

Bölüm 3

BAKTERİLER

3.1. Bakterilerin Genel Özellikleri

Bakteriler küçük, mikroskopik, tek hücreli organizmalardır. Saprotit veya parazit olarak hemen her yere yayılmış bir durum sergilerler. Bazıları hayvansal ve bitkisel organizmalarda hastalık yaparlar.

Daha önceleri bakterilerin hakiki hücre çekirdeği olmadığı kabul edilmiş ise de, modern inceleme teknikleri ile yüksek canlıların hücre çekirdeklerinden bazı farklılıklar gösteren çekirdeklerinin olduğu belirlenmiştir.

Bakteriler bölünerek çoğalırlar ve bir ana hücreden iki yavru hücre meydana gelir. Hücreler yuvarlak, virgül veya spiral şeklindedir. Bazı bakteriler zincir şeklinde hücre kümeleri yaparlar. Bu küme içinde her hücre ayrı bir canlı olup, kümeden ayrıldıklarında canlılıklarını korurlar.

Renk maddeleri üretimi bakterilerde pek belirgin değildir.

Bakterilerden bazıları kamçılı (flagella) olup aktif hareket ederler.

Bazı bakteriler dış etkenlere karşı dayanıklı endosporlar yaparlar.

Standart besiyerlerinde ve belirli koşullar altında her bakteri hücrelerinin değişmeyen özel bir hücre şekli vardır. Bu şekil bakterinin sınıflandırılmasında genel bir özellik olarak kabul edilir. Ancak, bakterilerin dış görünüşleri yaş, inkübasyon sıcaklığı, ortamın kimyasal yapısı gibi birçok faktöre bağlı olarak, sınırlı düzeyde değişim gösterebilir.

3.2. Bakterilerin Büyüklükleri

Bakteriler gözle görülemeyen çok küçük canlılar oldukları için ancak mikroskop altında görülebilir ve ölçülebilirler.

Bakterilerin boyutları (çap ve uzunluk) gelişme dönemlerine, besiyerinin bileşimine ve çevre koşullarına göre değişebilir. Gelişimlerinin üreme döneminde olan bakterilerin boyutları bir örneklilik (homojenlik) gösterir. Durma ve ölme dönemindeki bakterilerde normalinden çok daha büyük, pleomorfik, filamentli vb. formlara rastlanabilir. Bu nedenle, bakteri büyüklüğünün doğru bir şekilde ölçümü için üreme dönemindeki kültürler kullanılır.

Ökaryotik organizmalar ve bakterilerin büyüklükleri mikrometre ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$), virüslerinki ise nanometre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) ile ifade edilir.

Bakteri ve virüslerin büyüklükleri, mikroskopik ölçüm tekniklerinin dışında genom büyüklüklerine ve molekül ağırlıklarına göre de değerlendirilebilir. Genom uzunluğu esas alındığında büyüklük kilobaz (kbp) cinsinden ifade edilir. Molekül ağırlığına göre ise, büyüklük, dalton ($da = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$) cinsinden ifade edilir.

3.3. Bakterilerin Morfolojik Özellikleri

3.3.1. Mikroskopik Morfolojileri

Bakteriler Antony van Leeuwenhoek tarafından çizilen mikroskopik görünüşleri esas alınarak başlıca 3 grup altında toplanmaktadır :

- Yuvarlak biçimdeki bakteriler (koklar)
- Çubuk biçimindeki bakteriler (basiller)
- Sarmal biçimdeki bakteriler (spiraller)

Bu 3 temel mikroskopik görünümün dışında, belirli fiziksel ve kimyasal etkenlere bağlı olarak bazı bakteriler değişik morfolojik görünümlü hücreler yapabilirler. Bunlara pleomorfik bakteriler adı verilir.

a. Yuvarlak biçimdeki bakteriler

Bunlara genellikle kok (tekil hali coccus, çoğul hali cocci) adı verilmektedir. Ortalama hücre çapları 0.5-1.0 µm kadardır. Koklar, üreme fazında, hücrenin bölünme biçimine göre değişik morfolojik formlar oluştururlar.

Hücre bölünmesi tek yönde, birbirine dikey iki veya üç yönde ya da değişik yönlerde düzensiz şekilde olur.

➤ Hücrenin tek yönde bölünmesi sonucu:

- Oluşan iki kardeş hücre, çift oluşturacak şekilde birbirlerine bağlı halde kalırsa, bunlara **diplokok** (Diplococcus) adı verilir. Örnek: *Streptococcus pneumoniae*.

- Oluşan hücreler birbirlerinden ayrılmayıp zincir yaparlarsa bunlara **streptokok** (Streptococcus) adı verilir. Örnek: *Streptococcus pyogenes*. Zincirde yer alan kok sayısı 10-20 arasında olabileceği gibi 100'den fazla da olabilir. Zincir uzunluğu mikroorganizma türlerine bağlı olarak değişim gösterir. Ayrıca besiyerinin bileşimi ve çevre koşulları da bu konuda etkilidir.

➤ Hücre bölünmesi iki yönde olursa:

- Dörtlü koklardan oluşan gruplar meydana gelir. Bunlara **tetrakok** (tetrad) adı verilir. Örnek : *Gaffkya homari*.

➤ Hücre üç yönde, düzenli biçimde bölünürse:

- Paket veya balya görünümünde sekizli bakteri grupları oluşur. Bunlara **sarsina** (sarcinae) adı verilir. Örnek : *Sarcina maxima*. Aşağıdaki görüntü iki boyutlu olduğu için, yalnızca dörtlü hücreler görünmektedir, diğer dört bakteri arkada saklı haldedir.

➤ Hücreler çeşitli yönlerde düzensiz olarak bölünür ve yeni oluşan hücreler birbirlerine bağlı halde kalırlarsa:

- Üzüm salkımı şeklinde kümeler oluşur. Bunlara **stafilokok** (Staphylococcus) adı verilir. Örnek: *Staphylococcus aureus*.

b. Çubuk biçimindeki bakteriler

Bunlar düz veya hafif eğri çubuk şeklindeki bakterilerdir. Çeşitli uzunluk ve genişlikte olurlar. Kısa çubukların boyları enlerine yakın uzunlukta olup kokoid bir şekil gösterirler. Uzun çubukların ise boyları enlerinin 10-20 katı kadar olabilir, bu nedenle genel olarak biraz eğri bir görünümü vardır.

Çubuk bakteriler tek, çift ya da uzun veya kısa zincirler oluşturmuş halde bulunurlar. Tek halde bulunanlar **basil**, zincir oluşturmuş halde bulunanlar **streptobasil**, oval ve kok benzeri olanlar da **kokobasil** adını alır.

Silindirik şekilli hücrelerin uçları yuvarlak ya da düz olabilir. Bazılarında ise kenarlardan bir veya iki uca doğru daralarak sivri bir hal alır.

Birçoğunun eni 0.5-1.0 µm, boyu 1.0-4.0 µm kadardır. Spor oluşturan çubuk biçimindeki bakteriler spor yapmayanlara göre daha büyüktür.

Büyük bir kısmı hareketlidir.

c. Sarmal biçimli bakteriler

Bu bakteriler şekillerine göre başlıca 3 grupta toplanabilir:

- Vibrio. Virgöl-biçimli kısa çubuk şeklinde olanlar.
- Spiroket. İnce, bükülebilir sarmal şeklinde olanlar.
- Spirillum. Kalın, esnek olmayan sarmal şeklinde olanlar.

Büyüklikleri 1-100 µm arasında değişim gösterir. Flagellaları yoktur, fakat uzun eksenleri etrafında dönerek hareket edebilirler.

d. Pleomorfik bakteriler

Bazı koşullar altında, değişik morfolojik özellikler gösteren bakterilere rastlanmaktadır. Bu bakteriler 3 grupta toplanabilir:

- PPLO (Pleuro pneumonia like organism) – formu bakteriler

İnsan ve hayvanlarda birçok hastalıklara neden olan mikoplazmaların hücre duvarları yoktur. Bu nedenle sıvı kültürlerinden hazırlanan preparatlarında oval, yuvarlak, yıldız, halka, yüzük vb değişik morfolojik özellik gösterenlerine rastlanır (örneğin; *Mycoplasma pneumonia* gibi).

- L – formu bakteriler

Bakteriler, hücre duvarı sentezini engelleyen kimyasal maddelerin (penisilin gibi) bulunduğu ortamlarda üretilirse, hücre duvarına sahip olmayan formları meydana gelir. Oval, yuvarlak, disk, yıldız vb biçimler gösteren bu formlara L - formları adı verilir.

Değişken ve değişken olmayan L-formları olmak üzere iki tipte olurlar. Değişken L-formundaki bakteriler ortamdaki kimyasal etken uzaklaştırıldığında tekrar eski şeklini alır ve hücre duvarını sentezlerler. Değişken olmayan L-formundaki bakteriler ise bu anormal yapıda üremelerini sürdürürler.

- İnvolyon formları (atipik veya düzensiz hücre formları)

Mikroorganizmaların üretildikleri besi ortamının karakterinin değişmesi (besin maddesi, pH, ozmotik basınç ve oksijenin azalması; metabolitlerin birikmesi gibi) halinde morfolojik şekillerinde değişimler meydana gelir. Uzun, oval, filamentli, dallanmış, şişmiş, köşelenmiş formlar, bölünmenin gecikmesi gibi anormallikler bu tip değişimler arasındadır.

Besi ortamında optimal koşullar sağlanırsa, bakteriler eski normal biçimlerine kavuşurlar.

3.3.2. Makroskobik Morfolojileri

Bir bakteri uygun bir katı besiyerinde ve uygun koşullarda (sıcaklık, süre, rutubet, oksijen vb.) üretilirse, bir süre sonra gözle görülebilen yığın ya da küme meydana getirir. Bu kümeye koloni adı verilir.

Büyüklüğüne göre değişmek üzere, bir kolonide milyonlarca veya milyarlarca mikroorganizma bulunabilir.

Kolonilerin besiyerlerinde oluşma süreleri bakteri türlerine bağlı olarak değişir. Bazı bakteriler, uygun koşullar altında 24 saat içinde oldukça büyük, gözle görülebilir koloniler oluştururken, bir kısmı (örneğin, PPLO'Lar) 3-5 günden sonra, insan ve memeli hayvanlara ait mikobakteriler ise 15-20 günden sonra görülebilecek büyüklükte koloniler meydana getirirler.

Oluşan kolonilerin büyüklüğü (çap ve yükseklik), şekli (düz, parçalı, dişli), yüzey yapısı (düz veya kaba; parlak veya mat; kat kat yuvarlak halka veya tabaka), rengi (beyaz, sarı, kırmızı, mavi, krem rengi) vb birçok özellikleri, uygun koşullar altında, bakteri türlerine özgü bir karakter taşır. Bu karakterler hücrenin genetik kontrolü altındadır. Ancak, koloninin özelliklerinde çevre koşullarına bağlı değişimler meydana gelebilir.

Katı besiyerinde oluşan koloniler morfolojilerine göre farklı tipler altında toplanabilirler:

- **S (Smooth) – koloni** : Katı besiyerinde küçük, yuvarlak, kenarları ve üzerleri düzgün, kabarık, parlak ve homojen bir biçimde görünen kolonilerdir. Hastalık vakalarından yeni izole edilen (genç) bakteriler bu tipte koloniler oluştururlar.

- **R (Rough) – koloni** : Katı besiyerinde kenarları ve üzeri pürüzlü, mat ve granüllü bir yapıda görünen kolonilerdir. Eski veya birçok kez pasaja maruz kalmış bakteri kültürleri bu tipte koloniler oluştururlar.
- **L – koloni** : Katı besiyerlerinde üstü ve kenarları düzensiz, ortası düğmeli ve granüllü biçimde görünen kolonilerdir. PPLO- ve L-formu bakteriler tarafından meydana getirilirler.
- **M (mukoid) - koloni** : Öze değdirilince iplik gibi uzama gösteren, yapışkan kolonilerdir. Kapsül veya mükoid salgı üreten bakteriler tarafından oluşturulur.

Koloni morfolojisi bakterilerin sınıflandırılmalarında değerlendirmeye alınan kriterler arasındadır.

3.4. Bakterilerin Anatomik Yapısı

Bakterilerin anatomik yapıları iki temel kısma ayrılarak incelenebilir :

- Dış yapılar : Hücre duvarı, kamçı (flagella), pili (pilus), kapsül.
- İç yapılar : Sitoplazmik membran, mezozom, ribozom, nükleus (nükleoid), sitoplazmik granüller, pigment, spor, plazmid, vb.

Aşağıdaki şekilde bir bakteri hücresinin enine kesiti gösterilmiştir.

3.4.1. Dış yapılar

3.4.1.1. Hücre duvarı

Hücre duvarı, PPLO– ve L–formları hariç, bakterilerin etrafını tam ve kesintisiz olarak saran, sitoplazmik zarın dışında yer alan ince ve esnek bir kılıftır. Kalınlığı bakteri cins ve türlerine göre değişmek üzere 10 – 25 nm arasında değişir.

Hücre duvarı elektron mikroskop yardımıyla görülebilir. Ayrıca, özel boyama teknikleri ile boyanabilir ve mikroskop altında farklı renklerde görünebilir. Hücre duvarının “Gram boyama” tekniği ile boyandıktan sonra gösterdiği renge göre bakteriler 2 gruba ayrılabilir:

- a. Gram-pozitif (Gr+) bakteriler.** Gram boyama işlemi sırasında kristal viyole boyasını hücre içinde tutarlar ve bu nedenle mikroskop altında mavi-mor renkte görünürler.
- b. Gram-negatif (Gr-) bakteriler.** Gram boyama işlemi sırasında renk açılmasına maruz kalırlar ve karşıt boya olan safranini tutarlar, bu nedenle mikroskop altında pembe renkte görünürler.

- Hücre duvarının temel yapısı

Bakterilerin hücre duvarı diğer canlılara göre oldukça farklı bir yapı gösterir. Yüksek ve ilkel bitkilerin hücre duvarı selülozdur. Ayrıca alglerin ve funguslardan bazılarının hücre duvarları da selülozdan oluşmuştur. Bakterilerin hücre duvarı ise yarı sert, kompleks moleküler bir ağ yapısına sahiptir. Bu yapıya **peptidoglikan** ya da **mürein** adı verilmektedir. Heteropolimer nitelikteki bu ağ yapısı içerisinde birbirine benzer peptidoglikan monomerleri yer alır. Bir peptidoglikan monomeri, N-asetil glikozamin (NAG) ve N-asetil muramik asit (NAM) olmak üzere, birbirine bağlı iki amino şekeri ile NAM'in uzantısı halindeki bir pentapeptit bağından ibarettir. NAG ve NAM molekülleri ardışık sıralar halinde dizilerek glikan yapıyı oluşturur. Bu uzayıp giden heteropolimer glikan zincirleri enlemesine olarak kısa peptit bağları ile de birbirlerine bağlanmıştır. Pentapeptit bağındaki amino asitlerin çeşidi ve dizilimi bakımından gram-pozitif ve gram-negatif bakteriler arasında biraz farklılık vardır.

Lizozim (diğer adı muramidaz), glikozidaz ve amidaz enzimleri bakteri hücre duvarını etkiler ve peptidoglikan tabakasını eritirler. Ayrıca bazı antibiyotikler de peptidoglikan sentezini önleyebilir.

- Gram-pozitif bakterilerde hücre duvarının yapısı

Gram-pozitif bakteriler birkaç peptidoglikan katmanının oluşturduğu kalın bir hücre duvarına sahiptir. Duvarın kalınlığı 20-80 nm arasında değişim gösterir. Kimyasal olarak, hücre duvarının %60-90 kadarı peptidoglikandan ibarettir.

Peptidoglikan tabakasında taykoik asitler bulunur. Bunlar hücre duvarı boyunca yer aldıkları gibi, duvarın dışına doğru da uzantılar oluştururlar. Taykoik asitlerin bileşiminde gliserol, fosfatlar ve bir şeker alkolü

mevcuttur. Taykoik asitlerin bazısında lipidler de vardır, bunlara lipotaykoik asit adı verilmektedir. Taykoik asitler hücre duvarının daha güçlü bir yapıya sahip olmasına yardımcı olurlar, ayrıca bakterinin antijenik özelliklerinin oluşturulmasında önemli rol oynarlar.

Peptidoglikan tabakasının dış yüzeyinde proteinler yerleşik halde bulunur. Yüzey proteinlerinin sayısı ve tipi bakteri türüne ve suşuna bağlı olarak değişim gösterir. İşlevleri şunlardır:

- Enzim olarak görev yapmak
- Bakterinin değişik yüzeylere tutunmasında yapıştırıcı görevi görmek
- Belirli bakterilerin fagositoza karşı korunmasına yardımcı olmak

- Gram-negatif bakterilerde hücre duvarının yapısı

Gram-negatif bakterilerin hücre duvarı çok katlı bir görünüm sergiler. Hücre duvarını oluşturan katmanlar içten dışa doğru şu şekilde sıralanmaktadır:

1. Peptidoglikan

Hücre duvarının iç kısmında ince bir katman halinde yer alır. Periplazmik boşluğun ortasından geçerek bu boşluğu ikiye böler. Kalınlığı genellikle 2-3 nm kadardır. Kimyasal olarak hücre duvarının yalnızca %10-20 kadarı peptidoglikandan ibarettir. Bu tabaka bakteriyi osmotik basınç değişimlerine karşı koruma görevini yürütür.

2. Dış membran

Fosfolipidler, lipoproteinler, lipopolisakkaritler ve proteinlerden oluşan çift katlı bir lipid tabakasıdır. Kalınlığı 7 nm kadardır.

Dış membranın içe bakan tarafında esas olarak fosfolipidler yerleşiktir. Fosfolipidlerin arasında yer yer lipoproteinler bulunur, bunlar peptidoglikan tabakasına kadar uzantı yaparak dış membranın peptidoglikan tabakasına bağlanmasını sağlarlar.

Dış membranın dışa bakan yüzeyinde ise lipopolisakkaritler vardır. Bunların dış membranın dayanıklılığına katkıda buldukları sanılmaktadır. “**Endotoksin**” olarak da bilinen lipopolisakkaritler “Lipid A” ve polisakkarit olmak üzere iki bölümden ibarettir. Bu bölümlerden Lipid A dış membrana gömülü bir haldedir. Polisakkarit parçası ise dışa doğru uzantı halinde olup, tip spesifik oligosakkaritlerden oluşmuştur. Tip spesifik oligosakkaritler bakterinin antijenik özelliklerinin oluşmasını sağlarlar.

Dış membranda birkaç protein de yerleşik haldedir. Bunların sayısı ve tipi bakterinin türüne ve suşuna göre farklılık gösterir. Bir kısım proteinler dış membran boyunca uzanan gözeneklerin (porların) yapısında yer alırlar. Gözenekleri oluşturan bu proteinlere “porin” adı verilmektedir. Dış membran gözenekli yapısı sayesinde, sitoplazmik membran gibi yarı geçirgen bir özelliğe sahiptir ve kaba moleküler bir elek gibi faaliyet gösterir. Birçok küçük molekül bu gözeneklerden geçerek hücreye giriş yapabilir ya da bazı toksik maddelerin hücreye girişi engellenebilir.

3.4.1.2. Periplazma

Periplazma jelatinimsi bir materyaldir. Gram-pozitif bakterilerde peptidoglikan tabakası ile sitoplazmik zar arasında, gram-negatif bakterilerde ise dış membran ile sitoplazmik zar arasında yer alır. Periplazmada besin maddelerinin parçalanmasında görev alan enzimlerden başka, bu maddelerin sitoplazmik zarıdan taşınmasını kolaylaştıran proteinler de bulunur.

3.4.1.3. Kamçı (Flagellum)

Bakterilerin hemen hemen yarısı hareket edebilir. Bu yetenek kamçı ya da flagellum adı verilen organlarından ileri gelir.

Kamçı ipliğimsi, dallanmış, kıvrımlı bir organdır. Ait olduğu bakterinin boyunun genellikle 4-6 katı kadar bir uzunluğa sahiptir.

Kamçı başlıca 3 bölümden ibarettir: filament, çengel ve bazal gövde.

- a) **Filament.** Hücre yüzeyinden uzanan sert ve kıvrımlı bir kısımdır. Flagellin adı verilen bir proteinden oluşmuştur. İçi boş, kıvrımlı zincirler halinde düzenlenmiş bir yapıya sahiptir.
- b) **Çengel.** Filamenti basal gövdeye birleştiren esnek bağlantıdır.
- c) **Bazal gövde.** Moleküler bir motor gibi faaliyet göstererek kamçının dönmesini ve bakterinin sıvı ortamda ileriye doğru hareket etmesini sağlayan bölümdür. Bir uzantı ve bu uzantı üzerinde yer alan bir dizi protein halkasından ibarettir. Halkalar kamçıyı hücre duvarı ve sitoplazmik membrana bağlar. Gram-pozitif bakterilerle gram-negatif bakteriler arasında bazal gövdedeki halka sayısı bakımından farklılıklar vardır. Gram-pozitif bakterilerde halkalar sadece sitoplazmik zar da yer alır ve kamçı peptidoglikan tabakasından geçerek dışarıya doğru uzanır. Gram-negatif bakterilerde dış membranda da protein halkaları vardır.

Kamçı sayısına göre bakteriler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

1. **Atrik.** Hiç kamçı ulundurmayanlar.
2. **Monotrik.** Bir uçta bir tek kamçısı bulunanlar.
3. **Lofotrik.** Hücrenin bir veya iki ucunda iki veya daha fazla kamçısı bulunanlar.
4. **Amfitirik.** Hücrenin iki ucunda kamçısı bulunanlar.
5. **Peritrik.** Kamçıları bütün hücre yüzeyine yayılanlar.

Bakteri kamçısı hem saat yönünde hem de saatin tersi yönünde hareket edebilir. Bu hareketler basal gövdede bulunan protein tarafından idare edilir. Kamçının saat yönündeki dönüşü ile bakteri takla atmaya benzer bir hareket yapar ve böylece hareket yönünü değiştirir. Bu hareket saniyenin onda biri kadar bir sürede gerçekleşir ve bu yolla öne doğru bir ilerleme kaydedilmez. Saatin tersi yönündeki dönüş ise, bakterinin hareket yönünü değiştirmeksizin uzun, düz veya kıvrımlı hareketler yapmasını sağlar. Bakterinin bu eylemi 1 saniye kadar sürer ve bu sırada uzunluğunun 10-20 katı kadar mesafe alır.

Hareketlilik bakterinin taksis (refleks) yoluyla optimum çevre koşullarında kendini korumasına yardımcı olur. **Taksis**, çevresel uyarıcılara karşı bakterinin gösterdiği hareketli tepkidir. Tepkiye yol açan çevresel faktörler ve bunlara karşı bakterinin verebildiği refleksler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

| Çevresel faktörler | Refleks tipi |
|--------------------|--------------|
| Kimyasal maddeler | Kemotaksis |
| Işık | Fototaksis |
| Ozmotik basınç | Ozmotaksis |
| Oksijen | Aerotaksis |
| Sıcaklık derecesi | Termotaksis |

Kemotaksis, bakterinin çevresindeki çekme ve itme gücüne sahip kimyasal maddelere karşı gösterilen tepkidir. Bu maddelerin bulunmadığı bir çevrede bakteri rastgele hareket eder. Birkaç dakika düz bir hat üzerinde gider veya kayar, sonra durur, takla atmaya benzer bir hareket yapar ve farklı bir yönde kayar. Eğer bakteri kimyasal maddelerin uyarıcı etkisine maruz kalırsa, çekme gücü olan maddenin miktarındaki artma ve itme gücü olan maddenin miktarındaki azalma ile birlikte daha az takla atma hareketi yapar ve daha uzun mesafede kayar; ya da tersi koşullarda normal hızda takla atar. Böylece, optimum çevreye doğru bir hareket gerçekleştirilmiş olur. Barsak patojenlerinin mukoz membranların epitel hücrelerine tutunmalarında hareketli olmalarının ve kemotaksisin rolü olduğu sanılmaktadır.

3.4.1.4. Pili (Tekil hali=Pilus)

Sitoplazmik zar kökenli ince protein borularıdır. Bazı bakterilerde hücrenin tüm dış çeperine yayılmış bir halde bulunur. Gram-negatif bakterilerin hemen hemen tümünde bulunur, birçok gram-pozitif bakteride ise yoktur.

Pilus, “**pilin**” adlı proteinden oluşan bir uzantıya sahiptir. Bu uzantının sonunda, konakçı hücredeki spesifik glikoprotein veya glikolipid reseptörlerinin şekline uygun yapıda, yapışkan bir uç vardır. Bakteri bu uç yardımıyla konakçı hücrenin reseptörlerine tutunur.

Başlıca iki tip pili vardır:

- a) Tutunma pilisi. Bakterilerin birbirlerine ya da katı besiyerlerine tutunmalarını sağlayan kısa uzantılardır.
- b) Seks pilusu. Bakteriyel konjugasyon sırasında DNA'nın bir bakteriden diğerine geçmesini sağlayan birkaç adet uzantıdır. Konjugasyon, genetik rekombinasyonu sağlamak üzere, DNA'nın, seks pilusuna sahip erkek hücreden dişi hücreye iletimidir.

3.4.1.5. Glikokaliks (Kapsül ve sümüksü katman)

Bütün bakteriler bir tür glikokaliks salgırlar. Glikokaliks hücrenin en dışında yapışkan, iplikli bir örtü katmanıdır. Bu örtü katmanı geniş ve yaygın jelatinimsi madde birikimi halinde, hücre duvarının dışına sıkıca bağlı şekilde bulunuyorsa **kapsül** olarak adlandırılır. Glikokaliks tabakası düzensiz ve daha gevşek bir şekilde hücre duvarına bağlı ise, buna da **sümüksü** (slime) katman adı verilmektedir.

Glikokaliks genellikle yapışkan nitelikte bir polisakkarit veya sümüksü karakterde bir polipeptittir. Glikokaliks üretimi mikroorganizmaya bağlı olabildiği gibi, ortam koşulları ile de bağlantılı bir durum gösterir. Mukoz madde üreten bakterilerin kolonileri parlak, yapışkan görünümündedir.

Glikokaliksin besin maddelerini yakalamak, bakteriyi kurumaya karşı korumak gibi birkaç işlevi bulunmakla birlikte, esas olarak iki önemli görevi vardır:

1. Belirli bakterilerin vücuttaki beyaz kan hücreleri ya da toprak ve sudaki protozoonlar tarafından fagositoz yoluyla yutulmaya karşı direnç göstermelerini sağlamak.
2. Bazı bakterilerin kaya, kıl dibi, diş gibi yüzeylere tutunmalarını ve buralarda çoğalmalarını sağlayarak bu yüzeylerden uzaklaştırılmaya karşı dirençli hale getirmek.

Bakterilerin mukoz madde oluşturma yeteneklerinden endüstriyel alanda yararlanılabilir. Örneğin, *Leuconostoc mesenteroides* glikoz polimeri olan dekstrandan çok kalın bir mukoz tabaka üretir. Bu yeteneği nedeniyle sakaroz bulunan ortamlarda dekstrozu elde edilmesinde kullanılır.

3.4.2. İç yapılar

3.4.2.1. Sitoplazmik zar (hücre zarı veya plazma zarı)

Hücre duvarının altında, sitoplazmayı saran ince bir zardır. Sitoplazmik zarın kalınlığı 5-10 nanometre arasındadır, bakteri türlerine göre çok az değişiklik gösterir.

Sitoplazmik zar, fosfolipid ve protein moleküllerinden ibarettir. Fosfolipidler çift katlı bir tabaka görünümündedir. Sıvı karakterdeki bu çift katlı tabaka içerisinde protein molekülleri gömülü halde bulunur. Tüm hücre lipidlerinin %70-90 kadarı sitoplazmik zarda yer alır, dolayısıyla zar fosfolipidler yönünden zengin bir durum sergiler. Hücre duvarına sahip olmayan mikoplazmalar hariç, prokaryotik bakterilerin sitoplazmik zarlarında steroller mevcut değildir, fakat birçoğunda “**hopanoid**” adı verilen sterol-benzeri maddeler vardır. Hopanoidler büyük olasılıkla sitoplazmik zarın stabil bir durumda kalmasını sağlarlar. Fosfolipid moleküllerinin hidrofil uçları (suda çözünebilen gliserol ve fosfat) zarın iç kısmına, hidrofob uçları (suda çözünemeyen yağ asidi) ise dış yüzeye doğru yönelmiş haldedir, böylece hidrofob uçlar zarın iç ve dış yüzeylerini, hidrofob uçlar da merkez bölümünü oluştururlar.

Proteinler iki lipid tabakası arasında yer yer yığılmış halde bulunurlar. Proteinlerin bir kısmı zarın iç kısmına doğru gömülmüştür, bunlara entegre proteinler adı verilmektedir. Bir kısmı ise zarın yüzeyine tutunmuş haldedir, bunlara da perifer proteinler denilmektedir.

Sitoplazmik zar hücrede şu görevleri yerine getirir:

- a. Sitoplazmayı sarar ve korur.
- b. Selektif geçirgenlik özelliğine sahip olduğu için hücreye madde giriş ve çıkışlarını kontrol altında tutar.
- c. DNA'nın replikasyonuna katılır.
- d. Hücrenin çeşitli faaliyetlerinde görev alan enzimleri yapısında barındırır.
- e. Hücre duvarı ve kapsül maddesinin sentezine katılır.
- f. Hücre bölünmesinde ve sporlanmada septum oluşumuna yardımcı olur.

- Selektif geçirgenlik ve madde transportu

Hücre içine girmesi gereken her madde ve hücreyi terkedecek olan her metabolizma ürünü sitoplazmik zarı geçmek zorundadır. Bu olaylarda zar bazen bariyer görevi yapar ve belirli maddelerin hücre içine girişini zorlaştırır veya tamamen engeller. Bazen pompa görevi üstlenir ve zarı doğal olarak geçemeyecek büyüklükteki maddelerin geçişini kolaylaştırır. Bazen de elek vazifesi görür ve kendi gözeneklerinin (porlarının) ölçülerine göre maddelerin girişine ve metabolitlerin çıkışına izin verir.

Hücreye dışarıdan madde girişi ve içindeki bazı önemli metabolitlerin dışarı çıkışı başlıca iki şekilde gerçekleşir:

a) Pasif difüzyon

Maddelerin pasif difüzyon yoluyla hücreye giriş çıkışlarında dış ortam ile hücre içindeki konsantrasyon, ozmotik basınç ve elektriksel yük farklılıkları rol oynar. Maddeler yüksek konsantrasyon ve ozmotik basınca sahip ortamdan düşük konsantrasyona doğru geçiş yaparlar. Sitoplazmik zar bu şekilde her iki ortam arasındaki ozmotik dengeyi ve sıvı akımını ayarlar.

Moleküllerin pasif difüzyonu büyüklüklerine ve suda ve lipidlerde erime durumlarına bağlıdır. Pasif difüzyon yoluyla su, çözünen haldeki gazlar (örneğin; azot, oksijen, karbondioksit) ve lipidlerde çözünebilir moleküller serbestçe giriş çıkış yaparlar. Suda çözünebilir iyonlar, örneğin sodyum iyonları genellikle sitoplazmik zarın küçük çaplı (0.8 nm'den daha küçük) gözeneklerinden geçerler. Potasyum iyonları, eğer, dışardaki konsantrasyon yüksek ise hücrede birikebilirler.

b) Aktif transport

Molekül çapları büyük olan maddelerin (protein, lipid, polisakkarit gibi) sitoplazmik zarı geçebilmeleri için taşıyıcı proteinlere ve metabolik enerjiye ihtiyaç duyulur. Bu yolla dış ortamdaki madde konsantrasyonu düşük olsa bile, hücre gereksinim duyduğu maddeleri içeride biriktirir. Aktif transportta "permeaz" olarak bilinen enzim sistemleri (taşıyıcı proteinler) aracı olarak iş görürler. Örn., *E.coli*'de laktozun sitoplazmik zarı geçebilmesi için beta galaktozidaz adlı permeaz enzimine ihtiyaç duyulur. Bu enzim laktozu parçalar ve böylece hücre içine iletim gerçekleşir.

3.4.2.2. Sitoplazma

Bakteri sitoplazması sıvı karakterde olup, yaklaşık %80'i sudan ibarettir. Sitoplazma içinde nükleik asitler (DNA ve RNA), enzimler, amino asitler, karbonhidratlar, lipidler, inorganik iyonlar ve düşük molekül ağırlıklı birçok bileşik bulunur. Bunların bir kısmı prekürsör moleküller ve protein sentezinde kullanılacak olan yapı taşları, bir kısmı enerji ve karbon kaynakları, bir kısmı da metabolizma artıklarıdır.

Sitoplazmada yer alan başlıca organlar da şunlardır: Mezozomlar, ribozomlar, çekirdek, sitoplazmik granüller, pigment, endospor, plazmid, faj vb.

3.4.2.3. Mezozomlar

Bunlar bakteri hücrelerinin sitoplazmik zarına bağlı ve onun hücre içinde kıvrılması ile meydana gelen oluşumlardır. Genellikle hücre yan çeperlerine yakın yerlerde bulunurlar. Hücredeki işlevleri şunlardır:

- DNA replikasyonu sırasında DNA'nın bağlantı yeri görevi görür.
- Hücre bölünmesi ve sporlanma sırasında septum oluşumunda görev alır.

3.4.2.4. Ribozomlar

Bakteri hücresi için gerekli protein ve enzimlerin sentezinin yapıldığı yerlerdir. Yapılarında %40 protein ve %60 ribonükleik asit (rRNA = ribozomal RNA) vardır. Bakteri ribozomları, 50S ve 30S (S= Svedberg birimi olarak bilinen yoğunluk birimi) yoğunluğundaki iki alt birimden ibarettir. Bu iki alt birim protein sentezi sırasında, çapı yaklaşık 25 nm olan 70S yoğunluğundaki ribozomu oluşturmak üzere magnezyum iyonları yardımıyla birbirlerine bağlanırlar.

Ribozomların sayıları, büyüklükleri ve yoğunlukları bakteri türlerine göre değişim gösterir. Bir bakteri hücresinde 5000-50 000 arasında değişen sayıda ribozom vardır. Üremekte olan bakterilerde sayıları fazladır. Ribozomlar hücre içinde serbest halde bulunabilecekleri gibi, protein sentezi sırasında mRNA (matriks RNA) üzerinde tesbih gibi dizilerek bir araya da gelebilirler. Bunlara poliribozom veya polizom adı verilir.

3.4.2.5. Çekirdek (nükleoid)

Bakteri hücresinin çekirdeği yüksek canlılarda olduğu şekilde bir zar ile çevrili değildir. Ayrıca çekirdekçik (nükleolus) de yoktur. Bu nedenle bakterilerdeki çekirdeğe nükleoid adı verilmektedir.

Bakterilerde nükleoid oval veya yuvarlak biçimde, ortada ya da ortaya yakın bir yerde yerleşmiş durumdadır. Özel boyama yöntemleri ile veya elektron mikroskobu yardımıyla görülebilir.

Bakteriyel nükleoid uzun, iki iplikçikli bir tek DNA molekülünden ibarettir. Bakterilerin çoğunda, DNA'nın iki ucu, fiziksel ve genetik bir halka oluşturmak üzere, kovalent olarak birbirine bağlı halde bulunur. Genler, halkanın etrafında belirli bir sırayla yer aldıkları için bu halkaya genetik halka gözüyle bakılmaktadır. Kromozomun uzunluğu genellikle 1000 µm kadardır ve 4000 civarında gen taşımaktadır.

Uzun DNA molekülü bakteri içerisinde çapı 0.2 µm kadar olan, yuvarlak veya yumurta görünümünde, süper kıvrımlı, sıkı bir kütle halinde bulunur.

DNA'nın süper kıvrımlı, sıkı bir kütle haline dönüşmesinde histon-benzeri proteinlerle **DNA topoizomerazlar** olarak bilinen bir grup enzimin rolü bulunmaktadır. DNA'ya bağlanan histon-benzeri proteinler önce molekülü 50 kadar kromozomal parçaya ayrıştırırlar, daha sonra DNA topoizomeraz enzimi her bir parçayı kendi etrafında kıvrarak, yaklaşık 0.2 µm çapında sıkı bir kütle haline getirir. Dinlenme halindeki bakteride böyle yuvarlak görünümde olan DNA, hücre bölünmesi durumunda uzun bir şekil alır. Dairesel, süper kıvrımlı bakteriyel DNA'nın kıvrımlarının açılması, replikasyonu ve tekrar kıvrımlı hale gelmesinde de topoizomeraz enzimlerine gereksinim vardır.

Bakteriler haploid oldukları, diğer bir deyişle yalnızca bir kromozomları bulunduğu için aseksüel olarak üreme gösterirler. Mitoz ve mayoz bölünmeye bakterilerde rastlanmaz.

Her bakteride bir adet çekirdek bulunmakla birlikte, üremenin çok hızlı olduğu durumlarda, DNA'nın replikasyonu ile bakteri bölünmesi arasındaki uyum bozulursa, bakterinin iki tane nükleoidi bulunabilir.

Çekirdek bakterideki bütün genetik olayları ve metabolizmayı idare eden bir merkezdir. DNA, bir organizmanın hangi proteinleri ve enzimleri sentezleyebileceğini ve böylece organizma tarafından hangi kimyasal reaksiyonların yürütülebileceğini tayin eder.

Bakteriyel genom (organizmanın genetik materyalinin toplamı) DNA'dan oluştuğu için, DNA yapısının daha ayrıntılı olarak incelenmesinde yarar görülmektedir.

- DNA'nın yapısı

DNA, deoksiribonükleotidler olarak adlandırılan yapı taşlarından oluşan, uzun, iki iplikçikli, sarmal şekilli bir moleküldür.

Deoksiribonükleotidler üç kısımdan ibarettir: a) deoksiriboz şekeri, b) azotlu bir baz, c) fosfat grubu.

Deoksiriboz ve fosfat grubunun ardı ardına sıralanması ile DNA'nın zincir şeklindeki şeker-fosfat temel yapısı oluşmaktadır.

DNA'da 4 adet azotlu baz vardır: adenin, guanin, sitozin, timin. Adenin ve guanin pürin bazları; sitozin ve timin ise pirimidin bazları olarak bilinmektedir. Baz çiftleri merdiven biçimindeki çift sarmalın basamaklarını oluşturmaktadır.

Deoksiriboz şekeri 5 karbonlu bir şeker halkasıdır. Halkadaki karbonlar saat yönünde 1'den 5'e kadar sıralanmıştır. Şeker halkasını gerçekte ilk 4 karbon oluşturur, 5. karbon ise 4. karbonun uzantısı şeklindedir.

Şeker molekülünün 1. karbonuna azotlu baz bağlıdır. Deoksiribozlar arasında yer alan fosfat grubu, deoksiribozlardan birisiyle 3. karbondan, diğeriyle de 5 karbondan fosfodiester bağı oluşturarak bağlanmıştır.

Her bir DNA iplikçığının iki ucu vardır. İplikçiklerin 5.uç olarak bilinen uçları daima deoksiribozun 5. karbonuna bağlanan fosfat grubu ile sona erer, 3. uç olarak adlandırılan diğer uç ise daima deoksiribozun 3. karbonundaki hidroksil grubu ile sonlanır. Şeker ve fosfat gruplarının bağlantı tarzı nedeniyle iki iplikçik birbirlerine antiparalel bir durum gösterirler, diğer bir ifadeyle birbirlerine göre ters yönde ilerlerler. Bir iplikçik 3. karbon atomu - 5. karbon atomu doğrultusunda koşarken, diğer iplikçik de 5. karbon atomu - 3. karbon atomu doğrultusunda ilerler.

Bir polinükleotid iplikçığındeki bazların sıralanışı (taban dizilişi) karşı iplikçığın taban dizilişini belirlemektedir. Çünkü, her bir bazın karşısında belirli bir baz yer almakta ve bazlar birbirlerine hidrojen köprüleri yardımıyla bağlanmaktadır. Adenin sürekli timin ile, sitozin ise guanin ile bağlantı yapmaktadır. Bu nedenle, adı geçen baz çiftleri tamamlayıcı baz çifti olarak ifade edilmekte, DNA'nın iki iplikçığının de tamamlayıcı iplikçikler olduğu belirtilmektedir.

Adeninle timin arasında 2 hidrojen köprüsü, sitozinle guanin arasında 3 hidrojen köprüsü bulunmaktadır. Hidrojen köprüleri genellikle bazların keto ($=C=O$) grupları ile amino (NH_2-) veya imino ($NH-$) grupları arasında oluşmaktadır. Bu grupların çok kısa bir mesafede birbirlerine yaklaşmaları sonucunda iki kuvvetli elektron negatif element olan N^- ve O^- , amino veya imino grubuna ait H atomunu kendilerine çekmekte, böylece hidrojen köprüleri kurulmaktadır.

Ortam sıcaklığının artırılması, ortamdaki Mg^{++} iyon konsantrasyonunun değiştirilmesi veya ortama amonyak ilave edilmesi DNA sarmalındaki bazlar arası hidrojen köprülerinin kopmasına veya baz sıralanışlarında değişimlere neden olmaktadır. Sıcaklığın etkisiyle, hidrojen köprüleri kopan iki polinükleotid iplikçığı birbirinden uzaklaşır. Buna "hiperkromite" veya "DNA'nın denatürasyonu" denir. Birbirinden ayrılan polinükleotidler tekrar ısıtılacak olursa, her polinükleotid iplikçığı kendi taban dizilişini tamamlayacak şekilde karşı ipliklerle hidrojen köprüleri kurar. Bu şekilde homolog olduğu oranda karşı iplikle birleşir. Taksonomik çalışmalarda, DNA homolojisi denilen bu teknikten yararlanılır. Bilinmeyen bakteri DNA sarmalının bir polinükleotid iplikçığı, bilinen bakterilerden ayrı ayrı elde edilen DNA'ların tek polinükleotid iplikçikleri ile karşılaştırılır ve DNA homologluğunun % oranına bakılarak akrabalık derecesi saptanır.

- DNA replikasyonu

Replikasyon, kısaca kopyalama işlemidir. Bu işlemde, kardeş hücreye aktarılacak yeni bir genom oluşturmak üzere, mevcut DNA model olarak kullanılıp çift iplikçikli DNA parçasının eş kopyası yapılır.

Çift sarmalın birbirinden ayrılması ve ilki ile aynı olan yeni DNA'nın oluşum mekanizmasını açıklamak üzere üç hipotez ortaya atılmıştır:

a) **Konservatif mekanizma.** Bu hipoteze göre, çift sarmalı oluşturan DNA iplikçiklerinin birbirlerinden ayrılmadığı, bütün halde yeni DNA için matriks işlevi gördüğü, sonuç olarak yeni DNA molekülünün tamamen yeni yapıtaşlarından sentezlendiği savunulmaktadır.

b) **Dispersif mekanizma.** Bu hipotez, ana çift sarmalın yivlerinden kırıldığı, kırılan noktalar arasında yeni DNA parçacıkları sentezlenmek suretiyle boşluğun doldurulduğunu, dolayısıyla DNA çift sarmalında kısa aralıklarla, yeni ve eski materyalden oluşan parçacıkların uzunlamasına ve ardarda birbirleriyle kaynaştıklarını var saymaktadır.

c) **Yarı-konservatif mekanizma.** Yarı-konservatif mekanizmaya göre, ana çift sarmaldaki nükleotid iplikçiklerinin bir noktadan başlayıp ayrıldığı ve her bir nükleotid iplikçığının karşısında yeni bir nükleotid iplikçığının sentezlendiği, sonuçta oluşan DNA'da bir nükleotid iplikçığının eski, diğer nükleotid iplikçığının ise yeni materyalden oluştuğu öne sürülmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, DNA'nın replikasyonunda kesinlikle yarı-konservatif mekanizmanın geçerli olduğu kanıtlanmıştır.

Replikasyon, DNA'daki "replikasyon orijini" olarak adlandırılan özel bir bölgeden başlar ve iki yöne doğru gerçekleşir.

DNA replikasyonunun başlaması için DNA helikazları olarak adlandırılan enzimler aracılığı ile, replikasyon bölgesinden her iki yöne doğru olmak üzere, iki ana iplikçik açılarak düz bir hal alır ve birbirlerinden ayrılır. Bu suretle replikasyon bölgesinde asıl kopyalanma alanı olan, Y biçimli iki adet replikasyon kolu oluşur.

Sarmal stabilitesi bozulan proteinler, replikasyon sırasında kol içerisinde tek iplikçikli bölgeye bağlanırlar, böylece birbirlerinden ayrılan iki iplikçığın yeniden birleşmesini önlerler. Topoizomerazlar olarak adlandırılan enzimler DNA'da önce kopmalara yol açar ve daha sonra, replikasyon sırasında sarmal moleküldeki basıncı hafifletmek üzere, onları yeniden birleştirirler.

İplikçikler tüm DNA molekülü etrafında açılmayı sürdürür ve her iki yönde birbirlerinden ayrılırlarken, serbest haldeki DNA nükleotidleri hidrojen bağlantısı yaparak her bir ana iplikçikteki nükleotidlere bağlanırlar, böylece yeni tamamlayıcı iplikçikler üretilmiş olur. Yeni nükleotidler hidrojen bağlantıları yoluyla her bir ana iplikçığın karşısında sıralanırken, DNA polimeraz enzimleri de nükleotidleri fosfodiester bağları yardımıyla birleştirir. Sonuçta, her bir ana iplikçik kendini tamamlayan kopyasının sentezlenmesinde bir model olarak görev görür ve iki eş DNA molekülünün oluşumu sağlanmış olur. Tamamlayıcı baz çiftleri aracılığı ile sıraya dizilen nükleotidler azotlu bir baz, deoksiriboz ve üç molekül fosfattan ibarettir. Fosfat moleküllerinden iki tanesi yeni nükleotidin 5. karbon atomundaki fosfat grubu ile DNA iplikçisindeki son nükleotidin hidroksil grubu arasında fosfodiester bağı oluşumu sırasında, bağlanma için gereken enerjiyi sağlamak üzere ayrılır.

DNA polimeraz enzimleri sadece, yeni nükleotidin 5. karbon atomundaki fosfat grubunu mevcut zincirdeki nükleotidin 3. karbon atomundaki hidroksil grubuna bağlama yeteneğine sahiptir. Bunun sonucu olarak, DNA yalnızca 5-3 doğrultusunda sentezlenebilir. Önceden, DNA'nın iki iplikçığının birbirine antiparalel oldukları belirtilmiş idi. Bunlardan 3-5 doğrultusunda ilerleyen ve "rehber iplikçik" olarak adlandırılan ana iplikçik sürekli olarak kendi uzunluğu kadar kopyalanabilir. "Geriden gelen iplikçik" adı verilen, 5-3 doğrultusunda ilerleyen diğer ana iplikçik ise, kesikli olarak, her biri 100-1000 nükleotidden ibaret kısa parçalar halinde kopyalanmaktadır.

3.4.2.6. Sitoplazmik granüller

Bunlar genellikle depo maddeleridir. Hücre için hayati önem taşımazlar. Enerji ve karbon kaynaklarının deposu görevini yürütürler. Bunların sayısı besiyerinin bileşimine ve bakterinin üreme durumuna göre değişebilir.

En fazla rastlanan sitoplazmik granüller şunlardır:

Volutin granülleri: Bakteri için enerji ve fosfat kaynağıdır. Hücre fosfata ihtiyaç duyduğunda, buradan kopan fosfatlar metabolizmada iş görürler.

Lipid granülleri: Bakteri için karbon ve enerji kaynağıdır. Bileşimi β -hidroksi bütirik asitten oluşmuştur. Aç bırakılan hücreler önce bu yağ benzeri maddeleri tüketirler.

Polisakkarit granülleri: Glikojen (amilopektin benzeri bir madde) ve nişasta tanecikleri halinde bulunan granüllerdir. Karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılırlar.

Sülfür granülleri: En çok anoksijenik menekşe sülfür bakterilerinde görülen oluşumlardır. Hidrojen sülfürün veya diğer inorganik redükte formdaki sülfür bileşiklerinin oksidasyonu sonucu hücre içinde birikirler. Bazen enerji kaynağı olarak, bazen de hidrojen donörü olarak metabolizmada rol oynarlar.

3.4.2.7. Pigmentler

Bakteriler tarafından oluşturulan pigmentler kolonilerin renk özelliklerini meydana getirirler. Başlıca iki tipte olurlar:

- **Fotosentetik olanlar.** Fotosentez yapan bakteri cinslerinde karşılaşırlar. Yapılarına göre bu pigmentler şu gruplara ayrılırlar : karotinoid, melanin, antosiyanin, kinon, pirol ve fenazin.
- **Fotosentetik olmayanlar.** Suda erimeyen ve suda eriyebilen olmak üzere iki tipi vardır. Suda erimeyen pigmentler bakteri kolonisi içinde kalır ve koloninin renkli görünmesine neden olurlar. Suda eriyebilen pigmentler, bakteri sıvı veya katı besiyerlerinde üretildiği zaman ortama geçebilir ve ortama renkli bir görünüm verirler.

3.4.2.8. Plazmidler

Birçok bakteri, kendi kromozomlarından ayrı olarak çift iplikçikli, sarmal ve yuvarlak DNA moleküllerine sahiptir, bunlara **plazmid** adı verilmektedir. Plazmidler sitoplazmada serbest olarak ya da kromozomla birleşmiş halde bulunabilirler. Plazmidlerde genellikle 5-10 arasında değişen sayıda gen bulunur. Bakteriler antibiyotiklere karşı dirençlerini ve diğer birçok özelliklerini plazmidler sayesinde kazanırlar.

3.4.2.9. Endospor

Bacillaceae familyasında bulunan bakteriler olumsuz ortam koşullarında (örn., ortamda metabolizma artıklarının birikmesi veya besin maddelerinin azalması ya da çevre koşullarının değişmesi gibi) spor oluştururlar.

Her hücre sadece bir tek spor yapar. Sporlar hücre içinde oluşur.

Spor oluşturma bakterilerde bir üreme şekli değildir.

Elektron mikroskopla yapılan çalışmalarda sporun etrafında birçok tabakanın bulunduğu ortaya konulmuştur. Bir sporda en içte sitoplazma yer alır, onun etrafında sırasıyla şu tabakalar bulunur:

- Spor sitoplazmik membranı.
- Spor hücre duvarı
- Korteks (spor kabuğu)
- Spor kılıfı veya dış membran. İç spor kılıfı ve dış spor kılıfı olmak üzere iki katlıdır.
- Ekzosporyum

Sitoplazmik membran ve korteks peptidoglikan yapısındadır. Korteks gevşek, kalın ve konsentrik katmanlı bir tabakadır. Spor kılıfı keratin benzeri protein yapısındadır. Ekzosporyum ise lipid ve proteinden oluşmuştur.

Sporun bileşiminde :

%5-20 su,
%1-3 kalsiyum
spor kuru ağırlığının %5-15'i kadar dipikolinik asit vardır.

Sporlar antibiyotiklere, dezenfektan maddelerin çoğunluğuna ve ışınlama, kaynatma, kurutma gibi işlemlere karşı direnç gösterirler. Fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanım gösterdikleri için yıllarca canlı kalabilir ve uygun şartlar altında tekrar çoğalabilen "vejetatif hücre" haline geçerler. Bu nedenle gıda endüstrisinde ayrı bir önem taşırlar.

Sporun kimyasal etkenlere karşı dayanıklılığında spor kılıfının rolü olduğu sanılmaktadır. Isıya karşı çok direnç göstermeleri çok az su içermelerinden ve ayrıca bileşimlerindeki dipikolinik asitten ileri gelmektedir.

Sporun şekli, büyüklüğü ve yüzey biçimi bakteri türleri arasında farklılık gösterir. Genellikle yuvarlak veya oval şekilli olan sporların hücre içindeki yerleşim yerleri şu şekildedir :

- Sentral (ortada)
- Terminal (uçlarda)
- Subterminal (uca yakın)
- Lateral (dışa doğru çıkıntılı)

Sporun çapı basilin çapından küçük ya da büyük olabilir. Büyük olması halinde basiller limon, raket, tokmak, mekik vb görünümler kazanırlar (*Clostridium* sporlarında görüldüğü gibi).

- Spor oluşumu

Spor oluşumunun başlangıcında basilin uçlarından birinde veya ortasında β -hidroksi bütirik asit birikimi olur. Hücre bu maddeyi enerji ve karbon kaynağı olarak kullanılır.

Bazı basillerde hücre içinde yeterince besin maddesi depolanmış haldedir (endotrofik sporulasyon). Bazılarında ise spor oluşuncaya kadar dışarıdan besin sağlanır (ekzotrofik sporulasyon).

Basil içinde yeterli gıda maddeleri toplandıktan sonra bakteri hücresinde, özellikle çekirdek materyalinde, hücrenin bir ucundan diğerine doğru uzama görülür ve çekirdeğin yarısı spor oluşacak bölgeye giderek yerleşir. Bunu takiben, hücre membranından (olasılıkla mezozomlardan) içeri doğru karşılıklı olarak ve iki tabakalı bir septum uzaması başlar. Septum kısa sürede sitoplazmik membrandan ayrılır, çekirdeği ve onunla birlikte bulunan diğer materyalleri sarar. Sitoplazmik membranın yeni nükleoid, sitoplazma ve önceki aşamada oluşan membranı çevrelemesi ile ön spor oluşur. Bundan sonra spor içeri alınarak olgunlaşır. Ön sporun iç ve dış membranları arasında peptidoglikan tabakası ve kalsiyum dipikolinat gibi maddeler sentezlenir, böylece korteks tabakası oluşur. Daha sonra korteksin dışında spor kılıfı olarak adlandırılan ve proteinimsi bir yapıya sahip, geçirgen olmayan ikinci bir koruyucu tabaka oluşur. Bazı türlerde ayrıca ekzosporyum denilen bir kat daha meydana gelebilir. Son olarak, bakterinin vejetatif parçası yok olur ve endospor açığa çıkar.

Sporlanmada her aşama, türlere göre değişmek üzere 30-90 dakika, tüm sporlanma süresi ise 5-13 saat arasında değişir.

Spor oluşuktan sonra, bundan tekrar vejetatif basilin meydana gelebilmesi üç aşamada gerçekleşir:

- a. Aktivasyon:** Çevre koşulları ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Normal koşullarda aktivasyon yavaştır. Sporlar 65°C'de 15-60 dakika bekletilirse aktivasyon hızlanır. Aktivasyon için koşullar uygun değilse spor dormant (uyuşuk) haline geri döner. Aktivasyon sırasında sporun dışında bulunan dış membran ve ekzosporyumdaki disülfid bağlarında kopmalar meydana gelir ve bu tabakalar tahribata uğrar. Su, mineraller ve diğer bazı gıda maddeleri oluşan çatlaklardan içeri girer ve litik enzimleri aktif hale getirirler.
- b. Filizlenme :** Korteks kısmında bulunan peptidoglikan parçalanır ve çözülür. Kalsiyum ve dipikolinik asit dışarı çıkar. Spor, kuru ağırlığının %30'unu kaybeder. Korteks giderildikten sonra spora dışardan fazla su ve mineraller girer. Spor içinde metabolik aktivite artar ve içeriye giren fazla su nedeniyle sporun çapı büyümeye başlar.
- c. Dışarıya doğru gelişme :** Spor içinde oluşmaya başlayan vejetatif basilin boyu gittikçe uzar ve erimiş bulunan spor zarlarından dışarıya doğru uzanmaya çalışır. Vejetatif hücre giderek tüm metabolik faaliyetlerine kavuşur.

3.5. Bakterilerde Üreme

Bakteriler doğal ortamlarda (toprak, su, gıdalar) üredikleri gibi, laboratuvarlarda uygun koşullarda, yapay besiyerlerinde de üretilmektedir.

Uygun besiyerinde ve uygun koşullar altında mikroorganizmalar, türlerine özgü bir hızda üreme gösterirler. Koşulların uygunluğu devam ettiği sürece çoğalma da sürekli olur. Fakat, mikroorganizmaların laboratuvar koşullarında üretimi için sınırlı miktarda besiyerleri kullanıldığından üremeleri kısıtlanır. Mikroorganizmalar üredikçe ortamdaki besin maddeleri azalır ve bir süre sonra tükenir. Optimal koşulların (pH, ozmotik basınç, oksijen gibi) değişmesi ve besiyerinde toksik metabolik maddelerin birikimi, miktarı az olan besiyerinde üremeyi bir süre sonra baskılar ve durdurur.

Bakterilerde üreme ortadan bölünme şeklinde olur. Bölünme, yuvarlak şekilli bakterilerde (koklarda) herhangi bir çap yönünde, çubuk şeklindeki bakterilerde ise uzun eksene dik yönde meydana gelir. Koklar üreyecekleri zaman önce biraz uzar, daha sonra herhangi bir çap yönünde bölünürler. Çubuk bakterilerde ise önce hücrenin ortasından içeriye doğru bir girinti oluşur ve bunu takiben hücre ikiye bölünür.

Bu tip üreme şekline aseksüel (eşeysiz) üreme denilmektedir. Bununla birlikte, *E.coli*'nin bazı mutantlarında erkek ve dişi hücrelerin bulunduğu ve konjugasyon sonucunda erkek hücreye ait genetik materyalin dişi hücreye geçtiği saptanmıştır. Bu olaya "rekombinasyon" adı verilmektedir.

Bölünme iki aşamalı olup, önce çekirdek bölünmektedir. Bölünme başlamadan önce, bakteri, iki kardeş hücreye yetecek ölçüde, enzimleri ve diğer gerekli organik ve inorganik maddeleri hazırlar ve biriktirir. Bu süreç içerisinde toplu halde bulunan DNA orta bölgede uzamaya başlar, sitoplazmik zardeki özel yere (olasılıkla mezozoma) bağlanır ve replikasyon başlar.

Çekirdeğin bölünmesi bitince asıl bakteri hücresi bölünür. Hücre bölünmesi, hücrenin yan çeperlerinden içeriye doğru ve karşılıklı olarak "septum" adı verilen bir zarın gelişimi ile başlar. Bu oluşuma sitoplazmik zar da katılır ve septum içeri doğru uzayarak hücreyi ortadan iki kardeş hücreye ayırır. Oluşan her iki serbest hücre birbirinden ayrılarak tam bağımsız hale gelebilir ya da birbirlerine bağlı kalarak ikili veya zincir formlarını oluştururlar.

Bakteri popülasyonunda her bir bölünmeye "**generasyon**", bölünme için geçen süreye "**generasyon süresi**" denilmektedir. Generasyon süresi bakteri cinslerine göre değişmektedir. Örn., *E.coli*'de yaklaşık 20 dakika, *Stap.aureus*'da yaklaşık 30 dakika ve *Mycobacterium tuberculosis*'de 792-932 dakika arasındadır.

Bakteriler geometrik tarzda ürer ve katlı bir bölünme gösterirler, örneğin;

1, 2, 4, 8, 16, 32 vb. ya da $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5$ vb.

Bu tarz üreme matematiksel olarak (1×2^n) şeklinde ifade edilebilir. Başlangıçtaki hücre sayısı N^0 olan bir popülasyonda her bir generasyondan sonra oluşan hücre sayıları şu şekilde gösterilebilir:

1 generasyon sonra $N_1 = 2^1 N^0$

2 generasyon sonra $N_2 = 2 \times 2^1 N^0 = 2^2 N^0$

3 generasyon sonra $N_3 = 2 \times 2^2 N^0 = 2^3 N^0$

4 generasyon sonra $N_4 = 2 \times 2^3 N^0 = 2^4 N^0$

n generasyon sonra $N_n = 2^n N^0 = 1 \times 2^n$

Çoğalma hızı, önceden de belirtildiği gibi, aynı şekilde sonsuz olarak devam edememekte ve ortamda meydana gelen metabolizma artışı toksik maddelerin birikmesi ve besin maddelerinin azalması ya da tükenmesi vb nedenlerle birçok hücre bir süre sonra ölmektedir. Buradan da kültürün yaşlanması ile ölüm oranının artacağı anlaşılmaktadır.

Mikroorganizmaların generasyon sayısı (n) ve süresi (g) hesaplanabilir. Bunun için, başlangıçta ekilen mikroorganizma sayısının (a), mikroorganizmanın üremesi için geçen sürenin (t) ve bu süre sonundaki mikroorganizma sayısının (b) bilinmesi gerekir.

$b = a \times 2^n$ olduğuna göre ($2^n = n$ generasyon sonundaki bakteri sayısı)

$\log b = \log a + n \log 2$ olur. Buradan da,

$$n = \frac{\log b - \log a}{\log 2} \quad \text{eşitliği elde edilir.}$$

Generasyon süresi ile generasyon sayısı arasında aşağıda gösterildiği şekilde bir ilişki vardır :

$$n = \frac{t}{g}$$

Her iki n eşitliğinden;

$$\frac{t}{g} = \frac{\log b - \log a}{\log 2} \quad \text{yazılabilir. Bu eşitlikten de}$$

$$g = \frac{t \times \log 2}{\log b - \log a} \quad \text{elde edilir.}$$

Örnek : Başlangıçtaki sayısı 10^3 olan bakteri popülasyonu t =10 saat süreyle inkübasyona tabi tutulduktan sonra bakteri sayısı $b = 10^9$ ise, generasyon sayısı (n) ve generasyon süresi (g) aşağıdaki gibidir:

$$n = \frac{\log 10^9 - \log 10^3}{\log 2} = \frac{9 - 3}{0.3} = 20$$

$$g = \frac{10 \times \log 2}{9 - 3} = \frac{10 \times 0.3}{6} = 1/2 \text{ saat}$$

Buna göre, her yarım saatte 1 generasyon olmak üzere, 10 saat sonunda 20 generasyon geçmiş olmaktadır.

- Bakterilerin gelişim eğrisi

Eğer saf bir organizma, uygun bir sıvı besiyerine aşılandıktan sonra, uygun şartlarda ve belirli bir süre inkübasyona tabi tutulursa, şu gelişim evrelerinden geçer:

- Lag dönemi
- Logaritmik gelişim dönemi
- Durma dönemi
- Ölüm dönemi

1. Lag dönemi

Bu dönem bakteri gelişiminin başlangıç dönemidir. Lag döneminde bakteri kendisini ortama alıştırmaya ve üremeye hazırlanır. Bakterinin aktif olarak çoğalabilmesi için yeni ortamına adapte olması gerekir. Örneğin, glikoz bulunduran bir ortamdan laktoz içeren bir başka ortama aktarılan bakterinin laktozu kullanabilmesi için yeni bir enzimin sentezini yapması gerekir. Bunun için de zamana ihtiyacı vardır. Bakteri bir önceki kültürün durma ya da ölme döneminden alınmışsa uzun ya da kısa bir lag dönemi oluşabilir. Bakterinin uyusuk durumda olması da üremede genellikle biraz gecikmeye neden olur. Eğer, canlı ve gelişmekte olan bakteri kullanılırsa üreme hemen başlar.

Lag döneminde bakteri hücreleri büyüyebilir, fakat bölünme olmadığı için bakteri sayısı nisbeten sabittir.

2. Logaritmik gelişme dönemi

Buldukları ortama uyabilen ve gerekli sentezleri yapan bakteriler ilk birkaç saatte hızla çoğalmaya başlarlar. Çoğalma logaritmik olarak gerçekleştiği için bu döneme logaritmik gelişme dönemi adı verilmiştir.

Logaritmik gelişme dönemindeki kültürler, belirli zaman aralıklarında sayıma tabi tutulurlarsa, üreme eğrisi düz veya dik bir durum gösterir. Bu dönemde mikroorganizmalar birçok özellikleri bakımından bir örneklik (homojenite) gösterirler.

3. Durma dönemi

Logaritmik dönemdeki çoğalma sonsuz değildir. Ortamda toksik metabolizma artıklarının birikmesi, oksijenin azalması, fermente olabilir karbonhidratların parçalanması ile oluşan organik asitlerin ortamın pH değerini düşürmesi gibi nedenlerle üreme giderek yavaşlar. Yeni oluşan hücre sayısı kadar yaşlı hücre ölümü meydana gelir. Bu nedenle, belirli aralıklarla yapılan sayımlarda hücre sayılarının aynı kaldığı görülür. Üreme eğrisinde bu dönem düz ya da düze yakın bir çizgi halinde gösterilmektedir.

4. Ölüm dönemi

Bu dönemde yeni hücrelerin oluşumu azalır ve var olan bakteri hücreleri ölür. Bakterilerin hepsinin ölmemesi, bir kısmının canlılıklarını koruması nedeniyle üreme eğrisi sıfıra ulaşmaz. Bakterilerin tamamen yok olması türlere bağlı olarak değişir. Örn., *Str.pneumoniae* iki-üç gün içinde ölürken, *E.coli* biraz daha uzun bir sürede, *M.tuberculosis* aylar sonra ölmektedir.

KAYNAKLAR

Acar, J. 1987. Genel Mikrobiyoloji ders notları. Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü. Ankara.

Arda, M. 2000. Temel Mikrobiyoloji. İkinci Baskı (Genişletilmiş). Medisan Yayın Serisi: 46. 548 s.

<http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GC/structure.html>

<http://www.bact.wisc.edu/Microtextbook/index.php>

<http://www.cat.cc.md.us/courses/bio141/lecguide.html>

<http://www.innvista.com/HEALTH/microbes/bacteria/classif.htm>

<http://www.mansfield.ohio-state.edu/~sabedon/black09.htm>

<http://www.slic2.wsu.edu:82/hurlbert/micro101/pages/101lab4.html>

<http://textbookofbacteriology.net/structure.html>

<http://users.rcn.com/jkimball.maultranet/BiologyPages/D/DoubleHelix.html>

<http://student.ccbcmd.edu/courses/bio141/lecguide/index.html>

Kaiser, G.E. 2005. Biol 230 Microbiology Lecture Guide. <http://student.ccbcmd.edu/~gkaiser/goshp.html>.

Köşker, Ö., Tunail, N. Genel Mikrobiyoloji Ders Notları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Ankara.