Chapter 2 세포의 구조와 기능

* **세균의 중요성 : 개체의 수, 생태계에서의 기능, 인간생활에 미치는 영향**
* 생화학, 유전학, 분자생물학의 발전 → 세균(bacteria)의 연구를 통해서 발전

1. 원핵세포의 구조와 기능

○ **원핵세포의 구성 :**

- 세포벽(cell wall), 세포막(cell membrane), 리보좀(ribosome), 핵양체(nucleoid), 봉입체(inclusion body), 편모(flagellum), 선모(pilus), 협막(capsule), 점질층(slime) 등

○ **원핵세포의 일반적인구조**

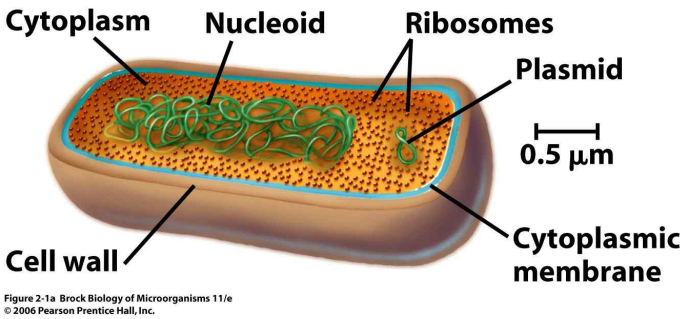

Figure 2-1a Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

1) **원핵세포의** 세포막(cell membrane)

- 세포질막(cytoplasmic membrane)
- 원형질막(plasma membrane)
- 세균의 세포막은 대부분 진핵세포의세포막보다 **단백질 함량**이 높다

① 구조

○ **유동 모자이크 모델(fluid mosaic model) : Singer & Nicholson이 주장**
○ **인지질 이중층(phospholipid bilayer) : 양친매성(극성, 비극성)**
○ 두께는 5-10nm로 단백질과 지질로 구성되어 있다
○ **막 단백질 함유** : 표층단백질, 결합단백질

- **표층단백질(peripheral protein)** : 막과 느슨하게 결합되어 있어 분리가 용이하며 **수용성**이다(20-30% 함유)
- **결합단백질(integral protein)** : 막단백질의 70-80%를 함유하며 추출이 어렵고 **불용성**이다

☞ 세균의 인지질 구성 **지방산 조성은 세균분류의 지표**로 이용되고 있다

② **기능 : 선택적 투과성**

○ **투과와 수송** : 반투막으로서 투과장벽과 물질 수송의 작용을 한다.

- 수동수송(passive transport) : 단순확산, 촉진확산(수송 담체와 결합하여 막을 통과)이 있다.
- 능동수송(active transport) : 당, 아미노산, 카르복실산, 비타민 등을 수송 담체에 의한 수송반응, **에너지필요(ATP)**

○ **전자전달계 존재**

- 전자전달계 : cytochrome, quinone 등이 존재
- 산화적 인산화반응계 존재

○ **효소 및 대사산물의 분비**

- 가수분해효소분비
- 대사산물, 노폐물배설, 세포벽성분, 협막성분, 편모성분 등의 분비

○ **DNA 복제의 조절**

2) 세포질(cytoplasm), 리보좀(ribosome), 봉입체(inclusion body)

① 세포질(cytoplasm) :

○ 세포막과 핵양체 사이를 채우고 있는 물질 (70%가 물)

○ 세포질 내에는 ribosome 및 inclusion body(세포내 저장물질)가 분산되어 있다.

② **Ribosome (리보좀) : 단백질 합성 기능**

○ 침강계수(sedimentation constant) : 70S(sevedebrg) = 30S + 50S

○ 구성성분 : RNA(60%), 단백질(40%)

○ rRNA는 총 RNA의 80%를 차지(균체 총 질량의 30%를 차지)

③ **Inclusion body(봉입체) : 세포내 과립**

- 세포질에는 저장물질이 불용성의 봉입체 형태로 존재하며, 생존을 위한 에너지원이나 생체의 구조형성에 이용된다.

○ **지질과립**

- PHB(poly-β-hydroxybutyric acid) 과립 : 원핵세포에만 존재
- 지용성의 Sudan black으로 잘 염색 : **광학현미경으로 관찰**
- 혐기성 포자형성균, enteric group의 세균에 존재

○ **Polysaccharide 과립**

- 전자현미경으로만 관찰 가능
- **요오드에 의하여 적갈색으로 염색**(glycogen) : 광학현미경으로 관찰

* *Pseudomonas, Azotobacter, Bacillus*

○ **Polyphosphate 과립 = Metachromatic granules라고도 한다.**

- Polymetaphosphate를 대량 함유하는 **volutin 과립**을 가지고 있다.
- Methylene 와 같은 **blue dye**와 빨간 보라색으로 염색된다.

* Bacteria, algae, fungi, protoza 존재

3) 핵양체(nucleoid) = nuclear area

- 기능 : 유전정보를 함유 (Bacterial chromosome)
- 구조 : 한 개의 긴 원형분자(이중가닥 DNA)를 함유
  DNA 분자는 세포막에 결합되어 있다.
- 구성성분 : DNA(60%), RNA, Protein
- **DNA는 negative charge를 띠고 있으며 spermine 또는 Mg^{2+}와 같은 양이온에 의해 중화되고 있다.**

○ **Plasmid :**

- **자기 스스로 복제를 할 수 있으며 항생제 내성을 나타낸다.**
- **독성이나 효소를 생산할수 있으며 다른 세균으로 옮겨갈 수 있다.**
- **유전공학에서 vector로 이용되고 있다**

4) 세포벽(cell wall)

- 세포의 모양이나 삼투압 유지, 유해물질로부터 보호, 병원성을 가진다
- Gram 염색법 : gram 양성균(자주색)과 gram 음성균(핑크색)으로 분류

① **Peptidoglycan (뮤레인) 층의 구조**

- N-acetylglucosamine (NAG) 과 N-acetylmuramic acid (NAMA)이 β-1,4 glycoside 결합으로 기본골격단위(glycan)를 형성하여 중합된다.
- N-acetylmuramic acid에 결합한 tetrapeptide의 측쇄가 인접한 다른 peptide와 교차결합(**cross linkage**)하여 3차 구조 형성한다.
- 교차결합 양식과 tetrapeptide의 종류는 균종에 따라 다르다.
- Peptidoglycan chain의 길이, 교차결합의 양식 및 범위에 따라 세균의 형태가 결정된다.
- **단백질에서 볼 수 없는 D-형 아미노산 (ala, glu)이 존재한다.**

* **Lysozyme** : Peptidoglycan층을 용해하는 효소
  β-1, 4 glycoside 결합을 가수분해
* **Autolysin** : 세포의 성장시 lysozyme과 유사한 작용
* Penicillin (페니실린) : **β-lactam계 항생물질**
  - Peptidoglycan의 교차결합 형성에 관여하는 transpeptidase 작용을 저해

② 그람양성균 세포벽(Gram-positive cell walls)

두터운 peptidoglycan (약 90%)과 teichoic acid로 구성

○ **Teichoic acid의 기본구조 :**

- Glycerol and ribitol과 같은 alcohol과 phosphate의 중합체로 구성
- Glycerol teichoic acid (lipoteichoic acid) : 세포막의 lipid와 결합
- Ribitol teichoic acid (wall teichoic acid) : peptidoglycan층의 n-acetylmuramic acid와 결합

○ **Teichoic acid의 기능 :**

- **음이온(phsphate) 의해서 이온(양이온)의 표층통과를 조절**
- **성장과 분열시에 세포벽 용해효소(autolysin)의 활성조절에 관여함**

* *Streptococcus pyogenes*는 cell wall에 다당류를 함유

③ 그람음성균의 세포벽 (Gram-negative cell walls)

○ 구조 : 그람양성균보다 복잡

- Peptidoglycan 층 : 한 개 또는 수개의 층으로 구성(내막)
- Out membrane(외막) : lipoprotein, 인지질, **lipopolysaccharide(LPS)**
- Periplasm : 가수분해효소, transport protein, chemoreceptor를 함유

* ***Mycoplsma* 는 세포벽이 없다.**

○ **외막 (Lipopolysaccharide, LPS)의 기능 :**

- **강한 negative charge는 host 방어의 2가지 요소인 phagocytosis 와 보체의 작용에서 중요한 인자이다**
- 항생제(penicillin), 가수분해효소(lysozyme), detergent, 중금속, 담즙산염, 염색시약 등의 침투를 방지하거나 느리게 한다.
- 외막은 세포막보다 물질통과가 용이하다. 이것은 외막에 있는 **porin protein**이 channel를 형성하여 nucleotide, disaccharides, peptides, amino acid, vit B12, Fe와 같은 것을 잘 통과시킨다.

○ **LPS의 특성**

- Lipopolysaccharides (lipid A)는 **내독소**역할을 한다.
- Endotoxin(내독성)이라고 불리며 열이나 shock를 유발한다.
- Antigen (항원)으로 작용 : (O-polysaccharides)
- Gram-negative 세균의 종을 구분하는데 유용하다
- Gram-positive 세균의 teichoic acid에 해당한다.

④ **세포벽과 그람 염색 기작**

- **Crystal violet와 요오드의 염색으로 세포내에 불용성 복합체가 형성되고 alcohol로 탈수하여 탈수가 안되면 그람 양성이다.**

○ **그람양성균**(gram positive) : cell wall이 두터워서 탈수가 잘 안됨

○ 그람음성균(gram-negative) : 세포벽이 엷어서 탈수가 잘 됨

⑤ **Protoplast와 spheroplast**

- 세균을 등장용액(isotonic solution)하에서 lysozyme을 처리하면 세포벽이 제거되는 형태가 그람양성균과 음성균이 다르다
- 그람양성균 : protoplast를 형성
- 그람음성균 : spheroplast를 형성

◎ 저장용액(hypotonic solution) : 용균(lysis)

◎ 고장용액(hypertonic solution) : 탈수(수축)

5) Glycocalyx (sugar coat, 糖衣)

* 세포 주위에 존재하는 **당질복합체(협막이나 점질층)**
* 세균의 glycocalyx는 세포벽의 외부에 존재하는 점성 있는 젤라틴 축합물
* 구성성분 : polysaccharide, polypeptide or both

① **협막(capsule)의 기능** :

- 세포벽에 조직적으로 부착되어 있어 세척으로 제거되지 않으며, negative 염색법에 의하여 관찰된다.
- 숙주가 가지는 **탐식작용(phagocytosis)**로부터 세균을 보호한다.
- 수분을 함유하여 건조에 강하게 해준다.
- 바이러스 감염이나 소수성 유독물질(세척제)로부터 자신을 보호한다
- **다른 물체의 표면에 부착할 수 있는 능력이 있다.**

ex) (EPS) extracellular polysaccharides : *Streptococcus mutans*(충치균)

② **점질층(slime layer)**

- 세포벽에 느슨하게 부착되어 있으며, 비 조직화되어 분리되기 쉽다.

③ **S층** : 당질이나 glycoprotein으로 구성된 잘 조직화된 층

- 균체에 병원성을 부여, 이온이나 pH 변동, 삼투압, 분해효소, 탐식세포 등으로부터 자신을 보호하는 기능
- **고세균에서는 세포막외부에 존재하는 유일한 구조**

6) 섬모 (pili or fimbriae)와 편모(flagella)

: 세포막에서 세포벽 밖으로 신장되어 나온 섬유상의 부속기관이다

① 섬모 :

- 그람 음성균은 편모보다 짧고 가늘며 운동성과 관계없는 섬모를 가지고 있으며, **pili와 fimbriae 두 종류가 있다.**
- 구성성분은 **pilin**(모노머단백질, mw 17,000)이 나선으로 배열되어 있다
- **기능 : 부착기능(fimbriae, 보통선모), 세포간의 유전물질 전달(sex pili)**

○ **Sex pili** : F인자(성인자), R인자(약제내성인자), colicin I인자 등을 가지는 균에 의해서 형성된 F선모, R선모, I선모 등이 있다

② **편모(flagella) : 운동기관(지름 약 20nm)**

○ 종류 : 단극모

양극모 - 세포의 양극에 편모다발을 함유(속모)

속극모 - 세포의 한 극에 2개 이상의 편모가 존재

주모- 세포주위에 부착

○ 구조 :

- 섬유(filament) : **flagellin(편모단위단백질)** 이라는 단백질이 8가닥의 나선상으로 감겨있다
- Hook : 중심축의 회전을 섬유부분에 전달
- 기부체 (basal body) : hook을 세포표층에 연결

○ **편모운동**

- **편모의 회전 방향은 세균의 운동성을 결정한다.**
- **편모의 회전에 의해서 전진(시계반대방향)하거나 방향을 전환(시계방향)**

○ **주화성 (chemotaxis) :**

- 어떠한 화학물질이 어떤 농도로 주어지면 미생물은 그 물질을 향하거나 또는 반대방향으로 이동하는 성질을 말한다.
- 유인제(attractant) : 당, 아미노산
- 기피제(repellants) : 유해물질, 노폐물
- 유인물질과 기피물질은 **화학수용체(chemoreceptor)**에서 감지한다.
- 화학수용체(chemoreceptor) : 세포막이나 periplasm에 존재하는 단백질

☞ **편모가 부착된 상태는 세균을 동정할 때 유용하게 사용된다**

8) 세균의 내생포자 (endospore)

- 세균은 환경조건에 따라서 균체내에 endospore라고 불리는 휴지세포 (resting cells) 형성한다.
- **Endospore는 오래 동안 분열증식하지 않고 생존할 수 있으며 건조, 열, 유독물질, 방사선에 대해서 저항성이 강하다.**
- **포자의 위치와 크기는 균종에 따라 다르며 균의 동정에 이용된다.**

ex) Gram 양성간균 : *Bacillus* 속, *Clostridium* 속
Gram 양성구균 : *Sporosarcins* 속
Gram 음성간균 : *Sporolactobacillus* 속
Gram 음성구균 : *Desulfotomaculum* 속

① 포자형성 (sporulation)과정

- 포자 격막이 새로 합성된 DNA와 세포질의 일부분을 분리한다
- 원형질막이 DNA, 세포질, 분리된 막을 둘러싼다.
- 포자 격막이 분리된 부분(준포자)을 둘러싼다.
- Peptidoglycan층을 막 사이에 형성한다.
- **포자막(protein)을 형성**한다
- 내생포자가 세포로부터 유리된다.

◎ **탈수된 내생포자는 DNA 및 소량의 RNA, protein, ribosomes, enzymes 및 소량의 저분자 물질 함유**

◎ **포자건조중량의 15%를 차지하는 dipicolinic acid(유기산)-칼슘복합체가 DNA 안정화에 관여하는 것으로 추정**

② 구조

- 포자의 세포질(core)은 포자벽(spore wall)으로 둘러싸여 있다.
- Core는 발아시 영양세포의 원형질로 전환되며, 효소, RNA, DNA, ribosome, 각종 저분자화합물 함유
- 포자벽은 발아시 세포벽이 된다.
- 포자의 내열성은 **Ca-dipicolinate**가 존재하기 때문인 것으로 추정
- **Spore coat는 cysteine 함량이 많은 단백질로 구성되어 있다.**

③ **발아** (spore germination)

- **발아는 내생포자 막의 물리·화학적 손상에 의하여 유발된다.**
- 자기용해효소가 활성화되어 피층과 포자막이 분해되면서 발아세포로 된다.
- 발아 후 성장 : 발아포자가 첫 번째 세포분열을 할 때까지의 생체합성 과정