

The Change of Major Cellular Fatty Acids Composition and Morphology of *Escherichia coli* Affected by Toxic Substances

In Suk Jeong, Hee Kyung Seong[†] and Won Jae Lee

Department of Microbiology, Bukyoung National University, Busan 608-737, Korea

^{*}Department of Laboratory Medicine, Paik Hospital, Inje University, Seoul 139-707, Korea

This study was performed to compare the growth rates, cellular fatty acid compositions and morphology by using electron microscope of *Escherichia coli* (*E. coli*) grown in various conditions including different concentrations of phenol, CdCl₂ and HgCl₂. Ninety eight *E. coli* strains were isolated from Nakdong river and human feces. The content of unsaturated fatty acids, especially 16:1 ω 7c and 18:1 ω c increased as the concentration of phenol and CdCl₂ increased. The content of unsaturated fatty acid increased up to 50 ppb of HgCl₂, but decreased at 75 ppb of HgCl₂. There were more unsaturated fatty acids than saturated fatty acid in the presence of toxic substances. However, the ration was reversed when the affected *E. coli* was transferred to toxic substance free fresh trypticase soy broth medium. Also, by using transmission electron microscope these cells were observed to various morphological deformation by heavy metals and their deposition on the surface. From these results, we suggested that the changes of major fatty acids composition and morphology of *E. coli* may be considered to indicate contaminated levels of heavy metals or organic solvents. The information presented here may be useful in predicting effects of heavy-metal and organic solvent contamination in streams and provides a basis for further studies of metal or organic solvent effects on microbial communities.

Key Words: Fatty acid, Morphology, *Escherichia coli*, Phenol, Cd, Hg

서 론

미생물의 지방산 조성은 다양한 성장환경에 따라 그 성분이 변한다고 알려져 있다. Ingram et al. (1976)은 미생물의 세포가 다양한 환경조건에서 생존하기 위하여 세포막의 지방산 성분을 조절함으로써 서식환경의 물리·화학적 조건에 적응한다고 보고하였다 (Brooks et al., 1976; Hancock et al., 1970; Ingram, 1976; Siegel, 1997; Reinhermer, 1991). Rosas et al. (1980)은 살충제가 있는 환경에 대장균이 서식할 경우 살충제의 종류에 따라 대장균의 지방산 성분이 변함을 관찰하였고 (Rosas et al., 1980), Guerzoni et al. (1997)은 *Saccharomyces cerevisiae*를 다양한 성장온도에서 배양할 경우 지방산 성분이 변하며 (Guerzoni et al., 1997), 특히 42°C에서 성장한 균은 lauric acid (12:0)가 전체지방산의 67%를 차지한다고 하였다.

또한 절대 혐기성 세균이나 그 외 *Pseudomonas putida*와 같은 몇몇 균종은 성장환경에 높은 농도의 독성물질이 존재할 경우 불포화지방산의 *cis*형이 *trans*으로 전환됨을 밝히고, 이를 이용하여 *trans/cis*의 수치에 따라 독성 유기물질의 지표로 이용할 수 있다고 하였다 (Heipieper et al., 1991; Heipieper et al., 1992; Jones et al., 1985).

따라서 본 조사에서는 위생의 오염 지표종으로 이용되는 대장균을 낙동강에서 분리하여 이들 균의 균체내의 지방산을 분석하고 동시에 인위적으로 대표적인 환경오염물질인 Cd, Hg, phenol 등을 일정농도로 조성시킨 환경에서 배양될 경우 각각의 지방산 조성과 형태학적 변화의 정도를 비교 검토하였다.

재료 및 방법

1. 시 료

시료는 낙동강 하구의 9개 지점에서 멸균된 MB 채수기로 시료를 채수한 후 실험실에서 분리한 *Escherichia coli* (*E. coli*)균 48주와 사람의 분변에서 분리한 50균주를 표준균주 *E. coli* ATCC 25922를 대조로 하여 실험균주로 사용하였다.

*논문 접수: 2004년 7월 20일

수정재접수: 2004년 9월 17일

[†]교신저자: 성희경, (우) 139-707 서울특별시 노원구 상계7동 761-1 인제대학교 상계백병원 진단검사의학과

Tel: 02-950-1230, Fax: 02-950-1244

e-mail: hkseong01@yahoo.co.kr

2. 분리 및 동정

*E. coli*의 분리 및 동정은 낙동강에서 채수한 시료 500 ml를 0.2 μ m millipore filter여과 장치를 이용하여 여과시킨 후 이여과지를 *E. coli*의 선택배지인 EZ Coli enrichment broth (Difco, Missouri, USA)와 MacConkey 배지 (Difco, Missouri, USA)에 각각 접종하고 37°C에서 24시간 배양하였다. 각 EZ Coli enrichment broth에 자란 균과 MacConkey 배지 (Difco, Missouri, USA)에서 분홍색을 띄는 집락을 선택하여 순수배양하고 API 20E (Analytab Products Ins., New York, USA) kit를 이용해서 동정하였다.

3. 지방산 성분 분석

1) 분리균의 배양

실험대상균주로 *E. coli*를 자연계인 낙동강과 인체유래인 사람의 분변에서 각각 48균주와 50균주를 분리한 것과 표준균주인 *E. coli* ATCC 25922를 대조로 사용하였으며, 각 균주를 Trypticase Soy Broth (TSB, BBL Missouri, USA)에 접종하여 37°C에서 16~18시간 배양한 후 습균량 40~50 mg을 screw cap tube (13×100 mm)에 집균하였다 (강 등, 1997; 성 등, 1992).

2) 균체지방산 추출

성 등 (1992)의 방법을 이용하여 집균한 균체에 시약 (50%

methanol + 15% NaOH) 1 ml를 첨가하여 100°C에서 30분간 가열하였다. 가수분해물을 식힌 다음 methanolic HCl 2 ml를 첨가하고 80°C에서 10분간 가열하여 메틸화시킨 후 hexane-methyl-tert-buthyl ether (1:1, v/v) 1.25 ml를 첨가하여 10분간 부드럽게 섞었다. FAME (fatty acid methyl ester) 물질을 취한 다음 0.3N NaOH 3 ml를 첨가하여 가볍게 혼합하고, saturated NaCl을 몇 방울 넣은 후 상층액과 하층액이 완전히 분리될 때 까지 방치한다. 이때 분리된 상층액을 분석용 vial에 넣어 지방산 분석용 시료로 사용하였다 (강 등, 1997; 성 등, 1992).

3) Gas Liquid Chromatography 분석

균체에서 추출된 지방산을 microbial identification system (MIS, Hewlett-Packard 6890)에 의해 fused silica capillary column (30×0.2 mm)이 부착된 gas liquid chromatography (GLC)를 사용하여 분석하였다. 그리고 지방산 분석을 위한 표준물질로는 전형적인 chromatogram을 나타내는 세균의 FAME mixture인 calibration standard #1 (Supelco Co. Bellfonte, USA)을 사용하였다 (강 등, 1997; 성 등, 1992).

4. 성장조건에 따른 지방산 분석

본 실험에 사용된 미생물의 성장환경 인자로는 자연환경에 존재하는 요소들 중에서 미생물에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 공장폐수나 환경오염 등에 의해 하천에 유입 가능한 독성물질인 phenol, CdCl₂, HgCl₂을 선택하였다. 또한 이러한

Table 1. Values of major fatty acids of *E. coli* isolated from Nakdong river and human feces in different concentration of phenol

Source	Phenol (ppb)	Values (%)			
		16:0	16:1 ω 7c	18:0	18:1 ω c
Control	0	24.67	9.02	0.27	9.34
	5	21.37	13.79	0.24	12.89
	25	19.86	16.52	0.21	15.63
	50	17.57	19.41	0.17	16.92
	75	14.98	23.13	0.15	19.57
	100	12.88	26.57	0.10	21.31
Human feces ^a	0	24.65±3.5	10.52±1.6	1.05±0.3	10.13±2.3
	5	22.43±0.06	16.62±1.1	1.56±0.02	13.52±0.03
	25	21.04±0.03	20.52±1.7	1.43±0.07	14.64±0.04
	50	17.69±1.6	26.59±2.1	1.12±0.05	14.96±0.1
	75	15.04±0.8	30.09±1.2	1.10±0.01	16.72±0.03
	100	12.43±1.4	33.42±1.0	0.62±0.02	18.02±0.4
Naktong River ^b	0	30.70±2.6	7.17±0.7	5.05±1.7	6.95±0.2
	5	26.73±0.6	11.52±1.2	1.23±0.08	10.14±1.2
	25	24.46±0.04	15.43±1.0	1.06±0.02	14.39±1.1
	50	21.02±0.7	18.53±1.4	0.94±0.02	16.77±0.07
	75	18.47±1.1	21.02±1.1	0.56±0.06	19.17±0.05
	100	15.39±0.9	24.42±1.0	10.37±0.02	21.26±1.0

a and b: 5 strains have been tested in each condition

물질들의 농도와 조건은 자연계에서 발생 가능한 범위 내에서 설정하였으며 (부산광역시, 1997), 그 조성된 성장환경에서 미생물 세포의 성장상태와 지방산 성분의 변화를 관찰하였다.

실험에 사용된 배지는 지방산 성분 분석에 사용되는 TSB를 사용하였고, 배양조건으로 독성물질인 phenol, CdCl₂와 HgCl₂의 각각의 최종농도는 0, 5, 25, 50, 75, 100 ppb가 되도록 첨가하여 조성하였고, 50 ppb phenol, 50 ppb CdCl₂, 그리고 50 ppb HgCl에 대해서는 자란 균체를 다시 모아 순수한 TSB에 배양한 다음 지방산 성분의 변화를 관찰하였다. 이때 지방산 성분 분석은 각 농도별에 따라 정지기까지 배양한 균체를 모아 습윤량이 40~50 mg이 되도록 집균한 다음 생리식염수로 2번 세척한 후 전술한 방법으로 분석하였다 (Kaneda, 1991). 그리고 세포의 성장은 분광광도계 (spectronic 20 MILTON ROY)를 이용해서 660 nm에서 1시간 간격으로 흡광도를 측정하였다.

5. 전자현미경적 관찰

독성물질의 영향에 관한 형태적 관찰을 하기 위해서 가장 좋은 성장을 보인 EE-1의 균을 이용하였고 액체배지 (TSB)에서 자란 것을 대조군으로 하여 50 ppb phenol, 50 ppb CdCl₂, 그리고 50 ppb HgCl₂를 각 배지에 첨가시켜 배양된 것과 서로 비교하였다. 이 때 세포는 16~18시간 배양한 정지기에

투사 전자 현미경 (Transmission electron microscope, TEM, JEM 1200EX-II, JEOL, JAPAN)으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

1. Phenol의 농도에 의한 지방산 조성의 변화

Phenol의 농도 변화에 따른 성장상태는 표준균주와 사람의 분변, 그리고 하천에서 분리된 *E. coli* 모두 100 ppb의 높은 농도에서도 5 ppb에서 보다는 세포 성장이 약간 억제되었지만 대체적으로 좋은 성장을 보였고, 분리원에 따라서는 같은 조건에서 사람의 분변에서 분리된 *E. coli* 보다 하천에서 분리된 *E. coli*가 대체적으로 더 잘 자라는 것을 관찰할 수 있었다.

이것에 대한 지방산 성분의 변화는 phenol의 농도가 각각 0, 5, 25, 50, 75, 100 ppb로 증가할수록 포화지방산인 16:1ω7c과 18:1ω7c은 증가하였다. 즉 16:0의 경우 표준균주는 24.67, 21.37, 19.86, 17.57, 14.98, 12.88%이고, 사람의 분변에서 분리된 *E. coli*는 24.65±3.5, 22.43±0.06, 21.04±0.03, 17.69±1.6, 15.04±0.8, 12.43±1.4% 그리고 하천에서 분리된 *E. coli*는 30.70±2.6, 26.73±0.6, 24.46±0.04, 21.02±0.7, 18.47±1.1, 15.39±0.9%로 감소하였지만 불포화지방산인 16:1ω7c의 경우 표준균주는 9.02, 13.79, 16.52, 19.41, 23.13, 26.57%이고 사람의 분변에서 분리한 *E. coli*는 10.52±1.6, 16.62±1.1, 20.52±1.7,

Table 2. Values of major fatty acids of *E. coli* isolated from Nakdong river and human feces in different concentration of CdCl₂

Source	CdCl ₂ (ppb)	Values (%)			
		16:0	16:1ω7c	18:0	18:1ωc
Control	0	24.67	9.02	0.27	9.34
	5	20.01	13.91	0.20	13.21
	25	19.36	16.78	0.19	15.02
	50	16.97	19.03	0.16	16.54
	75	14.35	23.25	0.11	19.97
	100	12.12	26.98	0.07	21.79
Human feces ^a	0	24.65±3.5	10.52±1.6	1.05±0.3	10.13±2.3
	5	21.65±1.4	14.35±1.3	1.22±0.04	12.36±0.04
	25	18.72±1.2	18.14±1.2	1.10±0.06	14.11±0.05
	50	15.89±1.1	23.27±1.6	0.91±0.02	15.78±0.3
	75	13.23±0.9	27.35±1.2	0.73±0.05	16.36±0.1
	100	11.20±1.6	30.14±1.1	0.54±0.03	17.89±0.4
Nakdong River ^b	0	30.70±2.6	7.17±0.7	5.05±1.7	6.95±0.2
	5	26.32±0.4	10.36±0.8	1.20±0.02	11.93±0.5
	25	24.78±0.5	13.84±1.2	1.11±0.04	13.51±0.2
	50	20.56±0.4	17.12±1.0	0.90±0.04	16.02±1.1
	75	19.93±1.1	19.34±0.7	0.69±0.05	19.58±0.4
	100	16.74±1.3	21.90±0.3	0.42±0.03	21.69±0.5

a and b: 5 strains have been tested in each condition

26.59±2.1, 30.09±1.2, 33.42±1.0%, 그리고 하천에서 분리한 *E. coli*는 7.17±0.7, 11.52±1.2, 15.43±1.0, 18.53±1.4, 21.02±1.1, 24.42±1.0%로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다 (Table 1). Shinitzky는 페놀을 포함한 독성 유기물질은 세포막의 흡수성을 증가시키기 위해 유동성을 증가시키는 성질을 가지고 있지만 이러한 물질에 내성을 가지고 있는 미생물은 그런 환경의 변화에 적응하기 위해 동일한 유동성을 갖기 위한 기작으로 세균의 세포막을 구성하고 있는 지방산 성분을 변화시킨다고 보고한 바 있고 (Shinitzky, 1984; Siegel, 1997), Heipieper et al. (1992)은 *E. coli*는 phenol에 대해 세포를 보호하기 위한 보상효과로서 지방산, 특히 불포화지방산인 16:1의 증가와 같은 지방산의 구조적 변화에 의해 독성물질로부터 세포를 보호한다고 설명하였다 (Heipieper et al., 1991; Heipieper et al., 1992). 따라서 phenol의 농도 증가에 따라 포화지방산이 감소하고 불포화지방산이 증가하는 것은 각각 Shinitzky (1984)와 Heipieper et al. (1991과 1992)의 연구결과로 볼 때 세포가 독성물질로부터 세포를 보호하기 위한 방편으로 세포막의 유동성을 감소시키기 위해 지방산 성분이 변화한 것으로 생각된다.

2. 중금속에 의한 지방산 조성의 변화

카드뮴이나 수은 같은 독성 중금속 물질들은 적은 양으로도 사람이나 생물체에 해를 미칠 수 있다. 이러한 물질이

*E. coli*의 성장환경에서 어떤 성장 변화를 보이며 또 이 두 물질을 같은 농도로 처리한 배지에서 배양했을 때의 지방산 조성을 비교하였다. 결과에서 CdCl₂의 농도 변화에 따른 성장상태는 100 ppb의 농도에서도 phenol과 유사한 성장상태를 나타내었고 사람의 분변에서 분리된 *E. coli*보다는 하천에서 분리된 *E. coli*의 성장이 더 좋았다. 그리고 HgCl₂의 농도 변화에 따른 미생물의 성장은 농도가 증가할수록 하천에서 분리된 *E. coli*가 phenol이나 CdCl₂의 성장곡선과 유사하게 잘 자랐지만, 사람의 분변에서 분리된 *E. coli*는 민감한 반응을 나타내었다. 즉 75 ppb의 농도에서는 사람에서 분리한 5균주 모두 성장하지 못하였다. 이와 같이 하천에서 분리한 *E. coli*가 사람의 분변에서 분리한 *E. coli*보다는 phenol, CdCl₂과 HgCl₂ 등의 조건들에서 모두 좋은 성장을 나타내었는데, 이것은 하천이라는 환경조건이 여러 독성물질에 의해서 노출이 되므로 다양한 스트레스를 받게 된다. 이미 이런 스트레스의 요인에 잘 적응해 있는 환경 분리균주는 더 혹독한 조건에서도 생육이 가능할 수 있을 것으로 생각되게 한다 (Aiking et al., 1982).

CdCl₂의 농도에 따른 지방산 조성의 변화는 phenol과 비슷하게 농도가 증가할수록 포화지방산인 16:0과 18:0은 감소하고, 불포화지방산인 16:1ω7c과 18:1ω7c은 증가하였다 (Table 2). 그리고 HgCl₂의 경우 하천에서 분리한 *E. coli*의 지방산 성분은 CdCl₂와 phenol에서의 결과와 유사하였으나

Table 3. Values of major fatty acids of *E. coli* isolated from Nakdong river and human feces in different concentration of HgCl₂

Source	HgCl ₂ (ppb)	Values (%)			
		16:0	16:1ω7c	18:0	18:1ωc
Control	0	24.67	9.02	0.27	9.34
	5	20.02	15.25	0.19	13.61
	25	18.24	17.61	0.18	15.98
	50	16.21	19.89	0.16	17.47
	75	14.03	23.65	0.14	19.94
	100	12.24	27.22	0.09	22.62
Human feces ^a	0	24.65±3.5	10.52±1.6	1.05±0.3	10.13±2.3
	5	18.40±1.3	31.53±0.9	1.02±0.03	20.64±1.1
	25	14.02±2.1	34.82±1.1	0.72±0.05	24.52±1.3
	50	9.25±1.4	38.65±1.3	0.30±0.24	27.01±1.0
	75	15.02±2.2	21.03±2.0	1.12±0.2	10.15±0.4
	100	-	-	-	-
Nakdong River ^b	0	30.70±2.6	7.17±0.7	5.05±1.7	6.95±0.2
	5	24.49±0.7	13.94±1.2	1.12±0.04	12.57±1.1
	25	21.32±0.5	16.61±1.0	1.01±0.03	15.78±1.2
	50	18.56±1.0	19.90±1.4	0.83±0.02	17.92±0.7
	75	16.79±1.3	22.42±1.1	0.50±0.03	20.25±1.0
	100	14.57±0.8	25.79±1.2	0.29±0.05	22.51±1.1

a and b: 5 strains have been tested in each condition. - : Not tested

사람의 분변에서 분리한 *E. coli*의 지방산 성분은 phenol과 CdCl₂의 결과와는 다소 차이를 나타내었다. 즉 사람의 분변에서 분리한 *E. coli*의 경우 5 ppb에서 50 ppb까지는 불포화 지방산인 16:1 ω 7c이 31.53 \pm 0.9, 34.82 \pm 1.1, 38.65 \pm 1.3%으로 크게 증가하였으나 치사량에 가까운 농도인 75 ppb에서는 16:1 ω 7c와 18:1 ω 7c에서 각각 21.03 \pm 2.0와 10.15 \pm 0.4%로 감소하였다 (Table 3). Heipieper et al. (1991, 1992)은 많은 유기 성분과 독성물질이 생물체의 세포막에 우선적으로 결합함으로서 세포막의 지방산 성분 변화에 의해 삼투압과 관계있는 세포의 유동성을 증가시킨다고 설명하였고 (Heipieper et al., 1991, 1992), Ingram은 독성물질이 존재할 경우 이물질로부터 세포를 보호하기 위해 세포막의 기능을 회복시키는 18:1의 증가에 의해 포화지방산인 16:0을 불포화지방산인 16:1로 변화시켜 증가된 유동성을 억제시킨다고 보고하였다 (Ingram, 1976). 따라서 본 연구에서 phenol, CdCl₂, 그리고 HgCl₂의 농도가 증가할수록 포화지방산의 감소와 불포화지방산의 증가는 독성물질로부터 세포를 보호하기 위해 포화지방산인 16:0과 18:0이 불포화지방산으로 변화되었기 때문이고, 또한 치사량에 가까운 농도인 75 ppb에서는 세포의 기능을 회복

시키는 18:1 ω 7c의 감소로 인해 16:0이 16:1 ω 7c로 전환하지 못하여 50 ppb에 비해 포화지방산이 증가하고 불포화지방산이 감소된 것으로 보인다.

3. Phenol과 중금속에 의한 균체 변화의 전자현미경적 관찰

독성물질인 phenol, Cd과 Hg 등이 *E. coli*의 세포 형태에 미치는 영향을 알아보기 위해 투사전자현미경 (TEM)을 이용하여 관찰하였다 (Fig. 1).

먼저 세포를 25,000배로 관찰한 결과 사진에서처럼 Fig. 1A의 대조군과 비교해서 phenol, CdCl₂, 그리고 HgCl₂ 등의 물질을 첨가하였을 때 세포의 변형을 육안으로 쉽게 관찰할 수 있었다. 또한 Fig. 1C와 D에서 중금속물질인 Cd과 Hg 등의 물질이 세포벽의 일부분과 결합하고 있는 것을 관찰할 수 있었는데, 이는 Beveridge와 Koval이 *E. coli*와 같은 Gram 음성균은 특히 중금속과 같은 물질이 phospholipid의 극성부분이나 lipopolysaccharides와 polypeptide에 존재하는 산의 음이온에 우선적으로 결합하여 세포막 성분을 변화시킨다고 보고한 사실과 일치하는 것을 알 수 있었다 (Beveridge et al., 1981). 그리고 Fig. 1B에서 phenol을 첨가하였을 경우 phenol이 세포 내로 침투하여 세포막을 변형시켰으며, 또한 HgCl₂의 경우도 세포에 영향을 주어 세포의 형태변형을 일으킨 것으로 생각된다. 그러므로 같은 농도의 조건에서 CdCl₂, phenol과 HgCl₂의 순으로 독성이 강하여 세포에 더 큰 영향을 미쳐 세포막 변형을 가져오고 아울러 지방산 성분의 함량도 변화됨을 알 수 있었다.

결론적으로 분리된 *E. coli* 중 성장률이 좋은 낙동강에서 분리한 균과 사람의 분변에서 분리한 균, 그리고 대조로



Fig. 1. Transmission Electron micrographs of *Escherichia coli* grown in Trypticase soy broth toxin free (A), and containing 50 ppb of phenol (B), HgCl₂ (C) and CdCl₂ (D) (X25,000).

Table 4. Values of major fatty acids of *E. coli* ATCC 25922 grown in TSB, toxin free, added toxin material and free toxin after toxin content cultures

Source	Composition	Values (%)		
		Toxin free	Add toxin	Toxin free after toxin content culture
Phenol	16:0	24.55	17.57	22.1
	16:1 ω 7c	9.0	19.41	11.56
	18:0	0.21	0.17	0.19
	18:1 ω 7c	9.28	16.92	11.24
CdCl ₂	16:0	24.55	16.97	22.72
	16:1 ω 7c	9.0	19.3	11.15
	18:0	0.21	0.16	0.19
	18:1 ω 7c	9.28	16.54	11.76
HgCl ₂	16:0	24.55	16.21	22.11
	16:1 ω 7c	9.0	19.89	13.16
	18:0	0.21	0.16	0.18
	18:1 ω 7c	9.28	17.47	11.48

ATCC 25922의 균주를 TSB배지에 배양시킨 후 지방산 성분을 분석하고, 이것을 각각 50 ppb phenol, 50 ppb CdCl₂, 50 ppb HgCl₂이 첨가된 배지에 배양시켜 지방산 성분의 변화를 관찰하였으며, 이 균주를 다시 독성물질을 전혀 첨가하지 않은 TSB배지에 배양 후 균주의 성장환경이 지방산 성분에 미치는 영향을 조사하였다.

Table 4에서와 같이 먼저 50 ppb의 독성물질이 존재하는 환경에서 자란 균주를 다시 순수한 TSB의 배지에 배양시켰을 때 이들의 지방산 성분을 비교하면 16:0이 24.55%이었다. 반면, 50 ppb의 phenol, CdCl₂와 HgCl₂ 등에 영향을 받은 균주의 경우 각각 17.57, 16.97, 16.21%로 감소하다가 균주를 TSB배지에 배양시키면 감소된 포화지방산이 22.14, 22.72, 22.11%로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이에 비해 불포화지방산인 16:1ω7c, 18:1ω7c은 독성물질이 존재할 때에는 각각 증가하였으나 독성물질이 존재하지 않을 때에는 증가된 불포화지방산이 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. 이러한 결과는 앞서와 같이 독성물질이 존재할 경우 독성물질 등에 의해 미생물이 환경에 적응하기 위한 방편으로 지방산 성분 중 포화지방산이 불포화지방산으로 변화하고, 또한 독성물질이 존재하지 않는 환경에서는 증가된 불포화지방산이 다시 포화지방산으로 변화하므로 세포가 주어진 다양한 환경 변화에 생존하기 위해 지방산 성분을 변화시킨다는 것을 본 연구에서도 알 수 있었다.

REFERENCES

- Kang WB, Seong HK, Moon CH, Lee WJ. Bacteria and Cellular Fatty Acid Composition of Dominated Genus in Suyeong Bay. J Kor Fish Soc. 1997. 30: 640-651.
- Seong HK, Lee WJ, Kim YH, Harm GJ. Studies on bacterial characteristics of *Bacillus cereus* group LS-1 isolated from Suyeong Bay. Kor J Microbiol. 1992. 30: 339-346.
- Aiking H, Kock K, van Heerikhuizen H, van't Riet J. Adaptation to cadmium by *Klebsiella aerogenes* growing in continuous culture proceeds mainly via formation of cadmium sulfide. Appl Environ Microbiol. 1982. 44(4): 938-944.
- Beveridge TJ, Koval SF. Binding of metals to cell envelopes of *Escherichia coli* K-12. Appl Environ Microbiol. 1981. 42(2): 325-335.
- Brooks PW, Eglinton G, Gaskell SJ, McHugh DJ, Maxwell JR, Philp RP. Lipids of recent sediments, part I: Straight chain hydrocarbons and carboxylic acids of some temperate lacustrine and sub-tropical lagoonal/tidal flat sediments. Chem Geol. 1976. 18(1): 21-38.
- Guerzoni ME, Ferruzzi M, Sinigaglia M, Criscuoli GC. Increased cellular fatty acid desaturation as a possible key factor in thermotolerance in *Saccharomyces cerevisiae*. Can J Microbiol. 1997. 43(6): 569-576.
- Hancock IC, Humphreys GO, Meadow PM. Characterisation of the hydroxy acids of *Pseudomonas aeruginosa* 8602. Biochim Biophys Acta. 1970. 10; 202(2): 389-391.
- Heipieper HJ, Keweloh H, Rehm HJ. Influence of phenols on growth and membrane permeability of free and immobilized *Escherichia coli*. Appl Environ Microbiol. 1991. 57(4): 1213-1217.
- Heipieper HJ, Diefenbach R, Keweloh H. Conversion of *cis* unsaturated fatty acids to trans, a possible mechanism for the protection of phenol-degrading *Pseudomonas putida* p8 from substrate toxicity. Appl Environ Microbiol. 1992. 58(6): 1847-1852.
- Ingram LO. Adaptation of membrane lipids to alcohols. J. Bacteriol. 1976. 125(2): 70-678.
- Jones RD, Prahl FG. Lipid composition of a marine ammonium oxidizer grown at 5°C and 25°C. Mar Ecol Prog Ser. 1985. 26: 157-159.
- Kaneda T. 1991. Iso- and anteiso- fatty acids in bacteria: biosynthesis, function, and taxonomic significance. Microbiol Rev. 1991. 55(2): 288-302.
- Reinhermer G. The influence of environmental factors on the development of microorganism: Aquatic microbiol. 4rd ed. 1991. pp. 111-147. John Wiley & Sons, Tokyo.
- Rosas SB, Secco M, Ghittoni NE. Effects of pesticides on the fatty acid and phospholipid composition of *Escherichia coli*. Appl Environ Microbiol. 1980. 40(2): 231-234.
- Shinitzky M. Physiology of membrane fluidity. 1984. pp 1-52. CRC Press, Inc. Boca Raton FlaII.
- Siegel JP, Smith AR, Novak RJ. Comparison of the cellular fatty acid composition of a bacterium isolated from a human and alleged to be *Bacillus sphaericus* with that of *Bacillus sphaericus* isolated from a *Mosquito larvicide*. Appl Environ Microbiol. 1997. 63(3): 1006-1010.