

12.1 환경 미생물의 종류

미생물은 바이러스(virus)와 원생생물(protists)로 구분 할 수 있다. 원생생물은 원핵생물(procaryotes)과 진핵생물(eucaryotes)로 나누어진다. 원핵 미생물군(eubacteria 와 archaeobacteria)은 생물학적 처리에서 가장 중요하며, 일반적으로 박테리아(bacteria)라 불린다. 생물학적 처리에 중요한 진핵 미생물로는 균류(fungi), 원생동물(protozoa), 로티퍼(rotifer) 및 조류(algae)가 있다.

12.1.1 바이러스 (virus)

바이러스는 생물과 무생물의 중간적 성격을 띠고 있는 비세포성 미생물이다. 살아있는 세포 밖에서는 독립적으로 증식과 대사를 할 수 없고 항상 숙주생물에 기생하여야만 증식 할 수 있으므로 보통 숙주의 종류에 따라 구분한다.

동물성 바이러스는 보통 척추동물에 기생하며 이들이 일으키는 질병에 의해 소아마비 바이러스(polio virus), 광견병 바이러스(rabies virus) 등과 같이 명명된다. 식물성 바이러스는 숙주식물의 종류와 감염방법, 감염 후 나타나는 특이한 현상에 의해 구분하며, 담배 모자이크 바이러스(tobacco mosaic virus), 외소증 바이러스 등이 있다. 미생물 바이러스는 숙주 미생물에 따라 구분된다. 세균에 기생하는 바이러스를 박테리오파지(bacteriophage)라 한다. 미생물 바이러스는 바이러스가 흡착되는 숙주표면의 수용체 성격에 따라 숙주 특이성(host-specificity)을 가진다.

표 12.1 원핵세포와 진핵세포의 차이점

특 성	진핵세포	원핵세포
세포핵(nucleus)		
핵막(nuclear membrane)	있음	없음
유사분열(mitosis)	있음	없음
염색체(chromosomes)	여러개	1개
세포질(cytoplasm)		
리보솜(Ribosomes)	80-s	70-s
미토콘드리아(mitochondria)	있음	없음
망상구조(endoplasmic reticulum)		
엽록체(chloroplasts)	조류에 있음	없음
리소좀(lysosomes)	있음	없음
골지체(Golgi apparatus)	있음	없음
편모(flagella)	2~9개	1개
세포벽(cell wall)	셀룰로오스, 키틴	뮤코펩티드(mucopeptide)
세포크기(cell size)	20 μ m 이하	5 μ m 이하

12.1.2 원생생물(protoists)

원생생물은 더 많이 분화(differentiation)된 세포인 진핵생물(eucaryotes)과 이에 비하여 분화 정도가 낮은 세포인 원핵생물(procaryotes)의 두 그룹으로 나누어진다(표 12.1). 크기에 있어 평균적으로 원핵생물이 진핵생물의 1/100정도에 불과하다. 원생동물, 조류, 균류는 진핵생물 집단에 속하고, 박테리아, 방선균, 남조류는 원핵생물 집단에 포함된다.

원핵생물(procaryotes)

(1) 박테리아(bacteria)

박테리아는 종(species)이란 공통적인 형질을 지닌 균주들의 집합체이며, 각 종의 기준이 되는 균주를 대표균주(type strain)라고 한다. 박테리아의 모양은 구형(spherical), 막대기형(또는 간균: cylindrical) 및 나선형(helical) 중의 하나의 형태를 띤다. 그리고 온도, pH, 산소 등의 환경조건은 박테리아의 생존과 성장에 중요한 영향을 미친다.

최적 활동온도의 범위에 따라 박테리아는 친한성(psychrophilic), 친온성(mesophilic) 및 친열성(thermophilic)으로 분류된다(표 12.2). 일반적으로 박테리아의 성장을 위한 최적 pH는 6.5~7.5 사이이며 대부분의 박테리아는 pH 9.5 이상 또는 pH 4.0 이하에서 살기 힘들다.

박테리아는 산소요구 정도에 따라 호기성(aerobic)과 혐기성(anaerobic)으로 구분된다. 호기성 박테리아 중에는 산소요구량이 적은 미세호기성(microaerobic) 박테리아가 포함되며, 혐기성 박테리아 중에는 산소에 노출되면 죽어버리는 절대혐기성(satrictly anaerobic)인 것들이 있다.

표 12.2 여러 미생물의 전형적인 온도 범위

종 류	온 도(℃)	
	범 위	최 적
친한성(psychrophilic)	-10 ~ 30	12 ~ 18
친온성(mesophilic)	20 ~ 50	25 ~ 40
친열성(thermophilic)	35 ~ 75	55 ~ 65

표 12.3 그람양성 구균의 특성

속(genus)	세포형태	산소	catalase	cytochrome
<i>Micrococcus</i>	송이형, tetrads	절대 호기성	+	+
<i>Staphylococcus</i>	송이형, 쌍구균	통성적 혐기성	+	+
<i>Streptococcus</i> , <i>Lactococcus</i>	사슬형, 쌍구균	통성적 혐기성	-	-
<i>Leuconostoc</i>	쌍구균, 사슬형	통성적 혐기성	-	-

표 12.4 그람음성 호기성 간균의 특성

과	속	특 성
Acetobacteraceae	<i>Acetobacter</i> <i>Gluconobacter</i>	에탄올을 초산으로 발효, 메탄 이용
Azotobacteraceae	<i>Azotobacter</i> <i>Azomonas</i>	일부 cyst형성, 주모성 또는 극성편모
Legionellaceae	<i>Legionella</i>	생장인자로 시스테인과 철분을 요구
Methylococcaceae	<i>Methylococcus</i> <i>Methylomonas</i>	탄소 및 에너지원으로 메탄 이용
Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i> <i>Xanthomonas</i> <i>Zoogloea</i>	다양한 탄소원을 이용
Rhizobiaceae	<i>Rhizobium</i> <i>Agrobacterium</i>	콩과식물의 뿌리혹 형성에 관여

박테리아는 진정박테리아(procaryote)와 고박테리아(archaeobacteria)로 크게 나눌 수 있다. 진정박테리아는 Gram 염색에 대한 반응에 따라 그람음성과 그람양성 박테리아로 구분된다.

(2) 방선균(Actinomycetes)

방선균은 곰팡이처럼 균사(hypha)를 형성하며 이 균사는 모여서 균사체(mycelium)을

만든다. 그러나 균사의 직경이 0.7 μ m로서 곰팡이보다 작고, 원핵세포로서 세포벽 조성이 그람양성균과 비슷하므로 방선균은 곰팡이와 박테리아의 중간적인 성질을 가진 별도의 미생물로 분류된다. 방선균 중에서 액트노마이세티스(Actinomycetaceae)과의 *Actinomyces*는 호기성이며 병원성이다. *Nocardia*도 호기성이며 우수한 탄화수소 분해능력이 있어 기름 유출 지역에서 잘 성장한다. 스트렙토마이세티스(Streptomycetaceae)과의 *Streptomyces*는 호기성이며 항생제를 생산한다. *Micromonospora*는 균사 끝에 단일 포자가 형성되며 호수의 진흙에서 발견된다. *Thermoactinomyces*는 고온균이다.

(3) 남조류(Blue-green algae)

남조류는 절대적인 광합성 독립영양균(photoautotrophs)이며 탄소원으로 이산화탄소를 사용하고 에너지는 태양광선으로부터 공급받는다. 그리고 물을 전자공여체(electron donor)로 사용하여 유기 탄소화합물을 합성한다. 남조류의 형태는 구상(cocoid)과 사상(filamentous)으로 구분된다. *Anabaena*와 *Nostoc*은 일반적으로 구상이며 사상균으로는 *Oscillatoria*가 있다.

진핵생물(eucaryotes)

(1) 조류(algae)

조류는 광합성을 하는 진핵생물의 여러 그룹을 통칭하는 명칭이다. 조류는 생물학적 처리공정에서 호기성 또는 혐기성 산화지(oxidation pond)를 효과적으로 운영하기 위하여 매우 중요하다. 조류가 호기성 유기영양성 박테리아에게 산소를 공급하는 공생 관계에 있기 때문이다. 조류는 아래의 표 12.5와 같이 분류된다.

표 12.5 조류의 분류

분 류	색 소	기타 특성	대표적인 속
녹조류 (green algae)	클로로필 a, b	단세포, 다핵체, 혹은 세포	<i>Chlorella</i>
홍조류 (red algae)	조홍소	대부분 다세포; 해양성	<i>Polysiphonia</i>
갈조류 (brown algae)	조갈소	다세포; 대부분 해양성	<i>Fucus</i>
규조류 (diatoms)	클로로필 a, c 크산토펜, 엽황소	단세포, 사상성, 혹은 다핵체; 규산염, 세포벽	<i>Asterionella</i>
쌍편모조류 (dionflagellates)	클로로필 a, b 카로티노이드	대부분 단세포 쌍편모에 의한 운동	<i>Noctiluca</i>

(2) 균류(fungi)

균류는 다세포의 진핵세포 생물로서 비광합성 종속영양 미생물이다. 대부분의 균류는

엄격한 호기성, 다핵성(coenocytic)이며, 균사체라는 영양세포가 얽혀 실모양을 하고 있다. 균류는 낮은 pH 상태에서도 잘 견딘다. 대부분의 균류의 적정 pH는 5.6이지만 pH 2~9범위에도 생존한다. 균류는 수분이 낮은 조건에서도 성장할 수 있으며 질소 요구량이 박테리아의 절반 정도에 불과하다. 이러한 낮은 pH 조건, 적은 질소요구량, 그리고 섬유소(cellulose) 분해능력 때문에 균류는 공장폐수의 생물학적 처리나 유기 고형물의 퇴비화(composting)에 아주 중요한 역할을 한다.

균류는 조상균류(Plycomycetes), 자낭균류(Ascomycetes), 불완전균류(Fungi Imperfectti) 및 담자균류(Basidionmycetes)가 있다. 조상균류에는 털곰팡이목(Mucorales)과 노균목(Peronosporales)이 있다. 불완전균류에는 담색선균과(Moniliaceae)와 암색선균과(Dematiaceae)가 있다. Mucor 와 Rhizopus는 털곰팡이 목에 속하며, Penicillium과 Aspergillus는 담색선균과에 속한다. Neurospora와 yeast 는 자낭균류에 속한다.

(3) 원생동물(protozoa)

진핵생물의 한 부류인 원생동물은 이분법으로 분열(binary fission)한다. 원생동물은 단세포 미생물이지만 박테리아보다 크며 박테리아를 에너지원으로 섭취한다. 예를 들어 생물학적 처리공정의 유출수 내의 박테리아 및 고형유기물을 섭취하여 제거한다. 원생동물을 분류하면 다음과 같다.

1) 육질충류(Sarcodina) : 위족으로 아메바 운동을 하여 이동한다.

예 : *Amoeba*, *Entamoeba*

2) 편모충류(Mastigophora) : 편모운동을 하며 광합성을 하는 것이 다수있다.

예 : *Englena*, *Volvox*, *Giardia*

3) 섬모충류(Cilliophora) : 많은 섬모에 의한 동일 운동을 한다.

예 : *Paramecium*

4) 포자충강(Sporozoa) : 보통 비운동성이며 기생성이다.

12.2 혼합배양

의약 및 식품 산업에서는 순수 미생물을 배양하여 특정물질을 생산하는 경우가 대부분이지만 치즈 생산 등의 경우처럼 몇 가지 정의된(defined) 미생물의 혼합체를 사용하는 경우가 있다. 혼합배양의 극단적인 경우는 환경분야에서 미생물 혼합체를 사용하는 것으로 이때에는 혼합체 내의 미생물 분포에 대하여 명확히 정의되어 있지 않다.

한 미생물 혼합체 내에서 집단 사이의 상호작용은 특정한 집단에게 이익이 되는 반면, 다른 집단에게는 손해가 되기도 한다. 이러한 긍정적 또는 부정적인 상호작용은 혼합체

표 12.6 미생물 집단 사이의 상호작용

상호관계	정의	상호작용의 효과	
		집단 A	집단 B
중립(neutralism)	상호작용이 없음.	효과 없음	효과 없음
편리공생(commensalism)	한 종의 생장이 다른 종에 의해 촉진됨.	효과 없음	긍정적 효과
상조공생(synergism)	서로 상대방의 생장을 촉진함.	긍정적 효과	긍정적 효과
상리공생(mutualism)	특정한 두 종이 반드시 서로를 필요로 함.	긍정적 효과	긍정적 효과
경쟁(competition)	일반적인 성장제한요소(기질)를 공통적으로 요구함.	부정적 효과	부정적 효과
편해(amensalism)	한 종이 생성하는 저해물질에 의해 다른 종의 생장이 억제됨.	효과 없음 또는 긍정적 효과	부정적 효과
기생(parasitism)	기생체가 숙주의 세포물질을 이용해서 성장함.	긍정적 효과	부정적 효과
포식(predation)	포식자가 피식자를 잡아 먹음.	긍정적 효과	부정적 효과

내의 집단 사이에 생태학적인 평형을 유지하게 한다. 미생물 집단 사이에서 나타나는 상호작용의 형태는 상호작용이 없는 경우(중립), 긍정적인 경우(편리공생, 상조공생, 상리공생), 부정적인 경우(경쟁과 편해), 한 집단에는 이익이 되나 다른 집단에 해가 되는 경우(기생과 포식)가 있다. 단순한 군집에서는 위의 상호작용 중 하나 또는 몇 가지가 관찰된다.