment* 1: 38-45.
 56. Kang, B. K. and C. K. Song (2003) Effect of Application of Microbial Liquid Manure on Growth and Yield of Altari Radish (*Raphanus sativus* L.) in Volcanic Ash. *Korean Journal of Organic Agriculture* 11: 65-73.
 57. Seok, W. Y., J. S. Oh, D. H. Kim, W. B. Chung, and S. J. Jeong (2004) Effect of Microbial Product on Microorganisms in Soil and the Growth of Leaf Lettuce. *Korean Journal of Organic Agriculture* 12: 427-436.
 58. Jeong, S. J., J. S. Oh, W. Y. Seok, J. H. Kim, D. H. Kim, and W. B. Chung (2006) Effect of Chitosan, Wood Vinegar and EM on Microorganisms in Soil and Early Growth of Tomato. *Korean Journal of Organic Agriculture* 14: 433-443.
 59. Yoon, S. T., S. H. Park, and Y. W. Kim (2007) Study on Environment-friendly rice Production System by Use of Effective Microorganism. *Korean Journal of Organic Agriculture* 15: 207-218.
 60. Kim, Y. K., S. K. Han, and Y. J. Baek (2004) The Study for the Relationship between EM Fermentation and Salinity Behavior. *Journal of the Korean Society of Environmental Engineers.* 1375-1376.
 61. Moon, S. O., O. S. Na, B. J. Kang, and Y. D. Lee (2000) Growth effect of Flatfish, *Paralichthys olivaceus* by EM added feed. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science spring joint conference* 294-295.
 62. Ko, S. C., Y. C. Song, and I. S. Kim (1997) Efficient Treatment of Food Wastes by EM (Effective Microorganisms) and Their Recycling. *Journal of the Korea Solid Wastes Eng. Society* 14: 729-740.
 63. Ko, S. C. and H. N. Hyun (1998) The effect of EM (Effective Microorganisms) treated Food Waste on soil. *Proceedings of the Korea Organic Resource Recycling Association Conference* April. 57-65.
 64. Jeong, B. G. (2008) EM (Effective Microorganism) Application for Enhancing Reactor Performance of Small Scale Swage Treatment Plant. *J. Korea Society of waste management* 25: 302-309.
 65. Lee, E. Y. (2009) Effect on the Concentration of Glucose and Sucrose on the Hydrogen Production using by the Facultative Anaerobic Hydrogen Producing Bacterium *Rhodospseudomonas* sp. MeL 6-2. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 37: 176-182.
 66. Roh, S. H. and S. I. Kim (2006) The Effect of Effective Microorganisms on Biological Nutrient Removal in SBR Process. *J. Korean Ind. Eng. Chem.* 10: 369-372.
 67. Han, S. K. (2004) Antioxidant effect and cholesterol content change of EM pork. *Proceedings of the Korean Society for Food Science of Animal Resources Conference.* Oct. 150-153.
 68. Han, S. K. (2004) Antioxidant effect of fermented *Salicornia herbacea* L. liquid with EM (Effective Microorganism) on Pork. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 24: 298-302.
 69. Han, S. K. (2004). Antioxidant effect of fermented meet added EM (Effective Microorganisms) related Lactic acid bacteria. *Proceedings of the Korean Society for Food Science of Animal Resources Conference.* May, 135-137.
 70. Do, J. S., Y. H. Choi, H. J. Seo, J. H. Ryoo, and S. Y. Nam (2006) Effective microorganism (EM) fermentation extract attenuates airway hyperreactivity and lung inflammation in a mouse model of asthma. *Journal of Bacteriology and Virology* 36: 1-10.
 71. Yoon S. H. (2005) The improvement of aquaculture water by using effective microorganism. M.S. Thesis. Mokpo national University. Korea.