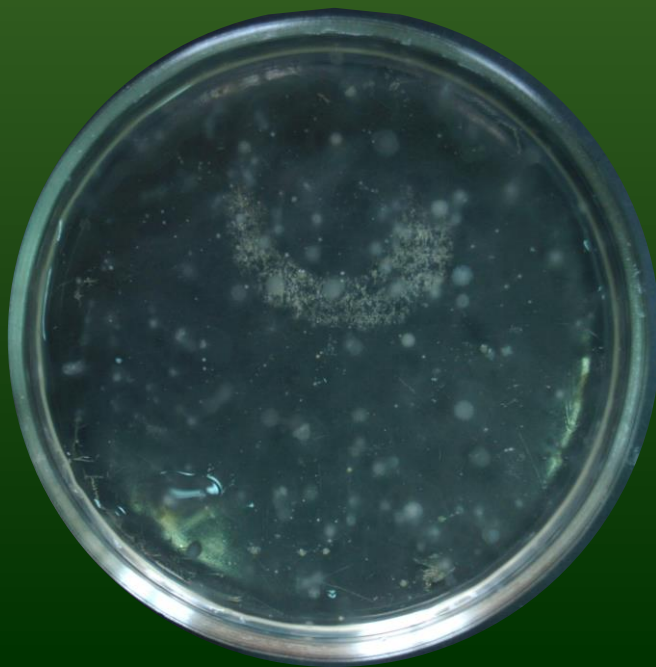




**Kolozsvári István – Sirokai-Kudron
László –
Illár Lénárd**



MIKROBIOLÓGIA I.
(elméleti órák anyaga)

**Beregszász
2024**

**Kolozsvári István – Sirokai-Kudron László –
Illár Lénárd**

**Mikrobiológia I.
(elméleti órák anyaga)**

Összeállította:
Kolozsvári István – Sirokai-Kudron László – Illár Lénárd

Mikrobiológia I.
(elméleti órák anyaga)

A II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola Fodor István
Kutatóközpontjának, valamint a Biológia és Kémia Tanszékének
főiskolai jegyzete



II. RF KMF
Beregszász–Ungvár
2024

A kiadvány II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola biológia és az ember egészsége, továbbá a természettudomány szakos hallgatói számára nyújt rendszerezett szaktárgyi ismereteket mikrobiológiából. Eligazítást nyújt tudománytörténeti és szakmai kérdésekben mind elméleti, mind gyakorlati szempontból. A szerzők általános képet adnak az egyes rendszertani csoportok felépítéséről, morfológiájáról, fiziológiájáról, azok ökológiai, közegészségügyi és ipari jelentőségéről.

Kiadásra javasolta a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola Tudományos Tanácsa (2024. augusztus 26., 22. számú jegyzőkönyv).

Készült a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola Kiadói Részlege, Biológia és Kémia Tanszéke, valamint a Fodor István Kutatóközpontja közreműködésével.

Összeállította:

Kolozsvári István, Sirokai-Kudron László, Illár Lénárd

Lektorálta:

Dr. Kohut Erzsébet – II. RFKMF, Biológia és Kémia Tanszék, tanszékvezető,
docens

Dr. Andrik Éva – II. RFKMF, Biológia és Kémia Tanszék, docens/Fodor István
kutatóközpont, tudományos munkatárs

Műszaki szerkesztés, tördelés: *Sirokai-Kudron László, Kolozsvári István*

Borítóterv: Kolozsvári István

ETO-besorolás: a II. RF KMF Apáczai Csere János Könyvtára

Kiadó: a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola (cím: 90 202, Beregszász, Kossuth tér 6. E-mail: foiskola@kmf.uz.ua)

© A szerzők, 2024

© A szerkesztő, 2024

© II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, 2024

Tartalomjegyzék

Bevezetés	11
1. Bevezetés a mikrobiológiába	12
1.1. Tudományörténeti áttekintés	12
1.2. Alapfogalmak	14
2. A vírusok felépítése és morfológiája	18
2.1. A vírusok felépítése és alakváltozatai.....	18
2.2. Vírusmultiplikáció, a vírusfertőzés lefolyása	22
2.2.1. Megtapadás (adszorpció).....	22
2.2.2. Bejutás	22
2.2.3. Dekapszidálódás	22
2.2.4. Eklipsz fázis	23
2.2.5. Összeépülés	23
2.2.6. Vírusérés.....	23
2.2.7. Kiszabadulás.....	23
3. A vírusok mesterséges szaporítási lehetőségei.....	24
3.1. A vírusok tenyésztése	24
3.1.1. Az állati vírusok szaporítása.....	24
3.1.2. A növényi vírusok tenyésztése	25
3.1.3. A bakteriofágok tenyésztése.....	26
3.2. A vírusok mennyiségi meghatározása	26
3.2.1. Fizikai módszerek.....	26
3.2.2. Biológiai módszerek.....	26
4. A vírusok rendszerezése	28
4.1. A rendszerezés általános alapelvei	28
4.2. A vírusok egyes rendszertani csoportjai	29
4.2.1. Bakteriofágok	29
4.2.2. Algákat, protozoonokat, gombákat fertőző vírusok	30
4.2.3. Növénypatogén vírusok.....	30
4.2.4. Gerincteleneket fertőző vírusok	32
4.2.5. Gerinceseket fertőző vírusok.....	32
4.3. Tumorvírusok, onkogének.....	33
4.3.1. A víruskarcinogenezis általános jellemzői	33
4.3.2. Tumorvírusok típusai	33
4.3.3. Tumorvírusok interakciója a gazdasejttel.....	34
4.3.4. Tumorvírusok nukleinsav-integrációja a gazdasejtbe ..	34
5. Vírusok elleni aktív és passzív védekezés	36
5.1. Vírusvakcinák	36
5.2. Inaktivált, elölt vírusvakcinák	37
5.3. Attenuált élő vírusvakcinák	37
5.4. A jövő vakcinái.....	38
5.5. Passzív immunizálás.....	38

6. Szubvirális ágensek	40
6.1. Viroidok.....	40
6.2. Szatellita vírusok és vírusoidok (szatellita RNS-ek)	40
6.3. Prionok (proteinaceous infectious particle)	40
6.3.1. Kuru.....	42
6.3.2. Creutzfeldt-Jacob-betegség (CJB).....	43
6.3.3. Variáns Creutzfeldt-Jacob-betegség (vCJB)	43
6.3.4. Gerstmann-Straussler-Scheinker-betegség (GSSB)	43
6.3.5. Fatalis insomnia (FI)	44
7. A baktériumok felépítése és morfológiája.....	45
7.1. A baktériumsejtek felépítése.....	45
7.2. A baktériumsejtek alakváltozatai.....	52
7.3. A baktériumok makromorfológiája	53
7.4. A baktériumok szaporodása.....	54
7.5. A baktériumok spóráképzése	54
7.5.1. Endospóráképzés	55
7.5.2. Exospóráképzés	56
8. A baktériumok anyagcseréje.....	57
8.1. A baktériumok anyagcseréjét befolyásoló tényezők	57
8.2. Toxinok.....	60
9. A mikroorganizmusok ökológiai jelentősége	62
9.1. Anaerob fototróf baktériumok	62
9.2. Aerob fotoszintetizáló baktériumok	62
9.3. Aerob kemolitotróf baktériumok	63
9.4. Sarjadzó és/vagy függelékes baktériumok.....	64
9.5. Hüvelyes baktériumok	65
9.6. Csúszva mozgó, termőtest nélküli baktériumok	66
9.7. Csúszva mozgó, termőtestet képező baktériumok (nyálkabaktériumok).....	66
9.8. Ősbaktériumok.....	66
9.9. Actinomycetes	67
9.10. A protiszták jelentősége és osztályozása	68
10. A baktériumok rendszerezése	70
10.1. A rendszerezés elméleti háttere	70
10.2. A prokarióták négy tagozata (divíziók)	72
11. I. divízió (Gracilicutes, Gram-negatív baktériumok)	73
11.1. Spirális Gram-negatív baktériumok.....	73
11.2. Aerob Gram-negatív pálcák és kokkusok	74
11.3. Fakultatív anaerob Gram-negatív pálcák.....	77
11.4. Anaerob Gram-negatív pálcák.....	79
11.5. Anaerob Gram-negatív kokkusok	79
11.6. Sejtélősködő Gram-negatív baktériumok	80
11.7. Aerob kemolitotrof Gram-negatív baktériumok	80
11.8. A sarjadzó és/vagy függelékes baktériumok	81

11.9.	Csúszva mozgó baktériumok.....	82
11.9.1.	Csúszva mozgó, termőtestet képező baktériumok (Mixobaktériumok).....	82
11.9.2.	Csúszva mozgó, termőtestet nem képező baktériumok	83
11.10.	Anoxyphotobacteria (Gram-negatív, fotoszintetizáló. oxigént nem termelő baktériumok).....	83
11.10.1.	Bíbor baktériumok	83
11.10.2.	Zöld baktériumok	84
11.11.	Oxyphotobacteria (Gram-negatív, fotoszintetizáló, oxigént termelő baktériumok).....	84
12.	II. divízió (Firmicutes, Gram-pozitív baktériumok).....	86
12.1.	Gram-pozitív kokkusok	86
12.2.	Endospóráképző Gram-pozitív pálcák és kokkusok	87
12.3.	Szabályos endospórát nem képező Gram-pozitív pálcák	88
12.4.	Szabálytalan, spórátlan Gram-pozitív pálcák	89
12.5.	Mycobakteriumok.....	89
12.6.	Nocardia-formájú Actinomyceták	90
12.7.	Streptomycesek.....	91
13.	III. divízió (Tenericutes)	92
14.	IV. divízió. (Mendosicutes)	94
14.1.	I. csoport: Metántermelő (metanogén) ősbaktériumok..	94
14.2.	II. csoport: Szulfátredukáló ősbaktériumok.....	95
14.3.	III. csoport: Fokozottan sótűrő (halofil) ősbaktériumok	95
14.4.	IV. csoport: Sejtfal nélküli ősbaktériumok	96
14.5.	V. csoport: Erősen hőtűrő (termofil) ősbaktériumok....	96
15.	A gombák országa (Regnum fungi)	98
15.1.	A gombák általános jellemzése	98
15.2.	Élesztőgombák.....	99
15.3.	A valódi gombák alországa (Subregnum Eumycota) ..	100
15.3.1.	Chytridiomycota (vízi gombák) tagozata	100
15.3.2.	Zygomycota (Zigospórák/járomspórák gombák) tagozata	101
15.3.3.	Ascomycota (tömlősgombák) tagozata	102
15.3.4.	Basidiomycota (Bazídiumos gombák) tagozata	105
15.4.	Az álgombák, gombaszerű szervezetek alországa (Subregnum: Pseudomycota).....	107
15.5.	Nyálkagombák országa (Regnum: Myxomycota)	108
16.	Az algák országa (Regnum Algae).....	109
17.	A protozoonok országa (Regnum Protozoa).....	112
18.	A mikroorganizmusok gazdasági jelentősége	115
18.1.	Élesztőket hasznosító hagyományos mikrobiológiai eljárások.....	116

18.1.1. Borászat	116
18.1.2. Sörgyártás	116
18.1.3. Kenyérgyártás	117
18.2. Ecetsav-baktériumokat hasznosító hagyományos mikrobiológiai eljárások	117
18.3. Tejsavbaktériumokat alkalmazó mikrobiológiai eljárások	118
18.3.1. Tejtermékek (sajt, kefir, joghurt) előállítása	118
18.3.2. Savanyúságok készítése	119
18.3.3. Silózás	120
18.4. Vajsavbaktériumokat alkalmazó mikrobiológiai eljárások	121
18.5. Mikroba, mint fehérje- és aminosavforrások	121
18.6. A gőnébézészet gyakorlati alkalmazása	121
19. Általános immunológia	123
19.1. Az immunrendszer általános bemutatása	123
19.2. Az immunválasz lépései	127
19.3. Immunrendszer kóros állapotai	128
Felhasznált és ajánlott szakirodalom	130

BEVEZETÉS

A mikroorganizmusok világa körbevesz minket. Alapvető hatással vannak ránk élettani és közegészségügyi szempontból egyaránt, de sok iparilag fontos gazdasági ágazat sem létezhetne nélkülük. A mikroorganizmusok származásukat és felépítésüket tekintve igen heterogének. Összességében sokmindenben nagyon különböznek a magasabbrendű létformáktól. A Mikrobiológia I–II. kötetekben a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola biológia és az ember egészsége, továbbá a természettudomány szakos hallgatói számára gyűjtöttük össze mindazon ismereteket, amelyek a mikrobiológia tárgy sikeres elméleti és gyakorlati teljesítéséhez elengedhetetlenek.

A két kiadványban az olvasó átfogó képet kaphat a vírusok, szubvirális ágensek, prokarióták és a mikrobiológia érdekkörébe tartozó egyes eukarióta csoportok tekintetében is. Mind elméleti, mind az elméleti ismereteket kiegészítő gyakorlati foglalkozások leírását közöljük.

Az egyes rendszertani egységek makro- és mikrostruktúrájának, fiziológiájának, esetleges patogén hatásainak ismerete, valamint a felhasználásuknak, vagy az ellenük való védekezésnek a lehetőségei úgy általános ismereti, mint szakismereti szempontból ajánlottak. Mindezek figyelembevételével az elméleti ismereteket mindenütt igyekeztünk gyakorlati szempontból is megvilágítani. Fontosnak tartjuk, hogy a hallgatók alapvető mikrobiológiai laboratóriumi jártasságot is szerezzenek. Tisztában legyenek a laboratóriumok ajánlott balesetvédelmi és működési szabályaival, megismerjék az alapvető mikrobiológiai eljárásokat, eszközöket, berendezéseket a főiskola által biztosított infrastrukturális keretek között.

Fontos, hogy az élettudományok és a környezettudományok terén jártas szakemberek ismerjék a különböző mikrobiológiai rendszertani csoportok gyakoribb képviselőit. Tisztában legyenek azzal, hogy hol találkozhatunk velük, milyen ökológiai szerepük van, hogyan befolyásolják életünket, indokolt-e az ellenük való védekezés, ha igen annak milyen lehetőségei vannak.

1. BEVEZETÉS A MIKROBIOLÓGIÁBA

1.1. Tudományörténeti áttekintés

Az ember ősidők óta együtt él a mikroorganizmusokkal. Kezdetben a fertőző betegségeket nem tudták megkülönböztetni a mérgezésektől, ebből ered például a vírus (méreg) fogalom is. Voltak, akik kissé misztikus megfogalmazással „miazmákról” beszéltek, eme láthatatlan élőlényeknek tulajdonították a fertőzések eredetét. Egyesek szerint ezek a légző utakon keresztül jutottak be a szervezetbe.

Azt, hogy a mérgezés és a fertőző betegség különbözik kiváltó okában is, már a római **Lucretius** feltételezte az Kr.e. I. században. **Girolamo Fracastoro** itáliai orvos (1483–1553) továbbmenve a fertőzések eredetét szabad szemmel láthatatlan élőlényeknek tulajdonította, amelyek a levegővel, vagy kontakt érintkezés útján terjednek.

Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723): mikroszkópjával baktériumokról, mikroszkópos gombákról készített rajzait a brit Royal Society korabeli kiadványa őrizte meg.

A mikroszkóp alkalmazásával gazdagodó morfológiai ismeretanyag mellett a mikrobiológia fejlődését segítette az ősnemzés tanának hirdetői és tagadói között dúló vita. **Lazzaro Spallanzani** (1729–1799) mikroszkópos preparátumban megfigyelte, hogy a baktériumtömeg a táplevesben egy sejtből kiindulva jön létre, azt is bizonyította, hogy a kiforralt táplevesben nem indul meg a baktériumok szaporodása, ha a táptalajt tartalmazó edényt a forralást követően leforrasztotta.

Louis Pasteur (1822–1895): a kísérletes mikrobiológia megalapozója, sterilizációs és tenyésztési kísérletekkel cáfolta az ősnemzés tanát. Felismerte az optikai izoméria biológiai jelentőségét, a mikroszervezetek ezirányú szelektív tápanyag-hasznosítási képességét. Tanulmányozta az erjedési folyamatokat, felfedezte az anaerobiózist. A bor megromlásának megelőzésére bevezette a később róla elnevezett pasztörözést, felismerte a selyemhernyó mikrobák okozta betegségeit. Felfedezte a baktériumspórák extrém hőtűrését, ellenálló képességét, több állati fertőző betegség kórokozóját: lépfene és a

sertésorbánc. A gyógyítást megalapozó eredményt ért el a veszettség kórokozójával, kórfolyamatával kapcsolatban.

Robert Koch (1843–1910) a zselatin alkalmazásával elsőként vezette be a szilárd táptalaj használatát a mikrobiológiai munkák során, lehetővé téve az egyszerű tiszta tenyésztéskészítést. Tökéletesítette a mikroszkopizálás technikáját a kondenzor és immerzió bevezetésével, mikrotechnikai (festési) eljárásokat dolgozott ki baktériumok identifikálására. Megcáfolta a pleomorfizmus elméletét (miszerint a különféle baktériumok a környezeti tényezők hatására létrejövő variációk). Felfedezte a kolera és a tuberkulózis (tbc) kórokozóját.

Koch-féle posztulátumok:

- A fertőző beteg szervezetéből a kórokozó mikroorganizmus minden esetben kitenyésztethető, az egészségesben azonban nincs jelen.
- Az izolált mikroorganizmus tiszta tenyészetben fenntartható.
- Az így fenntartott mikroorganizmussal az egészséges szervezet újra betegíthető.
- Az előzőleg izolált mikroorganizmussal azonos kórokozó ismét kitenyésztethető a mesterségesen fertőzött szervezetből.

John Tyndall bizonyította a légszennyező por és a mikróbaszennyezettség közötti összefüggést, valamint egyes baktériumspórák hőtűrésének felismerése terén jelentős eredményeket ért el.

Semmelweis Ignác a kórházak, szülészetek higiénés viszonyainak javításával sokat tett a fertőző betegségek elleni harc terén.

Joseph Lister a kémiai anyagokkal történő fertőtlenítés (dezinficiálás) kérdését oldotta meg karbol (fenol vizes oldata) segítségével az 1860-as években.

Emil A. von Behring (1854–1917): felfedezte, hogy az inaktívált diftéria exotoxin alkalmas vakcinálásra.

Szergej Vinogradszkij (1856–1953): a talajmikrobiológia alapjait rakta le, felfedezve a kemolitotróf energianyerést, tisztázva

a nitrogénfixálás néhány kérdését, vizsgálta a talajban élő mikroorganizmusok szerepét az elemkörforgalomban és a lebontási folyamatokban.

Martinus Beijerinck (1851–1931) alkalmazta először a vírus fogalmat a baktériumoknál kisebb kórokozókra.

Ilja Iljics Mecsnyikov felfedezte a fagocitózis folyamatát. Tisztázták az egyes fertőző betegségek és kórokozók kapcsolatát. **Friedrich Löffler** a diftéria, a takonykór, **Charles A. Laveran** és **Ronald Ross** a malária, **Georges Gaffky** a tífusz, **Charles Nicolle** a kiütéses tífusz tanulmányozása terén szerzett múlthatatlan érdemeket.

A vírusok tudományos megismerése **Dimitrij Ivanovszkij**, **Paul Frosch**, **Beijerinck** és **Löffler** munkásságának köszönhető. **Frederick W. Twort** és **Felix d'Herelle** felfedezték a bakteriofág vírusokat. **Wendell M. Stanley** elsőként kristályosított ki dohánymozaik vírust.

Paul Ehrlich és **Sahachiro Hata** több ezer vegyület módszeres átvizsgálása során ismerte fel a salvarsan antibakteriális hatását 1908-ban. A vegyületet sikerrel alkalmazták a vérbaj, a szifilisz kórokozója ellen, megalapozva a kemoterápiás szerek kórokozó mikrobák elleni alkalmazásának lehetőségét, amelynek elvi alapja a szelektív toxicitás tényének felismerése volt.

Gerhard Domagk felfedezte a prontosilt, **Alexander Fleming** a penicillint (1929), **Howard Florey** és **Ernst Chain** kidolgozta a penicillin ipari méretű előállításának módszertanát, **Selman Waksman** felfedezte sztreptomycint (1944), **Robert Holley**, **Har G. Khorana**, **Marshall W. Nirenberg** pedig mikroorganizmusok genetikai kódjának megfejtése terén ért el eredményeket.

1.2. Alapfogalmak

- **Neutralizmus:** amikor a két különböző élőlény együttélése során semmiféle komolyabb kölcsönhatással nincs egymásra.
- **Kommenzalizmus:** amikor az egyik fajra nézve előnyös, a másikra pedig közömbös az együttélés jellege.

- **Protokooperáció:** primitív, kölcsönösen előnyös kapcsolat két élőlény között.
- **Szimbiózis** (mutualizmusnak): szintén kölcsönösen előnyös kapcsolat két élőlény között, de fejlettebb, mint a protokooperáció.
- **Kompetíció (versengés):** egyik fél számára sem előnyös együttélés.
- **Amenzalizmus:** az egyik élőlényre nézve hátrányos, a másakra közömbös vagy előnyös együttélési forma.
- **Parazitizmus** (patogén viszony): az egyik élőlény számára hasznos, a másakra ártalmas együttélési forma.
- **Ragadozó-zsákmány viszony:** az egyik élőlényre nézve előnyös, a másakra pedig végzetes kapcsolat.
- **Patogenitás:** minőségi kifejezésként használjuk, azt jelöljük vele, hogy valamely mikroorganizmus faj, pontosabban a faj bizonyos egyedei képesek betegséget okozni egy másik fajon.
- **Gazdaszervezet:** egy adott faj azon egyede, amelyben egy adott patogén kórokozó képes szaporodni, valamilyen elváltozást tud benne kiváltani.
- **Nem-patogén (apatogén):** amikor egy adott mikroorganizmus az adott fajban nem képes patogén elváltozások kialakítására, mert az adott faj nem gazdája a kórokozónak.
- **Virulencia:** mennyiségi kifejezés, mellyel a megbetegítő képesség kiterjedtségét és/vagy erősségét (virulencia) jelöljük.
- **Virulens:** az a kórokozó, amely az általában ellenálló gazdaszervezetet is képes megbetegíteni.
- **Avirulens:** az olyan mikroorganizmus, amely az általában ellenálló gazdaszervezetet nem képes megbetegíteni.
- **Agresszivitás:** a virulens kórokozó által más törzsekhez képest súlyosabb/kevésbé súlyos betegség kiváltásának mértéke.
- **Obligát patogén:** azok a kórokozók sorolhatók ide, amelyek csak gazdaszervezetükben vagy ezek sejt- és szövettenyésztésében képesek életben maradni, táptalajon nem tenyészthetők.

- **Fakultatív kórokozó:** amely táptalajon tenyészthető, a természetben általában szaprofiton életciklusuk is van, de betegséget is okoznak alkalmas gazdán.
- **Biotróf kórokozó:** élő szövetekben tenyészik.
- **Nekrotróf kórokozó:** elhalt szövetekben tenyészik (olykor ők maguk pusztítják el a szöveteket toxikus anyagcseretermékekkel).
- **Opportunistikus kórokozók** (másodlagos patogének): azokat a mikroorganizmusokat soroljuk ide, amelyek normális, egészséges szervezetet nem képesek megtámadni, csak olyat, amelyiket valamilyen hajlamosító tényező (**prediszpozíció**) különösen érzékennyé tesz, ilyen prediszpozíciót jelenthet pl. a cukorbetegség, a HIV-fertőzöttség.
- **Fertőzőképesség:** a mikroorganizmus azon tulajdonsága, hogy fertőzést tud kezdeményezni a gazdaszervezet valamely pontján.
- **Inváziós képesség:** a patogén mikroba azon tulajdonsága, melynek segítségével a fertőzési pont környezetében lévő sejtekbe, sőt távolabbi szövetekbe is behatolhat.
- **Fogékony szervezet:** amelyiket egy adott kórokozó képes megbetegíteni.
- **Abszolút fogékony szervezet:** amikor a fertőzést követően tünetek jelennek meg és kifejlődik a betegség.
- **Toleráns (tünetmentes) szervezet:** a fertőzést követően a kórokozó szaporodik a gazdában, de ennek semmi látható tünete nincs, viszont az ilyen egyed a fertőzés hordozója, s képes a betegséget más egyedekre átvinni.
- **Ellenálló szervezet:** amelyiket egy adott kórokozó nem képes megbetegíteni.
- **Inkubációs hordozó:** amikor azért tünetmentes a gazdaszervezet, mert a betegség még lappangási stádiumban van.
- **Konvaleszcens (lábadózó) hordozó:** amikor már tünetmentes, de még vannak benne fertőzőképes mikroorganizmusok.

- **Krónikus hordozó:** azok hordozók sorolhatók ide, amelyek gyógyultságuk vagy látszólagos gyógyultságuk után tetemes idő elteltével is fertőzésterjesztők.
- **Passzív hordozók:** helyhez kötött életmódú gazdaszervezetek (pl. növények).
- **Aktív hordozók:** mozgásképes életmódú gazdaszervezetek (pl. sok állat).
- **Vektorszervezetek:** azokat az élőlényeket nevezzük így, amelyek más fajok egyedei, esetleg több különböző faj egyedei között terjesztik a fertőzést, s passzív és aktív hordozókról egyaránt képesek átvinni a kórokozókat egészséges egyedekre.
- **Rezisztencia:** a növények fertőzésekkel szembeni ellenállóképessége.
- **Nem-specifikus ellenállóság:** az emberek és magasabbrendű állatok fizikai gátló tényezők (bőr, nyálkahártya, a légzőszervek csillangói, láz), kémiai gátló tényezők (fibronektin, lizozim, interferonok, bakteriocinek) és biológiai gátló tényezők (a normál endogén mikroflóra, fagociták) alkotta védekezőképessége.
- **Immunválasz:** a szervezetbe bekerült mikroorganizmusokkal és idegen makromolekulákkal szemben fajlagos ellenanyagok termelés által történő védekezési forma embereknél és magasabbrendű állatoknál.
- **Aktív immunitás:** fertőzés által kiváltott természetes immunválasz.
- **Passzív immunitás:** az anyától a placentán és a kolosztrumon keresztül kapott immunanyagok által kialakított védekezési forma.
- **Aktív immunizálás:** elölt vagy gyengített kórokozóval, annak valamilyen komponensével vagy anyagcseretermékével végzett vakcinálással kialakított mesterséges immunizálás.
- **Passzív immunizálás:** más élőlényben előállított ellenanyag bejuttatásával történő mesterséges immunizálás.

2. A VÍRUSOK FELÉPÍTÉSE ÉS MORFOLÓGIÁJA

2.1. A vírusok felépítése és alakváltozatai

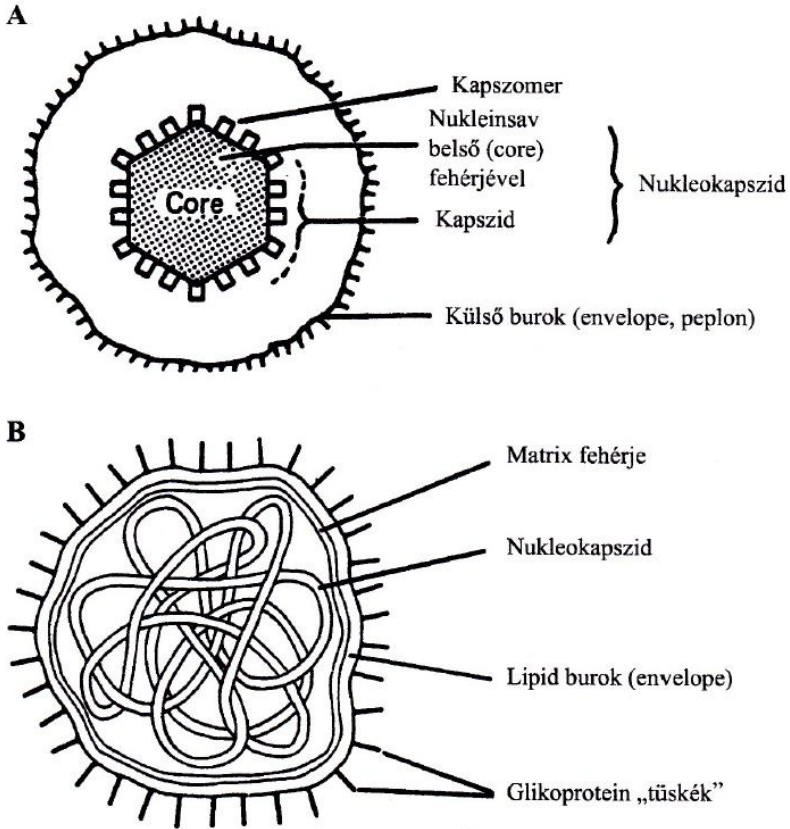
A vírusok fertőző nukleoproteidek, ami azt jelenti, hogy fertőző genetikai információt hordoznak magukban. A fertőző jelleg arra a tulajdonságra utal, hogy a vírusok járványszerű betegségek kialakítására képesek, míg a genetikai információ a vírusokban a köpenyfehérjével burkolt nukleinsavat jelenti, ami a fertőzött sejtekben új fehérje és nukleinsav képzése formájában nyilvánul meg.

A nyugalomban levő, morfológiailag komplett vírusrészeket virionoknak nevezzük, míg a sejtben megsokszorozódó, azaz replikálódó nukleinsavakat vegetatív vírusként különböztetjük meg. A virionok két alapvető részből állnak, a nukleinsav lánc(ok)ból és a köpenyfehérjéből. Egyes virionokat glikoprotein vagy foszfolipid burok (envelope) vehet körül.

A vírusok leglényegesebb része, genetikai állománya a nukleinsav lánc, amely lehet dezoxiribonukleinsav (DNS) vagy ribonukleinsav (RNS), mégpedig egyszálú (single stranded), vagy kétszálú (double stranded). Egy virion képzésében egyféle típusú nukleinsav a meghatározó, tehát vagy RNS, vagy DNS. A vírus-RNS-t pozitívnek (+) nevezzük akkor, ha róla közvetlen transzláció valósul meg, azaz mRNS-ként funkcionál. A vírusokban a nukleinsav bázisok sorrendje a meghatározó. A nukleinsavakban foglalt információk felelősek a fertőzőképességért, a vírusreplikációért, a fehérjék szintéziséért, beleértve a köpenyfehérje szintézisét is. A vírusgenom lehet egykomponensű, azaz osztatlan és lehet többkomponensű, azaz osztott. A nukleinsav szabad láncként (lineáris), vagy kör (cirkuláris) formában is előfordulhat.

A köpenyfehérje (coat protein, CP) a virionok másik lényeges alkotórésze. Külső védelmi szerepet tölt be. A köpenyt (kapszidot) alkotó köpenyfehérje alegységekből (kapszomerekből) áll, amelyek szabályos térbeli elrendezésben veszik körül a nukleinsava(ka)t, és így azzal (azokkal) nukleokapszidokat alkotnak. A nukleokapszidok a virion felépítésének egységei. Ezek térbeli elrendeződése adja meg

a virionok jellegzetes alakját. A nukleokapszidok elrendeződése két alapvető formát mutat, a helikális és az izometrikus (izometriás) szimetriaviszonyok szerint.



1. ábra. A víruspartikula felépítése.

A-ikozaéderes vírus burokkal; B-helikális szimetriájú vírus (BIRÓ et al. 2001)

A nukleokapszidok a különböző vírusok felépítésének egységei, és térbeli elrendeződésük adja meg a virionok jellegzetes alakját. Elektronmikroszkópos felvételek bizonyítják, hogy a virionok nukleokapszidja szimmetrikus szerkezetű függetlenül attól, hogy a viriont burok veszi-e körül vagy nem.

Négy szerkezeti csoportba sorolhatjuk a vírusokat a helikális és az izometrikus szimmetriaviszonyok szerint:

- **Helikális vírusok**

A köpenyfehérje-alegységek csavarvonal (helix) mentén, elsődlegesen hossz tengely körüli szimmetriával helyezkednek el. Ribonukleotid csőként is felfoghatók (pl. dohánymozaik vírus), pálcika vagy hosszú fonál alakúak. A nukleinsavláncon szabályszerű elrendezésben, kukoricaszemekhez hasonlóan foglalnak helyet a köpenyfehérje-alegységek. Az influenzavírus esetében a nukleokapszid-fonál nem egyenes, hanem felcsavarodott és burok veszi körül.

- **Kubikális vírusok**

A köpenyfehérje-alegységek egy szabályos kristályrendszer szerint (izometrikusan) rendeződnek a legkevesebb szabad energia felhasználásával. Az izometrikus virionoknál a szimmetria elrendeződés legtökéletesebben az ikozaéder formában valósul meg, ahol minimálisan 60 azonos alegység vesz részt a szabályos mértani forma felépítésében (az ikozaéder 20 egyenlő oldalú háromszög által határolt alakzat, melynek 30 éle és 12 csúcsa van. A háromszögek csúcsain lévő fehérje alegységeket pentamereknek, a lapjain és élein lévőket hexamereknek nevezzük.

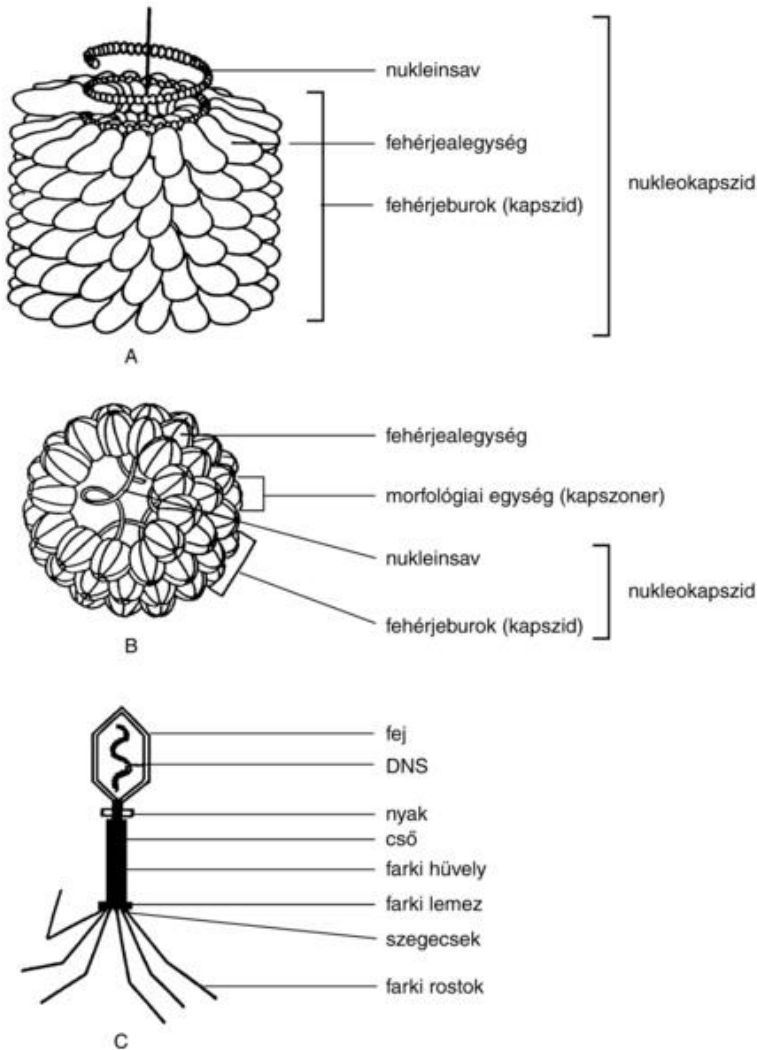
- **Binális vírusok**

A farkos bakteriofágok tartoznak ide, ahol a helikális és izometrikus szerkezet kombinálódik. A fejrész izometrikus (ikozaéder vagy oktaéder), a fark pedig helikális szerkezetű fehérjecső, amely spirális lefutású molekulaláncból épül fel. Kisebb binális vírusoknál egy farkvégi tapadófonál van, míg a nagyobb, komplexebb vírusoknál 6-kontraktilis fehérjéből álló farkvégi fonál biztosítja a gazdasejtbe való kötődést és a nukleinsav sejtbe juttatását.

- **Komplex struktúrájú vírusok**

Mindazon vírusokat ide soroljuk, amelyek nem felelnek meg a fenti három csoport szimmetriaviszonyainak. Legismertebb képviselőik a Poxvírusok, ahol a tojásdad alakú virionok felszínét vastag, főleg fehérjéből álló réteg veszi körül, amit még egy burok is borít. Ebből gyakran szabályos elrendeződésben kitüremkedések, ún. tüskék állnak ki.

A fenti szimmetria viszonyokból és kémiai felépítésből eredő lehetőségeknél a vírusok morfológiai megjelenése sokkal több variációt mutat. A virionok gyakran gömb alakúak, legtöbbször a külső burok miatt. A kubikális és helikális formán belül lehetnek még ovoidok (pl. Poxvírus), pleomorfok (pl. Coronavírus), szferikusak (pl. Orthomyxovírusok, Retrovírusok), amorfok (pl. Bunyavírus), vagy lövedék-, illetve bacillus formájúak is (pl. Rhabdovírusok).



2. ábra. A vírusok morfológiai alaptípusai.
A-helikális, B-kubikális, C-bínális

2.2. Vírusmultiplikáció, a vírusfertőzés lefolyása

A vírusok szaporodása, a vírusok vegetatív ciklusa a virion gazdaszethez való kötődésével kezdődik, és az érett virionnak a sejtből való kiszabadulásával ér véget. E komplex folyamat induló és záró szakaszaiban észlelt eltérések főleg gazdasajt specifikusak. A vírusok a fertőzött sejt biokémiai rendszerét kényszerítik rá saját maguk megsokszorozására.

2.2.1. Megtapadás (adszorpció)

- A sejt plazmamembránján lévő receptorokhoz történik a vírus kötődése.
- Egy adott vírusra nézve a sejt típusa, kora, anyagcseréje, valamint környezete befolyásolja a víruskötőhelyek számát és hozzáférhetőségét.
- A növényi vírusok megtapadásához előfeltétel a vastag sejtfal mechanikai sérülése.
- A megtapadás legjobban 37°C-on megy végbe, de akár 4°C-on is bekövetkezik. Kalcium- és magnéziumionok elősegítik a folyamatot.

2.2.2. Bejutás

Komplex mechanizmusokkal történik. Endocitózis (pinocitózis) során a vírust a sejtmembrán körbefogja (pl. Herpes vírusoknál) sejtfúzióval. Amikor a vírusburok fuzionál a sejtmembránnal (pl. syncytium-képző Paramyxovírusoknál) csak a nukleinsav jut be a kontraktilis fehérjék injektálása révén (pl. T páros fágoknál), baktérium piluson keresztül konjugáció során (pl. az ún. Ribofágok esetében), vagy direkt penetrációval (pl. parvovírusoknál).

2.2.3. Dekapszidálódás

- A vírus vegetatív ciklusának megindulásához a nukleinsavnak szabaddá kell válnia a sejten belül.
- A kapszidfehérjéket a sejt saját enzimejei, főleg a lizoszómákból származók emésztik le.

- A Poxvírusok maguk is kódolnak dekapszidációt befejező lítikus enzimeket, míg a ds RNS-vírusoknál csak részlegesen emésztődik le a kapszid.
- Binális bakteriofágoknál dekapszidálódás nincs, hiszen csak a nukleinsav jut be a sejtbe.

2.2.4. Eklipsz fázis

A vírusgenom sokszínűségéből adódóan ebben a fázisban különböző utakon folyik a replikáció.

A transzkripció az első lépés, melyet jellemez:

- a vírusgenomról a vírus-mRNS vagy replikatív intermedierek termelődése;
- ez sejteredetű vagy vírusspecifikus enzimekkel folyik;
- komplex kontrollmechanizmusok alatt áll.

2.2.5. Összeépülés

A sejt meghatározott helyén a virion minden építőkövének és a víruspartikula alapstruktúrájának összeépülése.

2.2.6. Vírusérés

Ekkor válik a vírus fertőzővé. Strukturális változások mennek végbe a kapszidfehérjékben. Sok vírusnál ismeretes, hogy az összeépülés nem túl jó hatásfokkal megy végbe.

2.2.7. Kiszabadulás

Az érési szakasz után történik. Rendszerint a fertőzött sejtek szétesésével jár, de sok vírus esetében a sejtek csak fokozatosan pusztulnak el, esetleg túlélnek a fertőzést. Egy-egy fertőzött sejtben több ezer vírus és fel nem használt vírusalkatrész termelődhet.

3. A VÍRUSOK MESTERSÉGES SZAPORÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

3.1. A vírusok tenyésztése

A vírusok csak élő sejtben képesek szaporodni. A vírus sikeres szaporodásának feltételei:

- stabil forma, mely lehetővé teszi a vírus túlélését gazdasejt hiányában,
- a gazdasejtbe való bejutás (invázió) képessége,
- a víruskomponensek sejten belüli előállításához szükséges genetikai információ,
- végül további információ a vírusalkotók összeépüléséhez és a vírus sejtből való kiszabadulásához.

Egyes vírusok sokféle sejtben tudnak replikálódni (pl. Poliovírusok), mások viszont csak kevésben (pl. a humán Cytomegalovírus csak humán fibroblast sejtekben szaporítható). Nem minden vírusinfekció során jönnek létre érett, fertőzőképes virionok. Ilyen produktív infekció csak permisszív, a vírusgén működését minden szinten támogató sejtekben valósul meg. Abortív infekció során fertőzőképes virionok nem képződnek, mert vagy a sejt nem permisszív (nem segíti az összes vírusgén expresszióját), vagy a vírus defektív, funkcionális gének hiányoznak belőle. Látens fertőzés esetén a vírusgenom a túlélő fertőzött sejtben úgy van jelen, hogy csak kevés vagy egyetlen egy virális gén sem képes működni. Ismereteink szerint csak a Rickettsiákban és a Chlamydiákban nem sikerült vírusokat kimutatni. A vírus gazdaspecifitása, szervspecifitása, a sejt, szerv, élőlény kora stb. mind hatással van a vírus szaporodására.

3.1.1. Az állati vírusok szaporítása

- **Kísérleti állat.** Leggyakrabban szopós egereket alkalmaznak, és intracerebrális oltással juttatják be a szaporítandó vírust. Klinikai tünetek, az állat elpusztulása jelzi a vírus jelenlétét, szaporodását.
- **Csirkeembrió.** 7–14 napos előkelített csirkeembrió amnion vagy allantois zsákjában (pl. influenzavírusok), vagy chorioallantois hártáján szaporítható a vírus (*Herpes simplex*, *Vaccinia* vírusok).

Ilyenkor az amnion és/vagy az allantois folyadékból különböző eljárásokkal (pl. hemagglutináció) mutatható ki a vírus.

- **Szövetkultúra.** Napjainkban a legáltalánosabban használt tenyésztő közeg. Szinte minden állati, emberi szövetből, szervből készíthető közvetlenül elsődleges, ún. primer sejt-kultúra, mely speciális tápközegben és eljárásokkal egyrétegű (monolayer) sejt-tenyészetként szaporítható. Bizonyos szaporítási számig (kb. 50 passzálás) a normális kromoszómakép fenntartható (diploid sejt-vonal), ami után folyamatos, permanens sejt-vonal alakul ki, mely tulajdonságaiban hasonló a daganatokból kialakított, transzformált, és szinte korlátlanul fenntartható sejttenyészetekhez. A vírusszaporodás következtében egyrészt morfológiai (citopatogén) változások lépnek fel (sejtlízis, sejtnekrózis, sejtfüzió stb.), másrészt malignus transzformáció, sejtburjánzás észlelhető. Más esetekben látható elváltozás nincs, de a vírus jelenlétét, replikációját a vírusnukleinsav, mRNS, és fehérjék kimutatásával igazolni lehet.

3.1.2. *A növényi vírusok tenyésztése*

- A **gazdanövény mechanikus fertőzésével**, amikor a vírusszuszpenzióhoz karburundum port adunk, és enyhe dörzsöléssel megsejtve a sejtek falát érjük el a vírusok plazmamembránra való kerülését.
- **Szövettenyészetek** (protoplaszt, kallusztényészetek) alkalmazásával. A fertőzést követően lokális és/vagy szisztémás tünetek alakulnak ki. A lokalizált hiperszenzitív reakció (szövetelhalás) jelzi a sikeres fertőzést, és utal arra, hogy a növény rezisztens az adott vírusszuszpenzióra, vagy a fogékony növény klorotikus, elszíneződő, torz növekedést mutat. A szisztémás tünetek is változatosak: sargulás, gyűrűsfoltosság, érkiéregesedés, levélhólyagosodás stb. léphet fel. Osztályozhatjuk a tüneteket makroszimptomás és mikroszimptomás megjelenés szerint is. Az utóbbi esetben szabad szemmel nem észlelhető zárványok, kloroplasztisz-károsodás, abnormális szövetelemek kialakulása a jellemző.

3.1.3. A bakteriofágok tenyésztése

Az érzékeny baktériumok fiatal, aktívan szaporodó sejtjeiben történik. A baktérium opálos levestenyészete a litikus fágok (pl. T práros fágok) hatására feltisztul, vagy agarlemezen lévő sűrű baktériumtenyészetben a vírusszaporodás következtében tarfoltok, plakkok alakulnak ki, amik mennyiségi meghatározást, esetenként vírusmutánssok azonosítását, izolálását is lehetővé teszik.

3.2. A vírusok mennyiségi meghatározása

3.2.1. Fizikai módszerek

- A víruspartikulák elektronmikroszkóppal közvetlenül megszámlálhatók, közel azonos méretű latex partikulákból készült standard szuszpenziókhoz hasonlítva. Ehhez tiszta és koncentrált víruspreparátum kell, és a fertőző és nem fertőző víruspartikulák nem különböztethetők meg (abszolút fizikai partikulaszám)
- Egyes vírusok olyan fehérjét (pl. hemagglutinin) tartalmaznak, mely emberi vagy állati eredetű vörösvértesteket/sejteket agglutinálni képes. A hemagglutinációs próbák könnyű és gyors módszerek az ilyen vírusok mennyiségének meghatározására. Mind a fertőző, mind a nemfertőző partikulák agglutinálnak, így ez a reakció is az összes vírust méri.
- Sok szerológiai eljárás, például a ma már ritkábban használt radioimmunoassay (RIA), és az enzimhez kapcsolt szerológiai adszorpciós vizsgálat standardizálható egy mintában lévő vírusszám meghatározására. Ezek a tesztek sem tudnak különbséget tenni fertőző és nemfertőző víruspartikulák között, és néha olyan vírusfehérjéket is kimutatnak, melyek nem épültek be a virionba.

3.2.2. Biológiai módszerek

- A vírusszuszenzióban lévő fertőzőképes vírusszám meghatározását teszik lehetővé. Avizsgálandó vírusszuszenzió különböző léptékű sorozathígításainak fogékony kísérleti állatba, növénybe, baktériumtenyészetbe, leggyakrabban szövettenyészetbe történő oltásával

történik a mérés. Leggyakrabban tízes léptékű a hígítás, és minden hígításból több, minimálisan három állatot, növényt, csirkeembriót, baktériumtenyészetet, szövettenyészetet kell oltani. Az eredmény ID_{50} (infektív dózis) vagy $TCID_{50}$ (szövetkultúra infektív dózis) értékben adják meg. Ez az a véghígítási módszer, ahol a vírus titerét az a legnagyobb hígítás jelenti, amely a beoltott gazdaszervezetek tenyészetek 50%-át pusztítja el vagy idéz elő citopatogén elváltozást.

- Bizonyos vírusok (pl. *Herpes simplex* vírus, *Vaccinia* vírus) az előkeltetett tojás chorioallantois membránjára történt oltás után nekrotikus elváltozásokat hoznak létre, amit pocknak nevezünk. A hígítás fokának és a számolt pock-számnak az ismeretében a kiindulási vírusszuspenzióban lévő fertőzőképes virionszám kiszámítható.
- Ennél elterjedtebb és még pontosabb a plakk-módszer. A vírus sorozathígításából egyrétegű (monolayer) sejtenyészeteket fertőznek. Adsorpció után gél állapotú agart vagy karboximetilcellulózt tartalmazó médiummal fedik a sejteket, mely meggátolja a fertőzött sejtekből kiszabaduló virionok szabad diffúzióját.
- Ilyenkor az inkubáció alatt a fertőzés csak a szomszédos sejtekre terjed át, lokális elváltozást (sejtpusztulást) idézve elő, amit plakknak nevezünk. Kontrollált körülmények mellett egy plakkot egy fertőző vírusprikula eredményez. Alkalmas festéssel vagy anélkül is, a plakkok makroszkóposan számolhatók. (A fertőző virionok aránya a nem fertőzőkhöz képest igen nagy különbségeket mutathat. Általánosan ezer fizikai partikula közül csak egy fertőző.)
- A vírusszaporodás a sejteket nem károsító vírusok esetében is kimutatható immuno-fluoreszcenciával (esetleg immunperoxidáz módszerrel jelzett in-situ hibridizációval stb.). A vírusantigének lokális megjelenését fluoreszcens fókuszoknak nevezzük, és fluoreszcens fókuszformáló egységben (FFU) adjuk meg a vírus titerét.

A pock, a plakk és a fluoreszcens fókusz-titrálás igen pontos infektív vírusszám meghatározást tesz lehetővé, és a vírusneutralizációs próbák értékelésére is alkalmas.

4. A VÍRUSOK RENDSZEREZÉSE

4.1. A rendszerezés általános alapelvei

Jelenleg használt rendszertani felosztásuk mesterséges. Felosztásuk korábban az általuk fertőzött szervezet és a kiváltott kórfolyamat megnevezése szerint történt. A molekuláris tulajdonságaik feltárásának fejlődésével lehetőség nyílik egy új rendszerbe történő átsorolásukra.

Ezen rendszer kialakítására felhasznált fontosabb tulajdonságok közé tartozik:

- a virion morfológiája (pl. virion mérete és alakja);
- burok jelenléte vagy hiánya;
- peplomerek jelenléte vagy hiánya;
- kapszid szimmetriája és szerkezete,
- a virion fizikokémiai és fizikai sajátosságai (pl. detergens, oldószer, pH és hőstabilitás);
- a virion szedimentációs koeficiense, úszósűrűsége és molekula-tömege;
- a viriont felépítő fehérjék száma, mérete és szerepe;
- a virion lipid- és szénhidrátartalma;
- a vírus antigén sajátosságai és biológiai jellemzői (pl. természetes gazdaspektrum;
- a természetes átvitel módja;
- vektorok szerepe az átvitelben;
- földrajzi elterjedtség; patogenitás.

A vírusok rendszerezésénél a legfontosabb taxon (rendszertani csoport) a faj. A klasszikus faj fogalomtól eltérően értelmezendő. Az ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses; Nemzetközi Vírustaxonómiai Bizottság) által 1991-ben elfogadott definíció szerint egy vírusfaj a vírusoknak egy olyan politetikus csoportja, amely egy replikatív leszármazási vonalat alkot és egy adott ökológiai niche-t foglal el.

A hasonló sajátosságokat mutató vírüsfaajok nemzetségekbe, ezeket családokba soroljuk; esetenként, a családokon belül alcsládok megkülönböztethetők. Azon ritka esetekben rendek (ordo) kialakítására is sor kerülhet.

A vírusok (vírüsfaajok) hivatalos nemzetközi elnevezése az angol nevükhöz, illetve az ebből kialakított akronímhez igazodik (pl. human herpesvirus 1, HHV_I, tobacco mosaic virus, TMV).

Láthatjuk, hogy a vírüsnev első tagja az élőlény neve, amelyben felfedezték az adott vírust, második tagja a tünet, amit okoz a gazdaszervezetben, a harmadik a vírus szócska. Az azonos előtagú vírusoknál az előtag második betűjét alkalmazzák például tomato mosaic virus, ToMV.

A vírüsrendszertanban használatos nevezéktan:

virales: rend

viridae: család

virinae: alcslád

virus: nemzetség

4.2. A vírusok egyes rendszertani csoportjai

4.2.1. Bakteriofágok

A baktériumokat fertőző vírusokat **bakteriofágoknak**, vagy csak egyszerűen **fágoknak** nevezik, tehát olyan szervezeteknek, amelyek a baktériumokat megtámadják, azokat „felfalják” (phagos). Megfigyelésük is egyes baktériumtelepek oldódásából, líziséből ered, ahol a telepeken üres foltok (plakkok) jelentek meg. Igen elterjedtek, szinte minden baktériumfajnak vannak ismert fágjai. A fágok erősen gazdaspecifikusak.

A **fertőzés** első szakasza a **kötődés**, a fágvirionok baktériumsejtek felszínén történő megtapadása. Irreverzibilis folyamat. A baktériumok felületén speciális **receptor**helyek vannak, gyakran lényegtelen sejtalkotórészek, más esetekben antigénjellegű fehérjék.

4.2.2. Algákat, protozoonokat, gombákat fertőző vírusok

Az egysejtűeket, algákat és gombákat fertőző vírusokról nem régóta vannak ismereteink, ezek is hiányosak. A nukleinsav kimutatási módszerek fejlődésével azonban nyilvánvalóvá vált, hogy számos gomba kettősszállú RNS-eket tartalmaz. Ez a nukleinsav forma vagy vírusgenom, vagy az RNS vírusok replikációs terméke lehet, ami az egészséges sejtekben nem fordul elő. Más esetekben fertőzött algákból, gombákból virionok jelenlétét is sikerült bizonyítani, így nyilvánvalóvá vált, hogy a vírusok az élővilág ezen csoportjait is parazitálják.

4.2.3. Növénypatogén vírusok

A növénypatogén vírusok az egész földön elterjedt kórokozók. Termesztett növényeinken jelentős gazdasági kárt okoznak, az ebből származó termésveszteség kb. 10 %-ra tehető. A vírusfertőzés hatására helyi, ún. lokális és/vagy az egész szervezetre kiterjedő szisztemikus tünetek fejlődnek ki. A lokális tünetek (klorózisok vagy helyi elhalások, ún. lokális léziók) gyakran azt jelzik, hogy a szervezet nem alkalmas a replikáció számára, azaz a gazda-patogén kapcsolat inkompatibilis. Ilyenkor a fertőzés ugyan megtörténik, de a vírusreplikáció egy idő után leáll, vagy a kórokozó nem terjed szét a gazdanövényben. Ezesetben a növény ellenálló, rezisztens a megbetegedéssel szemben. A szisztemikus tünetek (mozaikfoltosság, klorózis, levél- és virágdeformációk, torzulások, növekedési zavarok stb.) minden esetben kompatibilitást tételeznek fel, azaz fogékony gazdanövényt és virulens kórokozót. Fogékony gazdanövényben a vírusreplikáció zavartalan, a kórokozó akadálytalanul terjed. Azokban az esetekben, amikor a fogékony gazdanövény a fertőzést gyenge tünetekkel, vagy tünetmentesen viseli el, toleranciáról beszélünk. A növényvírusok legtöbbször nem pusztítják el a gazdaszervezetet, csak legyengítik azt, a fertőzés a gazdanövény gyors elhalását eredményezheti (szisztemikus nekروزis).

A virionok felépítése lehet helikális és izometrikus. Az állatpatogén vírusokkal összehasonlítva több a multikomponensű, tehát

osztott genomú vírus. A növénypatogén vírusok túlnyomó többsége egyszálú, pozitív RNS genomot tartalmaz, a kettősszálú DNS vírusok száma csekély. A növényvírusoknak csak ritkán van burkuk, ilyen képződmények többnyire az állati vírusokkal rokon típusokban (*Rhabdoviridae* és *Tospoviridae*) fordulnak elő.

A fertőzés folyamata növényvírusok esetében mindig passzív, a kórokozó vagy sebeken keresztül jut a fogékony gazdanövénybe, vagy valamilyen közvetítő, vektor útján. A növényi vírusoknak nincsenek olyan képletei, enzimei, amelyek a fogékony sejteken való megtapadást, vagy a behatolást elősegíthetnék. Hat fő terjedési módjuk van. A sebzéseken keresztül történő terjedés legtöbbször a talajban (gyökérszőrökön) keresztül következik be, vagy a földfeletti részek érintkezésekor. A fertőzött növényről történt kertészeti oltás, szemzés, dugványozás az oka a kertészeti kultúrák legtöbb gazdasági kárt okozó vírusbetegségeinknek.

Fontosabb fitopatogén víruscsoportok

- **Caulimovírus csoport:** karfiol mozaik vírus
- **Geminivírus csoport:** kukorica csíkosság vírus
- **Luteovírus csoport:** árpa sárga törpülése
- **Nepovírus csoport:** dohány gyűrűfoltosság vírusa
- **Cucumovírus csoport:** paprika újhitúsége
- **Bromovírus csoport:** rozsnok mozaik vírus
- **Alfalfa mozaik csoport:** lucerna mozaik vírus
- **Tobamovírus csoport:** dohány mozaik vírus
- **Furovírus csoport:** búza mozaik vírus
- **Hordeovírus csoport:** árpa csíkos mozaik vírus
- **Potexvírus csoport:** burgonya X mozaik vírus
- **Potyvírus csoport:** burgonya A és X mozaik vírus
- **Closterovírus csoport:** cukorrépa sárgaság vírus
- **Rhabdovírus csoport:** burgonya sárga törpülés vírus
- **Tospovírus csoport:** paradicsom bronzfoltosság vírus

4.2.4. *Gerincteleneket fertőző vírusok*

A gerincteleneket, ezek között pedig elsősorban a rovarokat többféle vírus fertőzi. Némelyek, pl. a selyemhernyó vírusai gazdasági kárt okoznak, ugyanakkor mások a káros rovarpopulációk megsemmisítése révén gazdasági előnyökkel is járnak. Egyes vírusok, pl. a Baculovírusok a génebézés és a biotechnológiai védekezés kísérleti objektumai.

4.2.5. *Gerinceseket fertőző vírusok*

Ha az embert (gerinceseket) fertőző vírusok és vírusbetegségek elleni védekezés történetét és eredményességét áttekintjük, az eredmények óriásiak, mégis számos olyan víruskórokozó ismert, amelyekkel szemben a nagyarányú erőfeszítések és kutatómunka ellenére még nincs kialakult hathatós védekezési módszer.

Az 1950-es évekig a vírusok közül főleg azokat vizsgálták, amelyek az emberi egészségre a legveszélyesebbek voltak, mint a himlő, a sárgaláz, az influenza, a gyermekbénulás, vagy azokat, amelyek gazdasági jelentősége nagy volt, mint a száj- és körömfájás kórokozója. A vírusok csak élő sejtekben maradhatnak fenn. Vizsgálatakat megnehezítette, hogy kezdetben elsősorban élő állatokkal kellett a kísérleteket végezni, míg később, a tyúktojások oltásával lehetett egyes vírusokat szaporítani, az izolátumokat fenntartani. Napjainkban a szövettenyészetek kifejlesztésével oldódtak meg azok a módszertani nehézségek, amelyeket pl. egyes vírusok fenntartása, illetve a fertőzött sejtek elkülönítése jelentett. A szövettenyészetek segítségével lehetett megállapítani, hogy a sejtek vírushatásra milyen módon reagálnak. Egyes esetekben ugyanis a sejtek gyors pusztulása citolízise következik be (pl. piconavírusok, togavírusok stb.), míg más esetben a vírushatás sejtburjánzáshoz, tumorképződéshez vezet.

A fertőzés fő szakaszai az adszorpció, a penetráció és a köpenyfehérje lebontása, ugyanúgy, mint más vírushatásoknál. A gerinceseket fertőző vírusok rendszertani felosztása a nukleinsav genom típusa szerint történik.

4.3. Tumorvírusok, onkogének

Egyes vírusok etiológiai szerepe igazoltnak tekinthető, mások esetében szoros epidemiológiai összefüggés mutatható ki bizonyos, humán és állati daganatokban. Többlépéses folyamatról van szó.

4.3.1. *A víruskarcinogenezis általános jellemzői*

Genetikai változásnak (sejtszinten minimálisan 3-8 mutációnak) kell követnie egymást, hogy a normál sejt malignussá váljon. Rendszerint hosszú idő telik el egy tumor megjelenéséig. Bizonyos szelektív növekedési előnnyel rendelkező nagyon kevés sejt ismételt szelekciója áll a soklépcsős folyamat hátterében. A legtöbb rendszerben a tumorvírus mint kofaktor szerepel, csak néhány fontos lépést adva a sejt malignus elfajulásához.

4.3.2. *Tumorvírusok típusai*

Az összes ismert tumorvírus egyrészt DNS genommal rendelkezik vagy DNS-provírust hoz létre a fertőzött sejtben. DNS tumorvírusok a Papova-, Adeno-, Herpes-, Hepadna-, és a Poxvírusok közé tartoznak. Az összes RNS-tumorvírus a retrovírus család tagja (Avian Sarcoma Vírus, Avian Leukosis Vírus, Mouse Leukemia Vírus, Felin Leukemia Vírus, Humán T-sejtes Lymphotrop Vírus /HTLV/), és reverz transzkriptázzal rendelkezik, mely egy DNS-kópiát készít a vírus RNS-genomjáról.

A DNS-kópia (provírus) beépül a fertőzött sejt genetikai állományába. A tumorindukció alapján kétféle RNS-tumorvírust lehet megkülönböztetni: az erősen onkogén, közvetlenül transzformálni képes vírusokat (ezek egy celluláris onkogént visznek), és a gyenge onkogén, lassan transzformáló vírusokat, melyek nem rendelkeznek onkogénnel, és hosszú inkubáció után indirekt mechanizmusokkal leukémiát okoznak. Az onkogén kifejezés egy általános megnevezése mindazon géneknek, melyek rákot okoznak. Kevésbé veszélyes ezeknek a transzformáló géneknek a normálsejtekben előforduló protoonkogénnek nevezett változata. A celluláris protoonkogének az

élőlényekben nagymértékben konzervált szekvenciák, ami a sejtek működésében betöltött fontos szerepükre utal. Az erősen transzformáló retrovírusokban kb. 20 különböző celluláris onkogént találtak.

4.3.3. Tumorvírusok interakciója a gazdasejttel

A DNS-tumorvírusok természetes gazdaszervezetükben replikálódnak, de benne tumort ritkán, vagy nem is okoznak. Ugyanakkor ezek a vírusok képtelenek heterológ szervezetben szaporodni, de alkalmanként azokat transzformálni tudják. A humán rákokkal kapcsolatba hozott DNS-tumorvírusok mind humán vírusok, de a legtöbb velük történt fertőzés nem eredményez tumort. Az RNS-tumorvírusok természetes gazdaszervezeteikben rákot okoznak. Képesek replikálódni a homológ sejtekben, és transzformálni is azokat. Az RNS-tumorvírusok nem ölik meg azokat a sejteket, amelyekben szaporodnak. A leukémia-vírusokkal fertőzött sejtek morfológiai, citopatogén elváltozást nem mutatnak, normálisan nőnek, míg a szarkómavírusokkal fertőzöttek morfológiai változást mutatnak és tumorsejtként szaporodnak.

4.3.4. Tumorvírusok nukleinsav-integrációja a gazdasejtbe

DNS-tumorvírusok esetében a genom egy része integrálódik a gazdasejt kromoszómájába, RNS tumorvírusoknál pedig a vírus-RNS-ről készült DNS-kópia egy része épül be. Általában csak a vírusgenom néhány kópiája, valószínűleg csak egy van a transzformált sejtben beépülve.

A transzformált sejtek rendszerint vírust nem produkálnak. Rekombináns technikákkal (pl. transzfekcióval, molekuláris klónozással) a tumorsejtekből kinyert celluláris DNS-t vizsgálva keresnek vírusspecifikus szekvenciákat.

Az RNS-tumorvírusok a retrovírusok oncovirinae alcsaládjába tartoznak. A retikuloendoteliális és a vérképző rendszer daganatait (leukémiák, lymphomák), vagy a kötőszövet tumorait (szarkómák) okozzák.

Morfológiailag B, C és D onkovírusok ismertek, melyekből a C-típusúak dominálnak. Szinte minden gerincesből sikerült izolálni őket. Kísérleti rendszerekben a madarak és egerek szarkómavírusait, valamint a macskák, egerek, madarak és az ember leukémiavírusait vizsgálták.

A retrovírusokat feloszthatjuk exogén és endogén retrovírusokra is. Az exogén retrovírusok horizontálisan terjednek és tipikus fertőző vírusként viselkednek. Csak sejtbe kerüléssel okoznak fertőzést és transzformációt. A patogén retrovírusok mind exogének, és csak a fertőzött sejtekben vannak jelen. Velük szemben az endogén retrovírusok egy adott species összes egyedének minden sejtjében előfordulnak, rendszerint nem patogének a gazdaszervezetre és nem okoznak betegséget.

A DNS-tumorvírusok transzformáló génjeinek működése szükséges replikációjukhoz. A DNS-tumorvírusok transzformáló fehérjei komplexet képeznek tumor-szuppresszor gének által kódolt normál sejtfehérjével, és azok funkcióit befolyásolják. A tumor-szuppresszor gének (vagy anti-onkogének) negatív regulátorai a sejtnövekedésnek. A DNS-tartalmú vírusok öt családjában (Papovaviridae, Adenoviridae, Herpesviridae, Poxviridae és Hepadnaviridae) találhatók DNS-tumorvírusok.

5. VÍRUSOK ELLENI AKTÍV ÉS PASSZÍV VÉDEKEZÉS

A vírusfertőzések megakadályozásában, csökkentésében kiemelkedő szerepe van az általános emberi, állat- és környezeti higiénés intézkedéseknek a fertőző betegségek kontrollján át a víz, a táplálék, a levegő és talaj szennyeződésének kiküszöböléséig. A növényi vírusfertőzések elleni küzdelem is mindig integrált (genetikai, agrotechnikai és kémiai) védekezést jelent. Ugyanakkor az emberek, az állatok és a növények egyedi szintjén közvetlenül is módunk van védekezni a vírusok ellen.

5.1. Vírusvakcinák

A vírusellenes szerek egyre szaporodó száma mellett is a vírusfertőzésekkel szemben a leghatásosabb védekezést a vakcináció jelenti. Ilyenkor a szervezetbe juttatott vírus vagy vírusantigén(ek) ellen a szervezet immunrendszere aktívan immunválasszal reagál. A súlyos vírusinfekciók esetében ez a legolcsóbb módszer is.

A vírusfertőzéssel szembeni immunitás a víruspartikulák vagy a vírusfertőzte sejt felszínén megjelenő specifikus antigének elleni immunválasszon alapul. A burokkal rendelkező vírusoknál a felszíni glikoproteinek a fontos antigének. A core fehérjékkel, nem-strukturális fehérjékkel szemben megjelenő ellenanyagoknak kicsi a szerepük az infekcióval szembeni rezisztenciában. Az egyes vírusfertőzések patogenezise hatással van az immunprofilaxis kialakítására. A mucosalis membránokon szaporodó vírusok esetében (Rhinovírusok, Influenzavírusok, Rotavírusok) döntő a fertőzés elleni védekezésben a mucosalis-immunitás. A véráram útján (virémia) terjedő vírusoknál (Polio-, Hepatitis-, Kanyaróvírus) a keringő szérumban lévő ellenanyagok a fontosak. Sejtközvetített immunitást kell elérni szisztémás fertőzések kivédésére (kanyaró, herpesz).

Sem a vakcináció, sem a természetesen átvészelt fertőzés nem vezet mindig teljes védettséghez ugyanazzal a vírussal történt későbbi fertőzés esetében. Elégséges sokszor az is, hogy a vad vírus terjedését a szervezetben sikerül meggátolni (pl. poliovírus, kanyaróvírus idegrendszerre vagy a rubeolavírus embrióra terjedését).

Bizonyos vírus vagy vírusfertőzés jellemzői komplikálhatják egy hatásos vakcina létrehozását pl. a rhinovírusok esetében túl sok a szerotípus, influenzavírusoknál széles az állati reservoir-kör, retro-vírusoknál a vírusgenom integrálódik a sejtgenomba, HIV-nél nehézséget okoz a fertőzés vírusantigéneket nem expozáló sejtekkel való átvitele.

5.2. Inaktivált, elölt vírusvakcinák

A tisztított víruspreparátumot úgy igyekeznek inaktiválni, pl. enyhe formalinkezeléssel, hogy a vírus felszíni antigénjei a legkevésbé károsodjanak. A vírus burokképletei ellen elsősorban szérumanitások termelődnek. Néhány betegség ellen csak elölt vakcinával rendelkezünk. Előnye az ilyen oltóanyagoknak, hogy nem kell tartani az attenuált vírus esetében esetleg fellépő virulens vírus megjelenésétől.

Hátránya viszont, hogy

- biztosítani kell, hogy ne maradjon élő vírus a vakcinában;
- indukált immunitás rövid tartamú, ismételt oltásokra van szükség;
- lokális mucosa-immunitást nem indukál;
- sejtközvetített immunitás gyenge;
- túlérzékenységi reakciót indukálhat későbbi fertőzésnél.

5.3. Attenuált élő vírusvakcinák

Az élő vírusvakcinák olyan mutáns vírusokat tartalmaznak, amelyek antigenitásukat tekintve a vad vírussal megegyezők, de a betegség- okozó képességük csökkent vagy hiányzik. Korábban természetesen attenuálódott vagy szövettényezetekben, állatokban sorozatoltásokon keresztül szelektált, növényeknél kémiai szerekkel gyengített vírusokat alkalmaztak. Jelenleg specifikus tervezett genetikai manipulációval is előállíthatók alkalmas vírustörzsek.

Az attenuált vakcina előnye:

- természetes fertőzésnek megfelelő immunválaszt produkál;
- hosszabb időtartamú ellenanyagválaszt vált ki;
- jó sejtközvetített immunválasz alakul ki;
- lokális IgA-ellenanyagokat is indukál.

Hátránya:

- virulens vírus megjelenésének lehetősége az attenuált vírus multiplikációja során;
- fel nem ismert ágensek bevitele a szervezetbe a tenyésztőrendszerből;
- a vakcinavírus esetleg perzisztens fertőzést produkálhat;
- tárolási probléma (hűtési lánc);
- interferencia természetesen megjelenő vad vírussal.

Hangsúlyozni kell, hogy egy vakcináció csak úgy hatásos, ha megfelelő életkorban, dózisban és időközökkel történik az oltás.

5.4. A jövő vakcinái

A molekuláris biológia és a modern technológia új típusú vakcinák előállítását teszi lehetővé, melyek közül néhány már alkalmazást is nyert.

- vírusattenuálás genetikai manipulációval;
- a virulens vírusvektorok használata;
- klónozott génekkel termelt fehérjék;
- szintetikus peptidek;
- alegység-vakcinák;
- DNS-vakcinák;
- vakcina lokális adása (aeroszol vakcinák).

5.5. Passzív immunizálás

Lényege: kész ellenanyagok (immunglobulinok) bevitele a szervezetbe. A bevitt ellenanyagoktól csak a fertőzési folyamat egy bizo-

nyos pontjáig varható hatás, azon túl azt már nem befolyásolják (preventív hatás). Esetleges gyógyító hatásuk azért lehet, mert a sejtekhez még nem kötött kórokozó ágens semlegesítésével a betegség további progressziójának elejét vehetik. Az ellenanyagok védő hatása adagjuktól és alkalmazásuk időpontjától függően a fertőzési folyamat teljes gátlásában, a fertőzés látenssé tételében vagy a klinikai tünetek enyhítésében nyilvánul meg. A passzív immunizálás immunszuppresszív hatású lehet: az ellenanyagok bizonyos koncentráción felül, főleg élő vakcinák esetében - az aktív immunizálást megátolják.

6. SZUBVIRÁLIS ÁGENSEK

6.1. Viroidok

Olyan kis fertőző elemek, amelyek klasszikus vírusdefiníciónak nem felelnek meg. Egyfonalú, kovalensen zárt, cirkuláris RNS molekulák, amelyek kb. 200–400 nukleotidból állnak. Fehérjeburok nélküli nukleinsav molekulák. Csak növényeket fertőznek. Eddig sem állatokban, sem emberekben nem mutatták ki őket.

6.2. Szatellita vírusok és vírusoidok (szatellita RNS-ek)

Kisméretű RNS molekulák, melyek szaporodásukat tekintve abszolút függnek a másik (helper) vírus jelenlététől. A viroidoknál kissé nagyobbak (500–2000 nukleotid). Képesek néhány fehérje kódolására. Replikációjuk és kapszidációjuk gazdavírus függő. Jelenlétük gyengíti, vagy erősíti a gazdavírus által kifejtett hatásokat.

Típusaik:

1. szatellita vírusok-saját burokfehérjéjüket kódolni tudják
2. vírusoidok-szatellita RNS-ek, a helper vírus burokfehérjéjét veszik fel.

6.3. Prionok (proteinaceous infectious particle)

1982. Stanley Prusiner írta le és nevezte el a prionokat. A prion egy fertőző fehérje. A normális emberi és állati sejtek kromoszómájában genetikailag kódolt prion fehérjék, a többi sejtféhrjéhez hasonlóan a sejt transzkripciós és transzlációs mechanizmusa által termelődnek. Feltehetően az idegsejtek közötti kapcsolatokban játszanak szerepet. Az így képződött fehérjék 2–5 órás felezési idővel áldozatul esnek a sejt fehérjeemésztő enzimeinek. Mutáció hatására ezek a fehérjék ellenállóvá válhatnak a proteináz enzimek hatásának és fibrillumok formájában felhalmozódhatnak. Ezek képesek a normális fehérjéket is megfertőzni, a sejt a normál fehérjék szintcsökkenését érzékeli, fokozza termelésüket, viszont folyamatosan növeli a kóros prionok számát. A sejt minden esetben elpusztul. Minden esetben halálos, hosszú inkubációs ideje van, nem kíséri sem gyulladás, sem

immunválasz. A betegséget csak klinikai alapon nem lehet diagnosztizálni, általában post-mortem agyszövetből mutatják ki.

Egy kóros fehérje (prion), mely egy, az egészséges szervezetben főként az idegrendszerben megtalálható celluláris fehérje (ún. prion protein – PrP) kóros változata. Az ágens saját nukleinsavat nem tartalmaz. A prion megváltoztatja a normál celluláris fehérje szerkezetét, így azt is kórossá teszi, és ez a folyamat láncreakciószerűen folytatódik.

A prion az enzimek számára csak részben lebontható, így felhalmozódik, és szöveti destrukciót hoz létre. Feltételezik, hogy a kóros prion a normális sejtbe jutva okozza annak kórossá alakulását.

Ellenálló formalinnal, hővel, UV sugárzással, ionizáló sugárzással stb. szemben inaktiválódik: autoklávozással, extrém pH értékek esetén, detergenssek alkalmazásakor (natrium dodecil szulfat), magas koncentrációban alkalmazott anorganikus sók esetén.

A fertőzés forrása a beteg és a priont hordozó tünetmentes ember vagy állat. Terjedési mód az esetek többségében ismeretlen, ritkábban örökletes (familiáris CJB, GSS és familiáris FI) vagy parenterális (véna).

A kóros fehérje legnagyobb mennyiségben, az agyban a gerincvelőben és a szemben van jelen. A liquor, a nyirokszervek, a vese, a máj, a tüdő és a placenta fertőzőképessége alacsony. Továbbá speciális orvosi beavatkozások révén, fertőzött szövetek (szaruhártya, dura mater) átültetése során, fertőzött szövetekkel, liquorral szennyezett orvosi eszközök közvetítésével, valamint agyalapi mirigyből kivont növekedési és gonadotrop hormon adagolásával jött létre.

A prionok bizonyos fajtái a parenterális terjedés mellett táplálkozási eredetű úton is terjednek. A szarvasmarhák spongiform encephalopathiáját okozó ún. BSE prion az emberre is átvihető és vCJB-t okoz. A BSE prion a vékonybél alsó szakaszából felszívódva az immunrendszer elemeinek közvetítésével jut az idegrendszerbe. A kóros fehérje az esetek egy részében vCJB-ben szenvedő betegek nyirokszöveteiből, tonsillájából is kimutatható.

A kóros fehérje a szervezetben évekig, évtizedekig lappanghat anélkül, hogy betegséget okozna. A lappangási idő függ a fertőződés módjától is. az ember és emlősállatok központi idegrendszerét támadják meg.

Állatpatogén prionbetegségek: szivacsos agyvelősorvadás (spongiform encephalopathia, SE), súrlókór (scrapie, juhoknál), kerge-marhakór (BSE, bovine spongiform encephalopathia).

Humán prionbetegségek

6.3.1. Kuru

A kurut kizárólag Új-Guineában a fore nép körében észlelték. A kuru első tüneteinel fejfájás és az egész testet eluraló fájdalomérzés jelentkezik, majd a járás bizonytalanná válik, a mozgás koordinálatlan lesz. Később remegés kíséretében akaratlan, kifacsart jellegű túlmozgások következnek be. A halál az első klinikai tünetek után 3-20 hónap alatt áll be. Ez az inkább idült, mint heveny fertőző betegség hosszú időn keresztül rejtély volt a kutatók körében. Elsősorban azért, mert a megbetegedettek szöveteiben és testnedveiben sem fertőző anyagokat, sem ellenanyagokat nem lehetett kimutatni. Ezért feltételezték, hogy a betegség öröklődő és nem fertőző. Ugyanakkor a kuru elsősorban a felnőtt nőket és mindkét nembeli gyermekeket sújtotta, ez viszont egy öröklődő betegség kórképébe nem fért bele.

Az új-guineai fore népesség körében a kuru előfordulási gyakorisága csökkent, miután felhagytak azzal a rituáléval, hogy az elhunytak agyát kivették és megették nyersen, vagy sütvé. Gadusek amerikai orvos-virológus az ötvenes évek elejétől szentelte életét a prion kutatásoknak. Az ötvenes években Új-Guineában a helyszínen tanulmányozta a kuru betegséget és a kannibalizizmushoz kötődő étkezési szokásokat a fore törzsnél. Ő volt, aki kimutatta, hogy a kuru fertőző betegség és hogyan fertőz. 1976-ban munkásságáért orvosi-életteni Nobel-díjat kapott.

6.3.2. *Creutzfeldt-Jacob-betegség (CJB)*

A betegséget az 1920-as évek elején írták le először. Leggyakrabban 55–75 éves korúak betegednek meg. A betegség átlagos lefolyása 4–7 hónap. Leggyakrabban (85%) szórványosan fordul elő, 10–15%-a családi halmozódás formájában jelentkezik. Kórokozó a CJB prionja. A fertőzés forrása a CJB prionját hordozó tünetmentes vagy beteg ember. Fogékonyság szempontjából az eddigi megfigyelések szerint meghatározott génszerkezet (a PrP gén egyes kodonjainak meghatározott ribonukleinsav sorrendje) hajlamosíthat a betegség kialakulására. Lappangási idő pontos tartama nem ismert, 15 hónap és 30 év között változik.

6.3.3. *Variáns Creutzfeldt-Jakob-betegség (vCJB)*

A betegséget először Angliában írták le 1996-ban. Az eddigi megfigyelések szerint a klasszikus CJB-től eltérően általában fiatalabbak között (14–53 év) jelentkezik, a betegség lefolyása is hosszabb, átlagosan 14 hónap (7–38 hónap). Kórokozója a szarvasmarhák spongiform encephalopathiájának prionja. Fertőző forrás lehet a BSE prionnal fertőzött szarvasmarha és az ember. A kórokozó a fertőzött szarvasmarhák bizonyos szöveteinek (agy- és gerincvelő, szem, nyirokszervek és zsigerek) fogyasztása révén. A tej és a tejtermékek fertőzést közvetítő szerepe kizárható. Lappangási ideje pontosan nem ismert, valószínűsítik, hogy 1–2 évtől több évtizedig terjedhet. Emberi fogyasztásra csak az egészséges állatokból származó, állategészségügyi hatóság által engedélyezett élelmiszerek/termékek használhatók fel.

6.3.4. *Gerstmann-Straussler-Scheinker-betegség (GSSB)*

Lassan progrediáló, autosomalis, domináns öröklődésű betegség. Világszerte előfordul, bár 100-szor ritkábban, mint a Creutzfeldt-Jakob-betegség. Ez utóbbinál fiatalabb életkorban, 40 év körül jelenik meg és lefolyása több évig (2–10 év) tarthat. A betegségre a kisagyi

tünetek dominanciája és a dementia jellemző. A betegség progressziója dementiához, parkinsonismushoz, sükettséghez, vaksághoz és merev bénuláshoz vezet.

6.3.5. *Fatalis insomnia (FI)*

A legújabban felismert, gyorsan progrediáló emberi prionbetegség, mely az esetek nagy részében dominánsan öröklődő, familiáris előfordulású.

Megjelenhet 30-as, de akár 60-as éveiben járó személyekben is, de általában 40 éves kor körül alakul ki. A betegség lefolyásának átlagos időtartama 13 hónap. A betegség korai szakaszában a betegek nehezen tudnak elaludni, és visszatérő mozgászavaraik vannak. Néhány hónap múlva alvásképtelenségig fokozódó alvászavar, hyperaktivitás és dementia fejlődik ki.

7. A BAKTÉRIUMOK FELÉPÍTÉSE ÉS MORFOLÓGI- ÁJA

7.1. A baktériumsejtek felépítése

Vitális alkotórészek:

- Sejtfal
- citoplazmahártya (CM)
- Citoplazma
- Magállomány

Avitális (járulékos) alkotórészek:

- tok, ostor, csilló, spórák, fimbriák, vakuólák
- Ezek rendszerint nem fordulnak elő minden baktérium sejtben

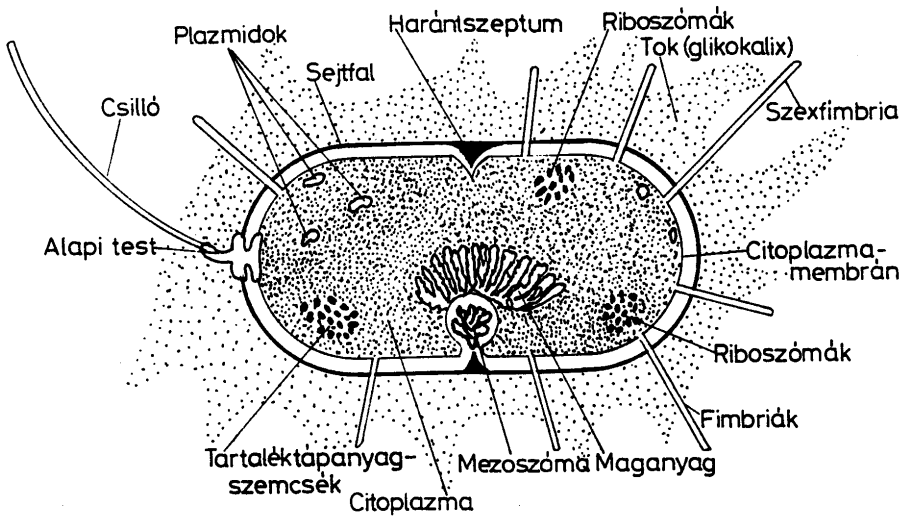
A baktériumsejt részeit három fő csoportba sorolhatjuk:

- a függetlékek – a pílusok és a fimbriák;
- a sejtburok alkotói – glikokalix (tok, nyálkabevonat), a sejtfal és a sejthártya (sejtmembrán, citoplazma-membrán);
- a protoplazma – a sejttartalomból, a riboszómákból, a mezoszómákból, a granulátumokból és a maganyagból (valamint plazmidokból) áll.

Sejthártyával, sejttartalommal, riboszómákkal és maganyaggal minden baktérium rendelkezik, többségüknek sejtfala is van. S bár a legtöbb fajban megtaláljuk a glikokalixot, a flagellumo(ka)t, a píluszokat, a fimbriákat és a granulátumokat, ezek nem általános alkotói a prokarióta sejtnek.

A függetlékek a mozgást, megtapadást és primitív szexuális funkciókat szolgálhatnak. A flagellum (ostor) segítségével valósul meg a baktériumok aktív helyváltoztatása. Három részből áll a flagellum. A fonal fehérjéből felépült helikális szerkezet, amely L-alakban meghajlított zömök hüvelybe illeszkedik, a hüvely az alapi testen keresztül ágyazódik a baktériumsejtbe. 360°-os szögben pörögget, mint egy propeller az óramutató járásával ellentétesen, minek hatására megtörténik a baktériumsejt elmozdulása, az óramutató járásával egyező forgással, amivel szinte fúrja előre magát a vízben. A

spirális baktériumok endoflagellummal mozognak, mely képlet valószínűleg egy módosult "normális" flagellum; ez azonban mindig hosszabb, mint egy orsó, rátekeredik a baktériumra, s azért endo-, mert a periplazmatikus térben a sejtfal és a sejthártya között helyezkedik el.



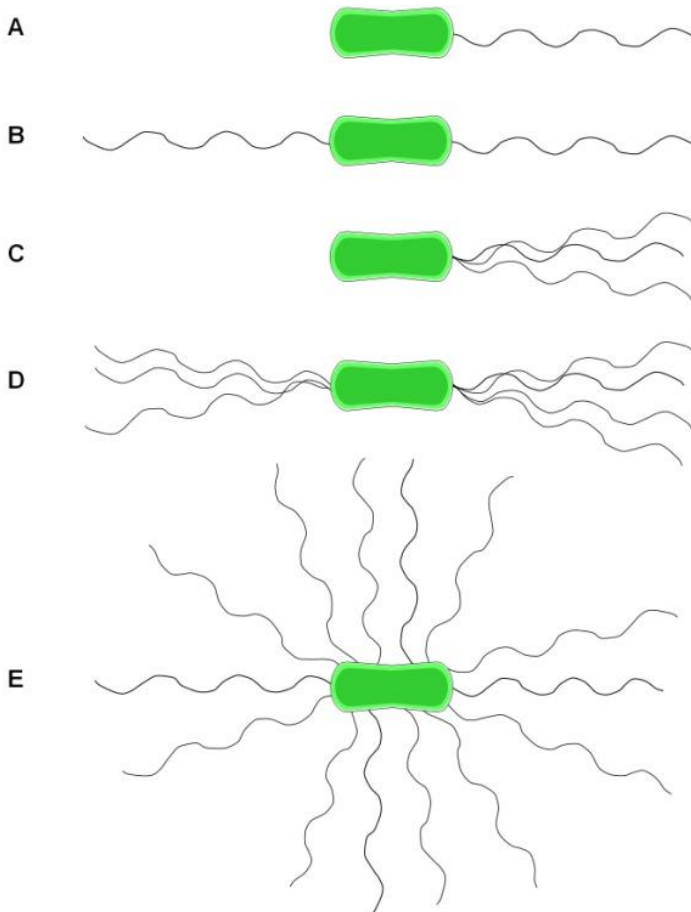
3. ábra. A prokarióta sejt felépítése

Nem minden baktérium rendelkezik flagellummal. Ezek az atrich baktériumok. Flagellummal rendelkezik minden *Spirillum* faj, a pálcaalakúak mintegy fele, és néhány kokkususz. Ezeket a flagellum elhelyezkedése és száma alapján különböztetjük meg. Egyetlen polarizált elhelyezkedésű flagellum esetén monotrich, több polarizált elhelyezkedésű flagellum esetén lophotrich baktériumról beszélünk.

Amennyiben a sejt két ellentétes pólusán egy-egy flagellum van amphotrich, ha több, amphitrich megnevezést használunk. A peritrich baktériumok pedig teljes felszínükön egyenletes eloszlásban hordozzák a flagellumokat. A flagellumok száma és elhelyezkedése a baktérium folyadékban való mozgékonyágát lényegesen befolyásolja. A baktériumok azonosításához a flagellumok számának és elhelyezkedésének meghatározása szükséges, ami vagy speciális festés után fénymikroszkópban vagy elektronmikroszkópban lehetséges.

Gyakran elégséges azonban annak az eldöntése, hogy egy baktérium motilis (mozgékony) vagy sem. Ez az ún. függőcsepp módszerrel fénymikroszkópban, vagy lágy agar felületére való kioltással lehetséges. A lágy agar felületén a csillós baktériumok nagy, szétterülő, szabálytalan telepet alkotnak. Ennek a telepnek a megjelenési formájára utal a hauch (lehelet) német szóból eredően a csilló antigén elnevezése, melyet H antigénnek neveznek.

Megtapadást szolgáló függelékek a fimbriák. Ezek nagy számban vannak jelen a baktériumsejt felszínén, aprók, s legtöbbjük fehérjét tartalmaz, aminek a megtapadási felület felismerésében van fontossága.



4. ábra. Baktériumtípusok a flagellumok elhelyezkedése és száma alapján.
A-monotrich; B-amphitrich; C-lophotrich; D-amphi-lophotrich; E-peritrich

A pilus hosszabb, merev csőszerű képlet, speciális fehérjéből, a pilinből épül fel, eddig csak Gram-negatív baktériumokon találták meg, s a csak ezekre jellemző különleges párosodási folyamat, a konjugáció megvalósulását szolgálja.

A baktériumsejt legkülső burkolóanyagát gyűjtőnéven glikokalixnak nevezzük, ennek vastagsága, összetétele nagyon különböző lehet. Bizonyos baktériumoknak oldható, laza szerveződésű glikokalixa van, ezt nyálkaburoknak nevezzük, s a kiszáradástól, tápanyagvesztéstől óvja a sejtet. Mások vastagabb, erősebb tokot fejlesztenek, ez szorosabban tapad a sejthez, szabályos (fajra, sőt törzsre) jellemző szerkezetű, poliszacharid és fehérje-alegységekből épül fel, védelmi funkciókat lát el biotikus és abiotikus hatásokkal szemben.

Közvetlenül a glikokalix alatt található a sejtfal. Ez határozza meg az adott baktérium alakját, szerkezeti vázat ad, védelmet nyújt. A legtöbb baktérium sejtfalában van egy különleges, csak erre az élőlénycsoportra jellemző anyag, a peptidoglükán. Ezen anyag létét a Gram-festés segítségével igazolhatjuk: e festés több lépésből áll: először a sötétlila színű kristályibolyával kezelik a rögzített sejteket, majd jó-d-jódkáli oldattal, végül alkohollal kimossák. Az alkoholos mosás után egyes sejtek lilák maradnak, mások színtelenné fakulnak. Az előbbieket nevezzük Gram-pozitív baktériumoknak, az utóbbiakat Gram-negatívoknak. Egy évszázadon keresztül volt a baktérium azonosítás egyik kulcsmódszere a Gram-festés, sőt ez a fontos, szinte alapvető eszköz máig használatban van. A differenciálás mechanizmusáról viszont nagyon sokáig nem volt fogalmunk. Ma már tudjuk, hogy a kristályibolya, mely egyformán megfest minden baktérium-sejtfalat, alkohollal könnyen kimosható; ha azonban a felülkezelésként adott jó-d-jódkálival találkozik, nagy kristályokat képez, mely óriáskristályok már nem minden sejtfalból távolíthatók el a szokványos alkoholos kezeléssel. A nagy kristályokat ugyanis visszatartja a peptidoglükán réteg, s azok a baktériumok, melyeknek falában ilyen réteg van, a Gram-pozitívak.

Közvetlenül a glikokalix alatt elhelyezkedő réteg a sejtfal (a Mycoplasma-csoportot kivéve minden baktériumot sejtfal határol. A sejtfal egy rigid szerkezet, amely meghatározza a baktériumsejt alak-

ját, s megőrzi a sejt integritását a környezetétől eltérő ozmotikus viszonyok mellett is. A sejtfal ezen sajátosságait egy különleges molekulának, a peptidoglükánnak köszönheti. Peptidoglükán csak az Archaeobacteriumok és Planctomycesek sejtfalában nem található. Eubaktériumokban a peptidoglükán egy olyan térhálós óriásmolekula, amely alternáló N-acetil glükózamin (NAG) és N-acetil muraninsavból (NAM) felépülő glükánból, és a glükánláncok között keresztkötéseket létrehozó rövid peptidekből épül fel. Ezt mureinnek is nevezik.

A keresztkötő peptidek szerkezete az egyes baktériumcsoportokban eltérő. Ez alapján A és B csoportba tartozó mureint különböztetünk meg. Ezenkívül a peptidoglükánhoz a különböző baktériumokban még egyéb anyagok is kapcsolódnak.

Egy dán orvoskutató, Hans Christian Gram egy ma róla elnevezett festési eljárást dolgozott ki, amely alapján a baktériumok két csoportba oszthatók. Egyes baktériumok jól festődtek, ezeket Gram-pozitívnak (G+) míg mások nem festődnek, ezeket Gram-negatívnak (G-) nevezzük. Bár akkor az eltérő festődés oka ismeretlen volt, a festődés hátterében a baktérium sejtfalszerkezet alapvető különbsége áll. Ezeket a különbségeket biokémiai és elektronmikroszkópos vizsgálatok alapján ma már jól ismerjük. A két sejtfaltípus fizikai megjelenése lényegesen eltérő.

A G+ baktériumokat kívülről egy vastag peptidoglükánból álló sejtfal határolja, mely alatt közvetlenül a sejtmembrán található. A G+ baktériumokban mindhárom fajta murein előfordul. A vastag peptidoglükánhoz savas poliszaharidok, elsősorban teichoinsav és lipoteichoinsav kapcsolódnak.

A sejtfal és sejtmembrán egymáshoz szorosan illeszkedik, közöttük rés alig van. A G- baktériumok sejtfala sokkal komplexebb morfológiájú. Legkívül egy úgynevezett külső membránt, ezalatt egy vékony peptidoglükán réteget tartalmaz, majd pedig a sejtmembrán következik. A vékony peptidoglükán-réteg mindkét oldalán, a sejtmembrán és a külső membrán által tároltan egy kiterjedt rés található, melyet periplazmatikus térnek nevezünk. A külső membrán részben hasonlít a sejtmembránra, de attól eltérő lipideket, poliszaharidokat és fehérjéket is tartalmaz. A külső membrán külső rétege tartalmazza a lipopoliszaharidokat, melyek lényegesen eltérőek a különböző G- baktériumokban.

Három lényeges molekularészt tartalmaznak: a lipid A, az R core (valaminek a magja, veleje) régió és az oldallánc. A lipid hat-

hét telített zsírsavláncot tartalmaz egy foszforilált gliükózamin-dimerhez kapcsolódva, s ez horgonyozza lipopoliszacharid-molekulát a külső membránhoz. Ehhez kapcsolódik az R core régió, ami egy rövid cukorlánc, melyben két szokatlan szerkezetű cukor található, s ehhez kapcsolódik a hidrofíl oldallánc, ami egy hosszú, ismétlődő tetr- és pentaszaharidokból álló cukorlánc. Ez felelős G- baktériumokban az O antigenitásért.

A peptidoglikán réteg tartalmaz egy kis specifikus lipoproteint, melyet murein-lipoproteinnek nevezünk, s amely a külső membránhoz horgonyzódik le.

A külső membrán funkciója többszörös: kívülről határolja a periplazmát, negatív felszint biztosít és permeabilitási gátat is jelent bizonyos anyagok (antibiotikumok, lizozim és más bontó enzimek) számára. Ugyanakkor a külső membrán nem akadályozza a tápanyagok felvételét. Ezek a porin fehérjék által létrehozott csatornákon keresztül szabadon átjutnak a külső membránon.

A periplazma egy olyan tér, melyben egyrészt a táplálékmolekulák emésztéséért felelős enzimek, másrészt pedig a tanszportfolyamatok kötőfehérjéi találhatók.

Különleges sejtfalú baktériumok is vannak. A *Mycobacterium* például nagytömegű mikolinsavat halmoznak fel falukban. Ez a mikolinsav valójában egy igen hosszú szénláncú zsírsav, fokozottan ellenállóvá teszi a sejtet kémiai anyagokkal szemben. Az *Archaeobacteria* osztályba tartozó ősbaktériumokból teljesen hiányzik a peptidoglikán, és sejtfalukat tisztán poliszacharidokból vagy fehérjékből építik fel. A mikoplazmáknak (*Tenericutes* divízió) egyáltalán nincs sejtfaluk.

A sejthártya nélkülözhetetlen alkotója a baktériumsejtnek. Vékony (4-5 nm-es), kétrétegű foszfolipid rétegből áll ez a membrán, s a lipidmolekulák közé fehérjék rakódnak be. A valódi baktériumok esetében a lipid részaránya 30–40 %, a fehérjéjé 60–70 % körüli. A sejtmembránon át történik az anyag- és energiatranszport. A sejtmembrán e kitüntetett szerepe azzal magyarázható, hogy a prokarióta sejtben nincsenek a különböző élettani feladatok ellátására specializálódott organelumok. A sejtmembránban helyezkednek el a légzési komplex enzimek, itt szintetizálódnak olyan makromolekulák, amelyeket a baktérium a sejtfalba vagy a függelékekbe beépít, s az extracelluláris enzimek is itt szintetizálódnak.

A mezoszómák a sejtmembrán betüremkedései, legfontosabb funkciójuk a membrán felületének növelése. Nincsenek minden prokariótában ilyen képletek, legnagyobb számban és méretben a Gram-pozitív fajokban fedezhetjük fel őket. A protoplazma fő tömegét, 70–80 %-át a víz adja, ez és a benne oldott vagy szuszpendált anyagok (tápanyagok, enzimek, szintézis-folyamatokhoz szükséges alapanyagok, kiválasztásra szánt anyagok) alkotják a sejt tartalmát.

Nélkülözhetetlen elemei a protoplazmának a riboszómák, melyek itt is a fehérjeszintézis helyei, s riboszómális RNS-ből (60%), valamint fehérjéből (40%) állnak. A prokarióták riboszómája kisebb, mint az eukariótáké.

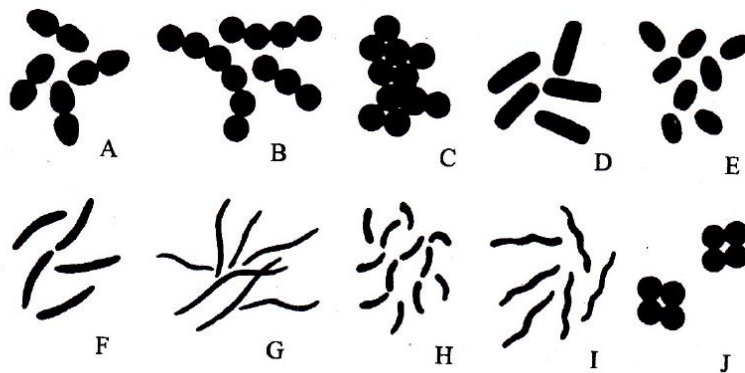
A maganyag (vagy kromatin test) baktériumokban egyetlen cirkuláris DNS-molekula. Prokarióták esetében azért nem beszélhetünk sejtmagról, mert ez a maganyag nincs membránnal burkolva. Egy-egy baktérium fennmaradásához, szaporodásához alapvetően szükség van a maganyagra, de a legtöbb baktérium egyéb képletekben is tárol információkat: ezeket az extrakromoszómális képleteket – kis, cirkuláris DNS-molekulákat, plazmidoknak nevezzük, amelyek nagyon lényeges kiegészítő genetikai képességekkel rendelkeznek.

Nem minden baktériumra jellemző, de fontos sejtalkotók a granulátumok, amelyek nagyon változatos számban és nagyságban fordulnak elő. Legtöbbször tápanyagok (glikogén, β -hidroxibutirát) tartalékolására szolgálnak, de van, amikor csak szervesetlen kristályok (például kéngranulátumok egyes fotoszintetizáló baktériumokban), vagy gázvakuólumok (amelyek vízi baktériumok úszását, lebegését segítik elő). Külön csoportként említhetjük a metakromatikus granulátumokat, amelyek mikroszkópos festékek hatására erős, jellegzetes színt öltenek, s így jól használhatók a fajazonosításban.

Fontos alkotója, egyszerű mikroszkópos vizsgálattal kimutatható része lehet bizonyos baktériumsejteknek az endospóra, mely kitartóképlet, a nehéz idők átvészelésére szolgál, s különleges „csoomagolásban” tartalmazza mindazt a tápanyagot és genetikai információt, ami a kedvezőtlen körülmények elmúltá után az élet újrakezdéséhez szükséges lesz.

7.2. A baktériumsejtek alakváltozatai

Kokkusznak mondjuk azokat a baktériumokat, amelyeknek gömbölyded a sejtjük, ha hosszúkas, akkor pálcikaalakúnak (vagy bacillus-formának, esetleg megkülönböztetve a rövid és a hosszú pálca alakokat) minősítjük. Ha se nem gömb, se nem (rövid) pálca az általunk vizsgált példány, hanem átmenet a kettő között, az a kokkobacillus, ha pedig hajlott a pálcika, akkor vibrio-formával van dolgunk. A spirillum-forma hosszú, merev baktérium, két vagy több fordulattal görbült, ami olyanná teszi, mint valami dugóhúzót, kecsesebb, hajlékonyabb a szintén többször megcsavarodott spirocheta-alak. S hogy ne legyen olyan egyszerű a dolgunk, bizonyos fajokra a pleomorfizmus jellemző, azaz élőhelytől, tenyészkörülménytől vagy törzstől függően változik alakjuk a kokkus, a pálca, a buncós pálca, vagy akár a vibrio-forma között.



5. ábra. Abaktériumok alak szerinti csoportosítása (BIRÓ et al. 2001).

(A-diplokokkus, B-sztreptokokkus, C-sztafilokokkus, D-bacillus, E-kokkobacillus, F-fuziform bacillus, G-fonális baktérium/Streptomyces, H-vibrio, I-Spirillum/Spirochaeta, J-szarcina)

Jellemző csoportokat is képezhetnek a baktériumok. Ha egy kokkus forma mindig elkülönülten jelenik meg a mikroszkópos képen, az a monokokkus, ha rendszeresen párban, az a diplokokkus, ha négyes csoportokat alkot, az a tetrád. Szabálytalan konglomerátumokat képeznek a *Staphylococcus*ok, rövidebb-hosszabb láncokat a *Streptococcus*ok, kis, szabályos csomagokat nyolc, tizenhat

vagy még több sejtből a *Sarcinák*. Bár a pálcikaalakúakra nem jellemző ez a sokféle csoportosulás, azért előfordulnak diplobacillusok (kettesével) vagy streptobacillusok (láncban). Szabálytalan, leginkább töredezett fűrészfogakhoz hasonló, ún. paliszád-elrendeződés jellemző a *Corynebacteriumokra*.

7.3. A baktériumok makromorfológiája

A mikrobák morfológiai vizsgálatai között megkülönböztetünk mikromorfológiai és makromorfológiai vizsgálatokat. A mikromorfológiai vizsgálatok a sejt – a baktériumok sejtjeinek mikromorfológiai vizsgálata fénymikroszkóppal – natív vagy festett preparátumok formájában – történik.

A makromorfológiai vizsgálatok a mikrobák folyékony és szilárd táptalajokban létrehozott tenyészeinek alaktani tulajdonságait célozzák. A szilárd táptalaj felületén vagy belsejében rendszerint egyetlen sejtből vagy telepképző egységből fejlődő sejtömeg a telep (kolónia), amelyben a sejtek száma több milliárd is lehet. A mikroorganizmusok telepeinek jól meghatározható, az adott mikroorganizmusra jellemző morfológiai megjelenése van. A különböző baktériumok és gombák szilárd táptalajon képződött telepeinek alakja, mérete, színe, szaga, szegélye különböző.

A telep fontos jellemzője a pigmenttermelés formája is (extra- vagy intracelluláris, vízben oldódó színanyag). Folyékony táptalajokban is más-más az egyes mikrobák megjelenési formája (üledék-képződés, felszíni hártaképzés, diffúz zavarosodás stb.).

Tapasztalhatjuk, hogy egyes baktériumtelepek színesek. A pigmentáltság háttérében különböző okok állhatnak.

- **Kromogének:** termelnek színanyagot.
- **Akromogének:** nem termelnek színanyagot.
- **Intracelluláris pigment:** a sejtben marad, a táptalajt nem festi meg (pl. *Staphylococcus* fehér, sárga, aranysárga).
- **Extracelluláris pigmentek:** kijutnak a környezetbe (pl. *Pseudomonas aeruginosa* a táptalajt zöldeskékre festi).

A telepek jellege tekintetében megkülönböztetjük az R (rough)-, az S (smooth)- és az M (mucoid)-telepeket. Az R-telepek felzíne matt, rögös vagy érdes. Az S-telepek sima felületűek, fénylők,

vajszerűek. Az M-telepekre a nyálkás felszín jellemző. Előfordul, hogy a tenyészet előregedése vagy a sorozatos passzálások hatására a telepmorfológia megváltozik. A burkos Gram-pozitív baktériumok, amelyek S telepeket képeznek, mutáció révén elveszíthetik buroktermelő képességüket. A buroktermelő képességüket elvesztett baktériumok R-telepeket képeznek. A mikroorganizmusok morfológiai tulajdonságainak ismerete nagymértékben leszűkíti azoknak a biokémiai teszteknek a mennyiségét, amelyet az adott mikroba azonosítása érdekében el kell végezni, de nem szabad elfelejteni, hogy ugyanazon mikroorganizmus más táptalajon tenyésztve eltérő tulajdonságokat mutathat.

7.4. A baktériumok szaporodása

A szaporodás a mikrobák sejtszám növekedését jelenti. Haránt irányú kettéosztódással-hasadással szaporodnak v. sarjadzással. A szaporodást és növekedést a külső környezeti tényezők jelentősen befolyásolják. Optimális esetben 1 baktériumból 24 óra alatt 500 t sejttermeg keletkezne, Az *E. coli* egyedszáma 20 percenként duplázódik.

A baktériumok szaporodásának szakaszai. Öt szakaszt tudunk elkülöníteni:

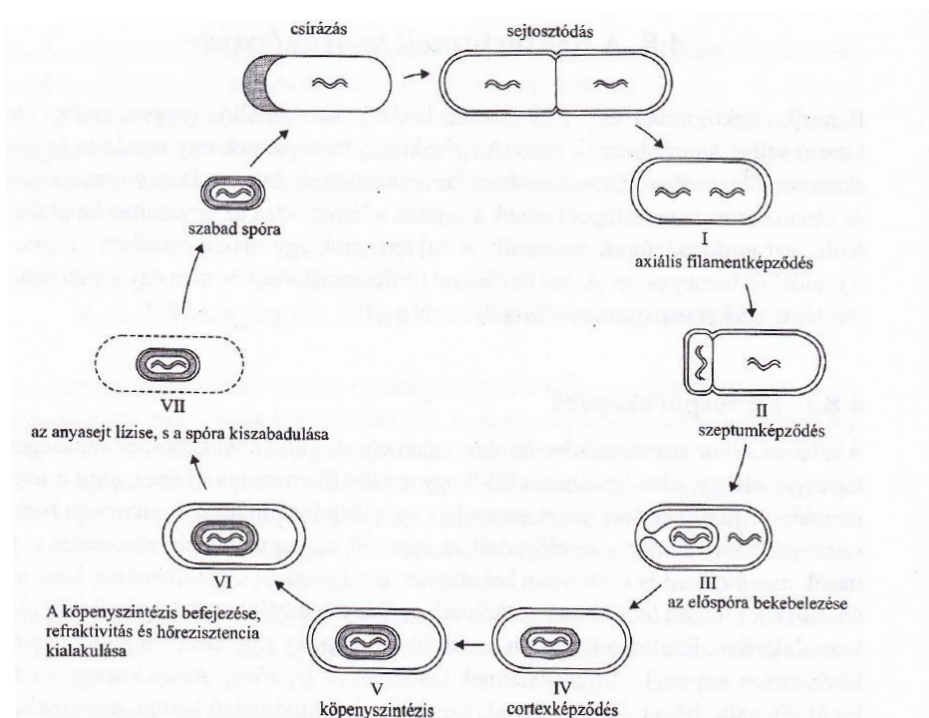
1. nyugalmi szakasz – lag-fázis;
2. gyorsuló növekedési szakasz;
3. exponenciális v. logaritmikus szakasz – log-fázis;
4. stacioner v. egyensúlyi szakasz;
5. pusztuló v. regresszív szakasz.

7.5. A baktériumok spóráképzése

Bizonyos baktériumok egy, a környezeti hatásoknak ellenálló, nyugvó, aszexuális kitartó sejtet, spórát hoznak létre. A spóráképző baktériumok egy részében (a G⁺ Bacillus, Clostridium, Sporolactobacillus nemzetségek, és a G[–] Desulfotomaculum és Oscillaspira

nemzetségek) ennek a sejtnak a létrehozása az anyasejten belül történik, ezt endospórának nevezzük. A baktériumok egy másik részében (Actinomyceták) ez bizonyos sejtek átalakulásával (differentiálódás) de nem egy sejten belül jön létre, ezeket exospórának hívjuk.

7.5.1. Endospóráképzés



6. ábra. Gram-pozitív endospóráképző baktériumok endospóráképzése (BIRÓ et al. 2001)

Általában akkor következik be, amikor valamely, az aktív növekedéshez szükséges tápanyag elfogy. Első lépésben a DNS egy axiális filamentumot képez, amit a sejtmembrán betüremkedése követ, s ezzel az ún. előspóra jön létre. A membrán betüremkedése folytatódik, s az előspórát az anyasejt mintegy endocitózisszerűen egy másik membránnal is körbevéve bekebelezi. Ezt követően a két

membrán közé az ún. cortex rakódik le, s ebben a stádiumban történik a kalcium és dipikolinsav akkumulálódása. Ezután a kortexen kívül fehérjeköpeny jön létre, s a spóra érését követően az anyasejtet litikus enzimek lebontják. Az endospóra rendkívül ellenálló hővel, kiszáradással, sugárzással, s különböző kémiai ágensekkel szemben egyaránt. Ellenállóképességét valószínűleg a cortexben lerakódó kalcium dipikolinátnak, illetve a spóra dehidratált állapotának köszönheti. A spórák életképességüket évszázadokig, sőt több ezer évig is.

7.5.2. *Exospóráképzés*

A Methanotroph baktériumok exospóráképzése során az anyasejt bimbózásával létrejövő új sejt, vagy egy vegetatív sejt átalakulásával jön létre a spóra. Kívülről ezekre a sejtekre is további rétegek rakódnak, amely ellenálló képességüket fokozza. Ezeknél poli-hidroxivajsav akkumulálódás történik. Ettől eltérő az Actinomyceták spóráképzése. Ezek szilárd táptalajon növe hosszú elágazó fonalakat, micéliumot hoznak létre, mely a táptalajba is belenő. Ezt szubsztrát micéliumnak nevezik. Szeptum (keresztfal) csak ritkán képződik, s a sejtek ennek megfelelően hosszú, csőszerűek, sok magekvivalenst tartalmaznak. Legtöbb faj a szubsztrát micéliumra merőlegesen, a levegőbe is növeszt micéliumot, amit légmicéliumnak neveznek. Általában ezeknek a légmicélium-fonalaknak a végén, intenzív szeptumkézés és a sejtfal megvastagodása után jönnek létre az aszexuális, ellenálló kitartó sejtek, a spórák. Egyes fajokban a spórák spóratartóban képződnek. Bizonyos fajok esetében spóráképzés a szubsztrátmicéliumon is megfigyelhető.

8. A BAKTÉRIUMOK ANYAGCSERÉJE

8.1. A baktériumok anyagcseréjét befolyásoló tényezők

Mint minden élőlény anyagcseréje esetén a prokarióták esetében is a felépítő folyamat (asszimiláció vagy bioszintézis) energiaigényes, amely során a kis energiájú, egyszerű szerkezetű molekulákból nagy energiájú, bonyolult szerkezetű molekulák (makromolekulák) képződnek.

A felület-térfogat (S/V) aránya igen fontos a baktériumoknál:

- a méret növekedésével növekszik az S/V arány;
- a méret meghatározza a sejtmembránon keresztüli anyagfelvétel és leadás hatékonyságát;
- kisebb méret → hatékonyabb anyagcsere.

Az energiaszerzés módja, a hidrogén/elektron donor típusa és a szénforrás fajtája szerint a mikroorganizmusokat különböző csoportokba soroljuk.

Az energia szerzés módja szerint megkülönböztetünk:

- fototrófokat, amikor a fényenergia az energiaforrás;
- kemotrófokat, amikor a kémiai energia az energiaforrás.

A hidrogén/elektron donor típusa szerint:

- litotróf élőlény – hidrogénforrásként szervetlen vegyületeket használ fel (pl. H_2O , H_2S);
- organotróf élőlény – hidrogénforrásként szerves vegyületeket használ.

A szénforrás szerint:

- autotróf asszimiláció – amikor a mikroorganizmus szénforrásként szén-dioxidot használ fel;
- heterotróf asszimiláció – amikor szénforrásként szerves vegyületet használ fel.

Egy litotróf általában autotróf, míg egy organotróf általában heterotróf. Azt, hogy a különböző mikroorganizmusok milyen tápanyagokat és milyen anyagcsereutakon tudnak hasznosítani, a mikrobafajok genetikai tulajdonságai szabják meg, amelyek kifejeződését a környezeti tényezők bizonyos mértékig képesek befolyásolni.

Ezek alapján a mikroorganizmusok az anyagcseréjük szerint az alábbi 4 főcsoportba sorolhatók:

- fotolitotróf autotrófok pl. cianobaktériumok, amelyek autotróf fotoszintetizáló, litotróf (H_2O) élőlények;
- fotoorganotróf heterotrófok pl. halobaktériumok, amelyek heterotróf fotoszintetizáló, organotróf élőlények;
- kemolitotróf autotrófok: pl. nitrifikáló baktériumok, melyek autotróf kemoszintetizáló ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-, \text{NO}_3^-$), litotróf (H_2) élőlények és a vaskbaktériumok, melyek autotróf kemoszintetizáló ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$), litotróf (H_2) élőlények
- kemoorganotróf heterotróf pl. minden patogén.

Az első három csoport tagjai alapvető szerepet játszanak a bioszféra anyagának körforgásában, élelmiszerekben alig találkozunk velük. Élelmiszerhigiéniai és humán- valamint állategészségügyi jelentősége elsősorban a kemoorganotróf heterotróf baktériumoknak van.

A mikroorganizmusok szaporodásának feltétele a megfelelő tápanyagellátás és környezeti tényezők (hőmérséklet, pH, redoxpotenciál, vízaktivitás) biztosítása. Laboratóriumi körülmények között ezt a célt szolgálják a különböző összetételű tápközegek, amelyekkel a vizsgált mikrobák tápanyag-, pH-, vízaktivitás- és redoxpotenciál-igénye kielégíthető.

A mikroorganizmusok élettevékenységüket (szaporodás, anyagcsere) csak egy bizonyos hőmérséklet-tartományban képesek folytatni. Az életjelenségek mindegyike bonyolult, enzimekkel katalizált biokémiai folyamatok eredményeként jön létre. Ezen enzimek működéséhez szükséges hőmérséklet tartományt három kitüntetett hőmérséklettel jellemezhetjük.

- Hőmérséklet-minimum: az a hőmérséklet, amely alatt a mikroorganizmus nem képes szaporodni.
- Hőmérséklet-optimum: az a hőmérséklet, amelyen a részfolyamatok eredőjeként maximális sebességű a szaporodás.
- Hőmérséklet-maximum: az a hőmérséklet, amely felett a mikroorganizmus nem képes szaporodni.

A szaporodás minimum, optimum és maximum hőmérséklet-paraméterei nem éles határral meghúzott értékek, hanem - különösen az optimum esetében - néhány °C-nyi hőmérséklet intervallumként határozhatók meg. A mikrobák igen széles hőmérsékleti tartományban képesek szaporodni. A klasszikus kategorizálás szerint hőmérsékletigényük alapján három csoportba sorolhatók.

Eszerint megkülönböztetünk psychrophil (hidegkedvelő), mesophil és thermophil (melegkedvelő) mikroorganizmusokat. A pszichrofil csoportra jellemző, hogy szaporodásuk hőmérsékletoptimuma 15°C alatt van. Ezt a csoportot tovább tagolva beszélhetünk pszichrotoleráns (hidegtűrő) mikrobákról, amelyek szaporodása 5°C alatti hőmérsékleten leáll, valamint kriotoleráns mikrobákról, amelyek -18°C hőmérséklet-minimumig szaporodásképesek. E hőmérséklet alatt gyakorlatilag nem kell a mikroorganizmusok szaporodásával számolni.

A mezofil mikrobák szaporodásának hőmérséklet-optimuma 25-41°C közé esik. Ebbe a csoportba tartozik a legtöbb patogén, valamint élelmiszer-rontó, mérgező mikroorganizmus.

A termofil mikroorganizmusokra jellemző, hogy szaporodásuk 40 °C feletti hőmérsékleten éri el a maximális sebességet, 65°C fölött pedig gyakorlatilag már nem kell mikrobaszaporodással számolni. A csoporton belül elkülönítjük az ún. Termotoleráns (meleg-tűrő) mikrobákat, amelyek szaporodásának hőmérséklet-maximuma 50°C.

A mikroorganizmusok pH-igénye, illetve tűrése, akárcsak a hőmérsékletigénye három paraméterrel, a minimális, az optimális és

a maximális pH-értékkel jellemezhető. A mikroorganizmusok általában 3-11 pH-tartományban képesek szaporodni, de a többség pH-optimuma a semleges érték körül mozog. A legszélesebb pH-intervallumban (1,5-11) a penészgombák képesek szaporodni, de az élesztők pH-spektruma is igen széles (2,5-8,5). A baktériumok közül egyesek képesek savas kémhatású közegben is szaporodni, mint pl. a *Staphylococcus*ok és a *Lactobacillus*ok. Az emberi kolera kórokozója – a *Vibrio cholerae* ugyanakkor bázikus környezetben éri el szaporodási sebességének maximumát.

A pH változásának hatása nem közvetlenül érvényesül a sejten belül, hiszen a belső pH a külső környezet pH-jának tág határok közötti változása esetén is viszonylag állandó. A hatás a transzport folyamatok sebességének, irányának, egyensúlyának megváltoztatásán keresztül érvényesül. A minimum- és a maximum pH-értékek alatti, illetve fölötti értékeken a szaporodás leáll, majd csírapusztulás következik be. Ennek alapján alkalmazzák a savanyítást élelmiszerek, takarmányok (silózás) tartósítására.

8.2. Toxinok

A baktériumok *virulenciája*, azaz kórokozó képessége a baktériumok által termelt direkt károsító toxikus, valamint szervezeten belüli terjedésüket elősegítő (*invazivitás*) nem toxikus tényezők függvénye. Utóbbiak közé tartozik a burok, az általuk termelt extracelluláris enzimek, felületi antigének, melyek a sejtekhez való tapadást segítik elő.

Az *extracelluláris enzimek* a szervezet nem specifikus védekezési mechanizmusait károsítják. A *koaguláz* enzim a sérülés helyére kiáramló vérsavót megalvasztja, a termelődő fibrinburok pedig védi a baktériumot a falósejtek fagocitózisától (bekebelezés). A *hyaluronidáz* a sejtek közötti ragasztóanyagot oldja, a *kollagenáz* a kollagént, a *fibrinolizin* a fibrinalvadékot, mellyel a szervezet a sérült részt igyekszik elhatárolni. A *lecitináz* a zsírtartalmú anyagok bonthatásával okoz súlyos szövetelhalásokat, a *haemolizinek* a vörösvértesteket oldják.

A *toxinok* a patogén (kórokozó) baktériumok által termelt anyagok, melyek a baktérium élete során a sejtben maradnak és pusztulásukkor kerülnek a külvilágba vagy a fertőzött szervezetbe – *endotoxinok* –, vagy a kórokozók anyagcseréje, kiválasztása során kerülnek ki a sejtből – *exotoxinok*.

Az exotoxinok csoportosítása:

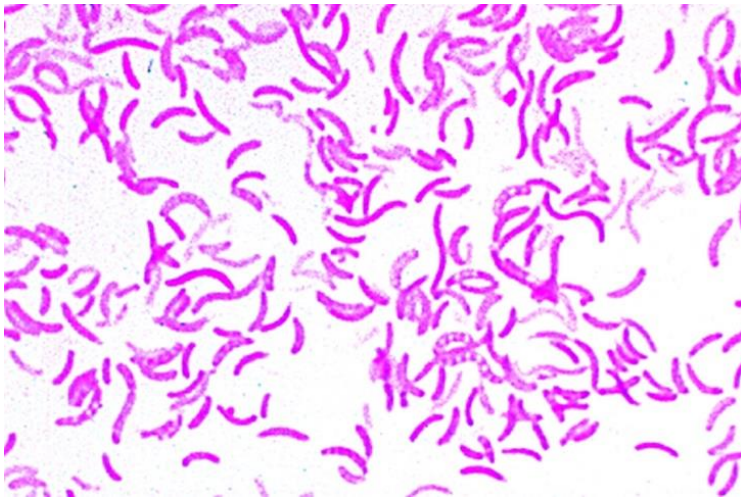
- neurotoxinok (tetanusz-toxin, botulinum-toxin);
- citotoxinok (diftéria-toxin, sztreptolizin);
- enterotoxinok (kolera-toxin, hőlabilis (LT) és hőstabil (ST) toxin, shiga-toxin).

9. A MIKROORGANIZMUSOK ÖKOLÓGIAI JELENTŐSÉGE

9.1. Anaerob fototróf baktériumok

Vizekben élnek, nem a vizet fotolizálják, van klorofilljuk. Valamennyien fotoszintetizálnak, mégis vannak köztük heterotrófok is.

- **Chromatium:** bíbor kénbaktérium, van egy karotinoid pigmentje is, H_2S az elektrondonor, a sejt belsejében a képződő elemi kén zárványt képez, fotoautotróf.
- **Rhodospirillum:** bíbor nem kénbaktérium, spirális alak, kell neki szerves anyag is elektrondonornak (fotoheterotróf).
- **Chlorobium:** zöld kénbaktérium, nincs karotinoid típusú pigmentje, H_2S az elektrondonor, de sejten kívülre kiválasztja a képződő elemi ként, fotoautotróf.
- **Chloroflexus:** zöld nemkénbaktérium, fonalas fotoheterotróf.



7. ábra. *Rhodospirillum* sp.

9.2. Aerob fotoszintetizáló baktériumok

Ide tartoznak a cianobaktériumok (régi nevük kékeszöld algák v. kékmoszatok). Mikroaerofilek, első oxigéntermelők voltak a Földön. Morfológiailag sokfélék lehetnek, sokuk fonalas, de vannak

egysejtűek is; klorofill-a a fotoszintetikus pigmentjük, de mellette egyéb pigment is lehet. Vízvirágzást okozhatnak, eutrofizálódik a víz tőlük (N- és P-tartalmú anyagok segítik elő), ilyenkor humán bőrgyulladás is felléphet fürdőzőknél.

- **Anabaena:** tavakban él, fonalas, bakterioklorofillje és fikobilin típusú pigmentje is van (kékeszöld szín). CO_2 -t fixál, de nitrogénáza is van (nitrogént is fixálhat, „kettős autotrófia”). Utóbbi esetben a fonalak átalakulnak, a N_2 -fixáló sejtek fala megvastagszik, O_2 -t ezek nem termelnek.
- **Prochloron:** a legfejlettebb cianobaktérium, kétféle fotorendszer (klorofill-a és b is).

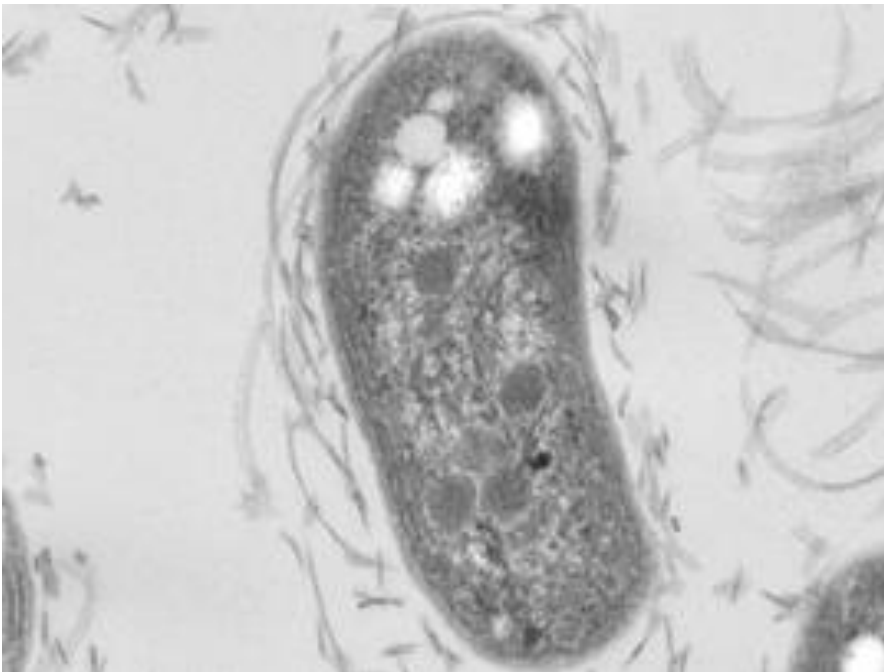


8. ábra. *Anabaena* sp.

9.3. Aerob kemolitotróf baktériumok

Szervetlen vegyületek aerob oxidálása révén ATP-t és redukált koenzimeket állítanak elő, amit CO_2 fixálására fordítanak. Ide tartoznak pl. az ún. nitrifikáló baktériumok, melyek főleg talajban, kisebb részben vizekben élnek, sejtjeiknek kiterjedt belső membránrendszerük van.

- **Nitrosomonas:** az ammóniát nitrissé oxidálja (nitrifikál).
- **Nitrobacter:** a nitritet nitráttá oxidálja (szintén nitrifikál).
- **Thiobacillus:** szintelen kénbaktérium, H_2S -ből SO_4^{2-} -t állít elő. Erős oxidáló és savanyító hatás talajokban, bányászatban is használják.
- **Siderococcus:** kétértékű vas- és mangániont továbboxidál, a mágneses térben tájékozódik, alapvetően talajlakó, de vízvezetékekben is megél.
- **Hydrogenobacter:** „durranógáz”-baktériumok, a talajban élnek, H_2 -t oxidálnak.



9. ábra. *Nitrobacter* sp.

9.4. Sarjadzó és/vagy függelékes baktériumok

A sarjadzó és/vagy függelékes baktériumok különleges formák, zömmel vízi szaprofiták.

- **Blastobacter:** sarjadzással szaporodik, hasonlóképp, mint egy élesztőgomba.
- **Caulobacter:** függelékes, a függelék segítségével kitapad egy szilárd felületre. Asszimmetrikusan osztódik (ostor vagy függelék): a függelékes kitapadva marad, az ostoros pedig elúszhat vagy függeléket növesztve helyben letapadhat. Rozettákat képezhet.
- **Hyphomicrobium:** függelékes és sarjadzó is egyben, olyan függeléke van (prosztéka), amiben citoplazma van. A függelék másik oldalán sarjadzik, ostorral születik, dönthet úgy, hogy marad vagy távozik. Rögtön függeléket is növeszt, ha jók a körülmények.

9.5. Hüvelyes baktériumok

El nem ágazó fonalak, egy vastag poliszacharid-glükoprotein (esetleg részben fémoxid) hüvelyt képez maga körül. Talajban vagy vízben él, szilárd felszínhez tud kapcsolódni a hüvely segítségével.

- **Leptothrix:** a vas oxidációjából szerzi az energiát, hüvelyét vas- és mangán-oxid borítja.



10. ábra. Leptothrix telep vízben

9.6. Csúszva mozgó, termőtest nélküli baktériumok

Gram-negatív, mineralizáló talajbaktériumok, sok mindent lebontanak (pl. pektin, kitin, agar). Felületaktív anyagot bocsátanak ki, és azon tudnak csúszni, szaprofiták.

- **Cytophaga:** kemoorganotróf, szaprofita, mineralizáló baktérium.
- **Beggiatoa:** kemolitotróf, H_2S -ből S-t állít elő.

9.7. Csúszva mozgó, termőtestet képező baktériumok (nyálkabaktériumok)

Myxococcus: csúszva mozognak sejtjei (sőt termőtestje is), az előző csoport tagjaihoz hasonlóan. Ha elfogy a táplálék, a sejtek aggregálódnak, részleges differenciálódás játszódik le: pigmentált (sárga vagy piros) termőtestet képeznek, abban pedig mixospórákat (kitartó képlet). A szaprofiták mellett sok parazita is van közöttük, sőt ezek ragadozónak is tekinthetők (toxikus anyagokkal elpusztítanak más mikroorganizmusokat, amiket elfogyasztanak utána).

9.8. Ősbaktériumok

Az alábbi 5 nagy csoportjuk van.

- **Metanogén ősbaktériumok** (pl. *Methanobacterium*): anaerob, CO_2 -ből CH_4 -t fejleszt, fordított citrát ciklus, autotróf. Mocsarak mélyén földgázt termel, szennyvizekben, kérődzők tápcsatornájában mindig megtalálható, néha az emberben is előfordul.
- **Szulfátredukáló ősbaktériumok** (pl. *Archaeoglobus*): vizekben él, anaerob légzés jellemzi: hidrogént vagy kismolekulájú szerves vegyületeket oxidál szulfát, szulfit vagy tioszulfát segítségével.
- **Halofil ősbaktériumok** (pl. *Halobacterium*): 10-30%-os sóoldatban él (pl. Holt-tenger, sóbepárlók). Piros pigmentje van, ami fény hatására protonpumpaként is működik és ATP-t termel. Csak részlegesen fototróf, inkább kemotróf (mixotróf), és feltétlenül heterotróf.

- **Sejtfal nélküli ősbaktériumok** (pl. *Thermoplasma*): anaerob kemooorganotróf, termofil (optimuma 50-60°C), van ostora, kicsi a genomja. Tőzegesedő földrétegekben, szénbányák meddőhányójában található meg.
- **Thermoacidofil ősbaktériumok** (pl. *Thermococcus*): 70-80°C már jó neki, de soknál 100-120°C az optimum. Sokuk anaerob, elemi hidrogén és kén hasznosítására képesek a tenger fenekén, autotrófok is lehetnek. Néhányan az elemi ként SO_4^{2-} -t is oxidálják, ha van O_2 . Vannak köztük szimbionták is, pl. hengeresférgeket látnak el szerves anyagokkal.

9.9. Actinomycetes

„Sugárgomba”, de igazából baktérium, csak éppen fonalszerű (hifa) nőnek a sejtek (hifaköteg = micélium). Szubsztrátmicéliuma mindig van, de lehet légmicéliuma is. A szubsztrátmicélium táplálkozik: aerob, kemoheterotróf anyagcsere jellemzi. A légmicélium nem táplálkozik, a fonalak végéről egyes sejtek lefűződnek, és exospóráként (konídium) él tovább (inkább szaporító, mint kitartó képlet). Lehet sporangiuma is, ami a hifa végén egy zsákocskaszerű, benne képződnek az ún. sporangiospórák.

- **Frankia:** nincs légmicéliuma, a szubsztrátmicélium végén képződik a sporangium. N_2 -fixáló baktérium (szimbiózisban sokféle zárvatermő növényekkel).
- **Micromonospora:** antibiotikumot termel (gentamicin).
- **Streptomyces:** elnevezését a streptos = lánc szóból kapta, légmicéliuma is van, a hifavégekről a jellegzetesen pigmentált spórák láncszerűen fűződnek le. Az ipari antibiotikumtermelés közel 70%-át ezek segítségével állítják elő (pl. sztreptomycin, nisztatin, klóramfenikol, tetraciklinek), ill. számos félszintetikus antibiotikum vázát is elkészítik. Talajlakók, óriási szerepük van néhány természetes szerves polimer (pektin, kitin, keratin) lebontásában.

- **Thermoactinomyces:** silókban található meg, allergiás megbetegedést, tüdőgyulladást („farmer tüdő”) okozhat. Kiterjedt légmiciéliuma van, de a talajban is képződhetnek spórák, méghozzá a sejt belsejében (valódi endospóra!). 60°C körül van a szaporodás optimuma.

9.10. A protiszták jelentősége és osztályozása

A protiszták valódi eukarióták, a legnagyobbak sejtjeinek mérete pár mm is lehet, de tipikusan inkább csak néhányszor 10 μm -esek, a plankton is ők alkotják. A szervesanyag körforgásában jelentősek, mint szaprofiták és táplálék szervezetek. Vannak közöttük paraziták (pl. malária, álomkór), toxintermelők, továbbá vízvirágzást (ebben az esetben valódi algák általi eutrofizáció) okozó élőlények is.

Osztályozásuk (milyen magasabb rendű élőlényre hasonlítanak):

- **növényi jellegű (alga):** vizekben él, egy- v. többsejtű, CO_2 -t fixál, autotróf, sejtfala van (többnyire cellulóz).
- **állati jellegű (protozoon):** heterotróf, egysejtű, nincs sejtfala, vizekben él, nagy lebontóaktivitása van, többségük szaprofita (de akad néhány parazita is!).
- **gomba jellegű:** nyálkagomba, illetve álgomba (egyes tulajdonságai a gombákra, mások pedig a protozoonokra vagy algákra emlékeztetnek).

Sejtfaluk többnyire cellulózból áll (esetleg másból vagy hiányzik). Egysejtű vagy többsejtű (fonalas vagy telepes) egyaránt lehet. Csoportosításuknál fontos szempontok még a sejtben raktározott táplálék tápanyag kémiai összetétele (keményítő, fruktozán stb.), valamint pigmentjei (klorofill-a, -b, -c, továbbá lehet karotin vagy xantán típusú is).

- **Zöldmoszatok:** fonalas többsejtű vagy egysejtű, tengerben vagy édesvizekben él, igénytelen autotróf, klorofill mellett más pigment nem jellemző rá, sejtfaa zömmel cellulóz. Gombákkal szimbiózisra léphet (zuzmók).
- **Euglena-félék:** zöld szemes ostoros; édesvízi egysejtű, ostora van és stigmája (fényérzékelő folt). Sejtfaa nincs, pelliculum (vastag külső membrán) biztosítja szivarszerű alakját.
- **Sárgás moszatok:** xantán és/vagy karotin típusú pigmentje is van, egysejtű. Sejtfaa a cellulóz mellett szilikátot és meszet tartalmazhat. Az ún. kovamoszatok sejtfaa két, egymásba illeszkedő héjat alkot, melyek kristályos szilikátot tartalmaznak nagy mennyiségben. Tengeri üledékekből kinyerhető maradványuk a kovaföld: derítésre, szűrésre használható.
- **Barnamoszatok, vörösmoszatok:** tengerekben élnek, soksejtű telepeket alkotnak, melyeken levél-, gyökér- és szárszerű képződmények különböztethetők meg, 100-200 m-esre is megnőnek (tengeri hínárok). Sejtfaa főleg cellulóz, vörösmoszatokban emellett xilánok és galaktánok (pl. agar, karragén) is előfordulnak.
- **Dinoflagellata-félék:** ostoros egysejtűek, sejtfaa cellulóz vagy hiányzik, néhány fajuk édesvízben, a legtöbb pedig tenger-vízben él, toxint termelhetnek. Vízirágzás és olykor halak és puhatestűek tömeges pusztulásának okozói. Néhány tengeri faj lumineszkál is.

10. A BAKTÉRIUMOK RENDSZEREZÉSE

10.1. A rendszerezés elméleti háttere

A mikroorganizmusok rendszerbe sorolása többféle módon történhet és többféle célt szolgál.

- **Fenetikus rendszer:** a hasonló sajátosságokat mutató mikroorganizmusokat olyan csoportokba sorolja, melyek általában gyakorlati szempontokat figyelembe véve is jól kezelhetők és aminek eredményeként az egyes mikróbákról rendelkezésre álló információk is megfelelően csoportosíthatók.
- **Filogenetikai rendszer:** a természetes rokonsági viszonyok feltárása révén hozható létre és ezáltal az a valódi evolúciós (leszármazási) kapcsolatokat tükrözi.
- **Numerikus taxonómia:** a politetikus csoportosítás alapján létrehozott fenetikus rendszerekben a vizsgált (alapvetően fenotípusos) sajátosságok, különböző kódolási stratégiák alkalmazásával olyan karakterekké alakíthatók, melyek először egy statisztikai feldolgozást, majd a kapott eredmények grafikus ábrázolását (dendrogram) teszik lehetővé. Amennyiben egy hasonló taxonómiai vizsgálat olyan karakterekre épül (általában nukleinsav- és aminosav-szekvenciák), amelyek esetleges hasonlósága a valódi rokonsági kapcsolatokat tükrözi, a létrehozott törzsfát kladogramnak nevezzük.

A mikrobiológia tárgykörébe tartozó rendszerezés alapegysége a faj. Mivel a szexuális rekombinációhoz vezető folyamatok hiányozhatnak (pl. aszexuális gombák), esetleg kevésbé rendszeresen, illetve más jelleggel játszódnak le, a biológiai fajkonceptió alkalmazása gyakran nehézségekbe ütközik.

Korlátai vannak a morfológiai bélyegekre alapozó morfológiai fajkonceptiónak. A molekuláris bélyegek (elsősorban a DNS-homológia) alapján történő faj meghatározás képezi a filogenetikai fajkonceptió alapját. A mikróbatörzsek pontos fajmeghatározása és egymástól való elkülönítése sokszor igen problémás. Minden mikróba-

faj hasonló tulajdonságokat mutató törzsek összessége, amelyek jellemző tulajdonságokat mutatnak a többi fajt reprezentáló törzsektől. Egy adott törzs egyetlen mikroorganizmus genetikailag homogén sejtekből álló tiszta tenyészetben fenntartott származéka. Az izolátum: egy adott forrásból izolált vad típusú mikroorganizmus törzs.

Elnevezésük: a vírusok kivételével a binomiális nomenklatura szabályait követi, lehetnek **szinonim** nevek is, amikor ugyanazt a törzset több néven is hívhatják, vagy lehetnek **homonim** nevek, amikor két különböző törzset ugyanazon néven hívnak.

Típustörzs: egy adott faj először leírt, vagy legjobban jellemzett törzse, nemzetközi törzsgyűjteményekben kerülnek elhelyezésre.

A baktériumfajok megnevezése: esetükben is a latin binomiális neveket használjuk. A bakteriológiában gyakran találkozunk faj alatti kategóriaként alfajokkal. Ezek megjelölése a **szerotípus** (serotype, serovar), ha valamely antigén sajátosságban, **patotípus** (pathotype, patovar), ha valamely patogenitást érintő sajátosságban, vagy **biotípus** (biotype, biovar), ha valamilyen biokémiai, vagy fiziológiai sajátosságban térnek el.

A baktériumok rendszerezésére használt hagyományos eljárások és legfontosabb rendszertani bélyegek:

- morfológia (a sejt alakja, mérete, alkotói),
- elrendeződés (sejtek csoportosulása, pl. láncszerű, fonalas),
- mozgékonyág (csillók jelenléte, elrendeződése),
- festődés (pl. Gram),
- telep morfológia (méret, szín, alak; ezek függése fiziológiai tényezőktől),
- táplálkozási igények (C-forrás stb.),
- abiotikus ökológiai faktorok (milyen hőmérséklet, pH, O₂ szint, vízáktívítás optimális),
- egyéb biokémiai tulajdonságok (enzimek léte vagy hiánya, sejtfal és egyéb alkotók kémiai összetétele),
- szerológiai (immunológiai) tulajdonságok: antitest termelés kiváltása gerincesekben,
- fágok specifikussága (spektrum),
- DNS-bázisösszetétele és szekvenciája.

Biokémiai tesztek (metabolikus sajátosságok):

- anaerob és/vagy aerob körülmények között szaporodik,
- milyen cukrokat és egyéb szerves anyagokat hasznosít C- és E-forrásként, termelődik-e közben gáz és/vagy sav, fermentációs termékek,
- zselatin-elfolyósítási próba: akkor, ha erős fehérjebontó (proteolitikus) aktivitása van,
- keményítő-hidrolízis próba (I_2 -vel festem),
- van-e kataláz enzime (H_2O_2 bontása),
- H_2S -termelés próba,
- nitrátredukciós próba,
- ureáz-próba: bontja-e karbamidot,
- hemolízis próba: patogének esetén, véres agaron.

10.2. A prokarióták négy tagozata (divíziók)

A *Bergey's Systematic* 1. kiadása szerint:

- *I. divízió: Gracilicutes* (Gram-negatív baktériumok),
- *II. divízió: Firmicutes* (Gram-pozitív baktériumok),
- *III. divízió: Tenericutes* (merev sejtfal nélküli baktériumok),
- *IV. divízió: Mendosicutes* (murein nélküli sejtfallal rendelkező baktériumok = ősbaktériumok).

11. I. DIVÍZIÓ (*GRACILICUTES*, GRAM-NEGATÍV BAKTÉRIUMOK)

11.1. Spirális Gram-negatív baktériumok

A *Spirochaeta*, *Treponema*, *Borrelia* és *Leptospira* nemzetségek tartoznak ebbe a csoportba. Sejtjeik igen hosszúak (2-250 μm), dugóhuzószerűek. Kemoorganotrófok. Aerob, fakultatív anaerob és anaerob életmódot folytatók egyaránt vannak közöttük. Ökológiai igényeiket tekintve széles skálán mozognak, hiszen szabadon élő és patogén fajok egyaránt vannak.

- A *Spirochaeta* nemzetségbe anaerob vagy fakultatív anaerob fajok tartoznak, az utóbbiaknál gyakori a karotenoid termelés. Szabadon élők, gyakoriak a kénhidrogén tartalmú vizekben.



11. ábra. A *Treponema pallidum* elektronmikroszkópos képe.

- A *Treponema* nemzetségbe tartozó fajok szintén anaerobok, vagy fakultatív anaerobok. Az ember és az állatok szájüregében, emésztőrendszerében és a genitális traktusokban élnek, számos fajuk patogén. A *T. pallidum* a vérbaj (luesz, szifilisz) kórokozója. Szexuális úton terjed. A primer fertőzés után a bőrsérüléseken keresztül behatoló mikróba a nyirokcsomókba vándorolva el-

szaporodik és 6–8 hét múlva létrehozza a jellegzetes bőrkiütéseket. Ezután sokévi nyugalmi periódus következik. A betegség legsúlyosabb harmadik stádiuma súlyos idegrendszeri és szívkoszorúér elváltozásokkal jár.

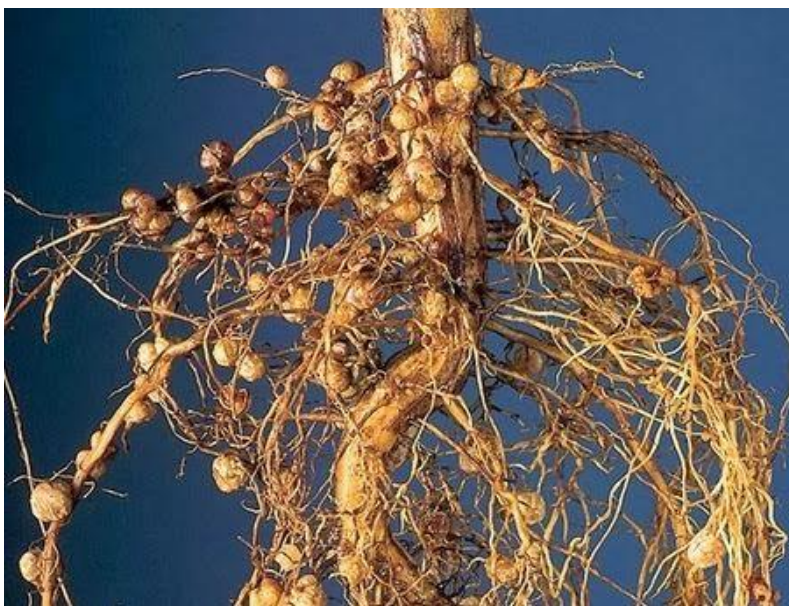
- A ***Borrelia*** genusz fajai anaerobok, vagy mikroaerofilek. Emlős állatokon, rovarokon élnek. Régebben a *B. recurrentis* okozta visszatérő láz, az utóbbi időben elsősorban a *B. burgdorferi* okozta Lyme-kór miatt tartjuk őket számon. Az előbbi esetben ruhatetvek, az utóbbiban pedig kullancsok terjesztik őket.
- A ***Leptospira*** nemzetség fajai obligát aerobok. Sok fajuk állatokban él, tüneteket, betegségeket általában nem okoz. Harapással stb. való fertőződés után viszont emberben súlyos betegséget, leptospirozist okoz.

11.2. Aerob Gram-negatív pálcák és kokkusok

Többnyire szigorúan aerob (végső e^- -akceptor az O_2), de van, amelyik tud denitrifikálni (anaerob légzés, NO_3^- a végső e^- -akceptor), van citokró-m-c, ez oxidázpróbával kimutatható (p-feniléndiaminnal színreakció). Ipari, környezeti és orvosi szempontból egyaránt igen jelentős, népes és változatos csoport.

- A ***Xanthomonas*** nemzetség fajai poláris csillóval mozgó, élénk-sárga telepet képző, tojásdad pálcák. Szaprofita mikroorganizmusok, sok közöttük a növényi kórokozó. Sejtfalukon kívül vastag xantánból álló tokot képeznek.
- Az ***Azotobacter*** nemzetség tagjai nagyméretű, csillókkal mozgó, tokképző fajok tartoznak. Szaprofita kemoorganotrófok. Nitrogénfixálásra képesek, de ezt szabadon és nem szimbiózisban teszi. A talaj felső rétegének nitrogénellátásában jelentős szerepük van. Ugyancsak szabad nitrogénkötők a csillós *Azomonas* nemzetség tagjai.
- A ***Rhizobium*** nemzetség fajai igen jelentősek. Pálca alakú, csillós, pleiomorf sejtjei gyakran tartalmaznak poli-hidroxi-vajsav zárványokat. Az idetartozó fajok gazdasági jelentőségét a nitrogénkötő képességüknek köszönhetik. Pillangósvirágú növények

gyökérszőrzetén behatolva, a gyökereken gümőt hoznak létre, s ebben elszaporodva, bakteroid formát felvéve végzik a nitrogén megkötését. Szabadon nem, csak szimbiózisban képesek nitrogénfixálásra. A gümő kialakulásáért a bakteriális gének indukálta növényi gének felelősek. A nitrogénfixálás gazdasági haszna felbecsülhetetlen.



12. ábra. Rhizobium baktériumok közreműködésével létrejött gyökérgümők

- Az ***Agrobacterium*** genusz fajai pálca alakúak, peritrich, kemoorganotrófok. Gümőképzésre és nitrogén megkötésére nem képesek. Egyes fajaik (*A. tumefaciens*) igen sok növényt képesek megtámadni, és tumoros sejtburjánzást indukálni.
- A ***Methylococcus*** nemzetség közös sajátága, hogy szén és energiaforrásként metánt vagy metanolt hasznosítanak. Mivel a hidrogénből és szén-dioxidból történő metánképzés anaerob viszonyok mellett talajban és vizekben egyaránt gyakori, a metilotrof baktériumok élőhelye ezek környezetében van. A metánt metanollá, majd formaldehiddé alakítják. Sejtjeik pálcika, vibrio vagy kokkus alakúak.

- Az **Acetobacter** genusz fajai pálcika vagy ellipszoid alakúak. Az etanolt ecetsavvá, az ecetsavat és tejsavat pedig szén-dioxiddá és vízzé oxidálják. Alkoholos erjedés kísérőjeként gyakoriak. Egyes fajaikat ecetsavgyártásban ma is használják.
- A **Legionella** nemzetség legismertebb faja, a *L. pneumoniae* 1976 óta ismert. Felismerésük egy Philadelphiában tartott veterán légiótalálkozóhoz kötődik, ahol a résztvevők megmagyarázhatatlanul nagy számban megbetegedtek tüdőgyulladásban. Később kiderült, hogy a betegséget a légkondicionáló rendszerből származó baktérium okozta, melyet *Legionellának* neveztek el. Ma már ismeretes, hogy ez a baktérium a vizek és talaj természetes flórájának tagja. Aerob, poláris flagellumokkal mozgó baktérium. Tenyésztése azért volt nehéz, mert növekedéséhez vasat, ciszteint és egyéb aminosavakat igényel. Az általuk okozott „légiós” betegségben elsősorban 50 év feletti, immunhiányos, vagy legyengült szervezetűek betegednek meg. Terjedni emberről emberre nem képes. Valószínűleg csak a kórokozó belégzésével (pl. légkondicionálók fertőzött vízből képződött aeroszolja) terjed.
- A **Neisseria** nemzetségbe veszélyes humánpatogén törzsek tartoznak. Kicsiny kokkoid sejtek, amelyek gyakran kettesével rendeződnek. Obligát aerob-, oxidáz- és kataláz-pozitívok. A *N. gonorrhoeae* a gonorrhea (kankó/tripper) kórokozója. Nemi úton terjed, de az anyáról áterjed magzatára is, s a csecsemők megvakulásával jár. Gerinc- és agyvelőgyulladást okoz a *N. meningitidis*. Ez az orr és garatüregi nyálkahártyán keresztül kerül a szervezetbe.
- A **Thermus** nemzetségbe termofil, pálcika alakú baktériumok tartoznak. Élőhelyeik a különböző hőforrások.
- A **Brucella** gazdasági és egészségügyi szempontból egyaránt fontos genusz. Kokkusz, kokkobacillus vagy pálcika alakúak. Aerobok, de végső elektronakceptoruk az oxigén mellett nitrát is lehet. Kemoorganotrófok, egyes fajaik növekedési faktorokat, ill. szén-dioxidot igényelnek, ami obligát parazita, intracelluláris étetmódjukkal magyarázható. A *B. melitensis* kecskéket, a *B. abortus* teheneket, lovakat, kutyaikat, a *B. suis* sertést, a *B. ovis* juhok, a *B.*

canis kutyát fertőz, s általában vetélést okoz. A brucellózis az állatokkal dolgozóakra veszélyes, de a nem pasztörözött tejjel is terjedhet. Az állatok és a veszélyeztetett emberek vakcinázása igen fontos.

- A ***Bordetella*** nemzetségbe fontos patogén fajok tartoznak. Sejtjeik kicsiny kokkobacillusok. Növekedesükhöz nikotinsavat és szerves kén- és nitrogénforrást igényelnek. A *B. pertussis* a szármásköhögés kórokozója. Cseppfertőzéssel terjed. A szimptómakért a pertussis nevű toxinja felelős. A DI-PER-TE védőoltás második tagja a pertussis elleni aktív immunizálást biztosítja elölt sejtekkel.
- A ***Francisella*** genusz egyik faja a *F. tularensis*, a tularémia kórokozója. Rágcsálókban a fertőzés pestisszerű járványt okoz. Emberre fertőzött hússal, vérszívó rovarokkal, harapással terjedhet, s a bőrön kiütéseket, nyirokcsomó duzzadást, tüdőgyulladást okozhat.

11.3. Fakultatív anaerob Gram-negatív pálcák

Főleg enterobaktériumok, melyek zömmel emberi vagy állati tápcsatornában (pl. vastagbélben) élnek, gyakran peritrich elrendeződésű ostoraik vannak. Elsősorban orvosi szempontból igen nagy jelentőségű, népes csoport (humán patogének és normál flóratagok), továbbá állati és növényi kórokozók is akadnak köztük jelentős számban.

Az enterobaktériumok családjába tartozókon kívül számos egyéb fontos nemzetséget is találhatunk ebben a csoportban.

- ***Escherichia* nemzetség:** az *E. coli* a humán vastagbélben él, az egyik legnagyobb csíraszámú baktérium a székletben, elsősorban védőszerepe van. Humánpatogén törzseik különböző, hasmenéssel járó tüneteket okoznak. A kórfolyamat kiváltásáért hőlabilis exotoxinja felelős. Közegészségügyi indikátor, szabvány által megengedett max. csíraszám élelmiszerben és ivóvízben, ugyanis

jelenléte fekáliás szennyeződésre utal. Vannak olyan patogén törzsei, amelyek a tápcsatornában gyulladást okoznak. A laktózt is képes fermentálni, kevertsavas fermentáció jellemző rá. Peritrich csillózáttal rendelkezik.

- **Salmonella nemzetség:** ét kórformát okoznak eltérő fajai (hastífusz és szalmonellózis), amelyek többek között szennyezett étellel, ivóvízzel terjedhetnek. A *S. typhi* hastífuszt, a *S. paratyphi*, *S. typhimurium* és *S. enteritidis* pedig az enyhébb lefolyású, hastífuszszerű betegséget okozzák. A fertőzés itt is szájon át, fertőzött élelmiszerrel történik.
- **Shigella nemzetség:** a vérhas (dysentheria) kórokozója, nincsenek csillói, nem fejleszt gázt a glükóz kevertsavas fermentációja közben.
- **Klebsiella nemzetség:** kis számban bélflóratag, de van egy tüdőgyulladást okozó tagja is (*K. pneumoniae*), butándiolos fermentációra képes.



13. ábra. *Erwinia amylovora* által létrehozott kórkép

- **Erwinia nemzetség:** butándiolosan fermentál, az ún. tűzelhalás okozója (elsősorban gyümölcsfák, pl. alma-, körtefa betegsége). Az *E. amylovora* az almástermésűek, az *E. carotovora* a burgonya, az *E. chrysanthemi* a krizantém, az *E. stewartii* a kukorica kórokozója.
- **Proteus nemzetség:** szaprofita talajlakók, de az emberi bélflórában is előfordulnak. A *P. vulgaris* a vizeletkiválasztó rendszer súlyos fertőzését okozhatja. Igen erős proteolitikus hatásuk miatt fehérjék rothasztásában fontosak.
- **Yersinia nemzetség:** coccobacillus, a pestis kórokozója is ide tartozik (*Y. pestis*), bolhacsípéssel terjed patkányról emberre, megduzzadnak a nyirokcsomók (bubópestis), még súlyosabb formája a tüdőpestis.

11.4. Anaerob Gram-negatív pálcák

Kérődzők gyomrában gyakoriak, az ottani vegyes mikroflóra (amely pl. a cellulózt is le tudja bontani) tagjai.

Bacteroides nemzetség pálca alakú, propionsavasan fermentál, a humán bélflórában is nagy számban megtalálható. A *B. succinogenes* és *B. ruminicola* kérődzők bendőjében élnek. Az előbbi a cellulóz, az utóbbi a keményítő és pektinlebontást végzi. Egyes fajaik humán kórokozók. A *B. fragilis* különböző gyulladásos megbetegedéseket (tüdő, mellhártya, agyvelő, vakbél) okoz. A *B. melaninogenicus* pedig fogászati problémákat okoz, s mivel fermentációjuk eredményeként vajsavat, proionsavat termelnek, igen kellemetlen szagúak.

11.5. Anaerob Gram-negatív kokkusok

Kisméretű sejtjeik egyedül, párban vagy láncot alkotva fordulnak elő. Nem mozgékony, kemoorganotrof fermentálók. A fermentáció végterméke szén-dioxid és víz. A többi anaerob baktériumokhoz hasonlóan kevésbé ismert csoport. Melegvérű állatok parazitái. Három nemzetség tartozik ide, melyek közül a *Veillonella* fajok az ember

szájüregében, emésztő traktusában gyakoriak. Légző- és emésztő-rendszeri betegségekben betöltött kórokozó voltak, ill. szerepük nem tisztázott.

11.6. Sejtélősködő Gram-negatív baktériumok

Az ide tartozó *Rickettsiales* és *Chlamydiales* rendekbe obligát intracelluláris sejtparaziták tartoznak. Mesterséges táptalajon általában nem tenyésztethők, csak szövetkulturában. Sejtjeik igen kis mereűek. Patogenitásuk miatt a *Rickettsia* és *Chlamydia* nemzetségeket említjük.

A *Rickettsia* fajok emlős sejtek mellett gyakran élnek ízeltlábúakban (tetvek, bolhák, kullancs), melyek egyúttal a vektoraik is. Plazma membránjuk igen permeábilis, s a gazdasejt metabolitjait, koenzimjeit, valamint egy antiport transzportban ATP-jét közvetlenül felveszik és hasznosítják. A *R. prowazekii* okozza a tetvek által terjesztett, bőrküüttéssel és tífuszszerű lázzal járó betegséget, a küüttéses tífuszt, vagy népies nevén flekktífuszt. Enyhébb lefolyású a *R. typhi* által okozott betegség. Az *R. rickettsii*, melyet kullancsok terdesztenek, Észak-Amerikában állatok kórokozói, de az emberre is veszélyesek (sziklás-hegységi láz).

A *Chlamydia* nemzetség fajai ugyancsak obligát sejtparaziták, szénhidrátok lebontására nem képesek, ATP-jüket szintén a gazdasejtből nyerik ADP/ATP csereretranszportban. Ember és melegvérű állatok kórokozói. A *C. trachomatis* a fertőző szemgyulladás, a trachoma kórokozója, de légzőszervi, és genitális gyulladásokat is okozhat. A *C. psittaci* a papagálykór kórokozója, de áttérjedhet emberre is (omitózis), ahol leggyakrabban a tüdő és kiválasztószervek gyulladását okozza.

A *C. pneumoniae* pedig az utóbbi időben az asztmás betegségben szenvedők gyakran végzetes kimenetelű fertőzését okozza.

11.7. Aerob kemolitotrof Gram-negatív baktériumok

Az ide tartozó baktériumok közös tulajdonsága a kemolitotrófia, azaz energiájukat szerves anyagok oxidálásával nyerik, s szénforrásuk a szén-dioxid, azaz litoautotrófok. A felhasznált szerves

molekula alapján négy csoportba oszthatók: nitrifikálók, szintelen kénbaktériumok, hidrogént oxidálók és fémeket oxidálók. Itt tárgyaljuk továbbá a magnetotaktikus baktériumokat.

A nitrifikáló baktériumok változatos alakúak, csillókkal mozognak. Gyakran kiterjedt citoplazmatikus membránnal rendelkeznek. Ökológiai jelentőségük óriási, hiszen a nitrátot a növények képesek hasznosítani. A *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*, *Nitrospina* fajok az ún. nitritoxidálók. A *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio* fajok ammónia oxidálók.

A szintelen kénbaktériumok (kén-oxidálók) is egy meg lehetőségen diverz csoport. Közös vonásuk, hogy energiát elsősorban szervesetlen kénvegyületek (kénhidrogén, elemi kén, szulfidok, szulfitok, tioszulfát) oxidálásával nyerik.

A *Thiobacterium*, *Macromonas*, *Thiovulum* és *Thiospira* fajok kénhidrogén oxidálásával a sejten belül hoznak létre elemi ként tartalmazó zárványokat. A *Thiobacillus* és *Thiomicrospira* fajok a sejten kívül hoznak létre kén depozitokat.

A *Thiobacillus* fajok oxidációjának végterméke áztatásban szulfát, s ezzel rendkívül savas környezetet hoznak létre. Az általuk termelt sav a beton és vasszerkezeteket korrodálja. Az elemi kén vízoldhatóvá tételével viszont hasznosak. Ércfémföldtartalmának kinyerésére is használják.

A vas- és mangánoxidáló baktériumok elsődleges energiaforrása a kétértékű vas és mangán háromértékűvé oxidálása. Sejtjeikben feltűnőek a vas és mangán-oxid-lerakódások. A *Siderococcus* és *Siderocapsa* nemzetségek az ismertebbek.

11.8. A sarjadzó és/vagy függelékes baktériumok

Egysejtként, vagy soksejtes asszociátumként fordulnak elő. Felosztásuk a függelék típusa és szaporodásuk alapján történik. A függelék lehet része a sejtnak, s ekkor benne hifaszerű nyúlványban citoplazma található (prostheca), ill. lehet a sejthez kapcsolódó olyan képződmény, amely nem része az élő sejtnak (nonprostheca). Az osztódás alapján sarjadzó vagy haránt hasadással osztódó csoportokat különböztetünk meg.

A *Hyphomicrobium* nemzetség fajai kemoheterotróf, sarjadzó aerobok, melyek gyakran tapadnak szilárd felülethez. Ovális sejtjeik hosszú, nyélszerű hifakinövést hoznak létre. A hifa végént örténik meg a bimbózás. A bimbó érésével rajta flagellum jön létre, és szeptumképződéssel a sarjsejt leválik. További különleges sajátosságuk, hogy fakultatív metilotrófok.

Nem sarjadzó hifaszerű függelékkal rendelkezők a *Caulobacter* fajok. Osztódáskor a sejt megnyúlik, a nyéllel ellentétes végén flagellum képződik s a sejt aszimmetrikusan kettéfűződik, s az utódsejt leválik. Főként édesvizekben fordulnak elő.

Nem celluláris függelékkal rendelkező, sarjadzással osztódók a *Planctomyces* fajok. Vízi mikroorganizmusok. Aggregációkor jellegzetes rozetta szerkezetet hoznak létre. Elsősorban szerves anyagokban gazdag vizekben szaporodnak, az eutrofizáció indikátorai.

Nem sarjadzó, nem celluláris függelékkal rendelkező fajok tartoznak a *Gallionella* nemzetségbe. Obligát kemolitotrófok, energiát a vas oxidálásával nyernek. A nyélszerű sejtfüggelék jelentős része szervesetlen anyag, elsősorban vasoxid. Telepeik nagyobb része ez a szervesetlen anyag, mellyel edények falára tapadnak.

11.9. Csúszva mozgó baktériumok

11.9.1. Csúszva mozgó, termőtestet képező baktériumok (Mixobaktériumok)

Mintegy 30 faj tartozik ide. A legtöbb faj ragadozó, antibiotikumokat választanak ki, amivel a többi baktériumot elpusztítják, majd pedig emésztőenzimeket, amelyekkel lebontják azok makromolekuláit, amelyeket aztán hasznosítanak. Életciklusuk igen komplex, sok tekintetben hasonlít a nyálkagombák életciklusára. Ha megfelelő a tápanyag-ellátottság, a szilárd felületeken elcsúszva mozognak, nyálkás váladékot hagyva hátra. Ha a tápanyag kimerülően van, termőtestet hoznak létre, mely feltűnő színű a pigmenttermeléstől. A termőtestben nyugvó mixospórák jönnek létre.

11.9.2. Csúszva mozgó, termőtestet nem képező baktériumok

Morfológiailag és fiziológiailag is rendkívül eltérő, egymással rokonsági kapcsolatban sem álló fajok tartoznak ide, melyek közös sajátossága a csúszva mozgás, mely egyes fajok esetén igen gyors. Cellulóz, kitin és más makromolekulák lebontására képesek, s a mozgékonyság a táplálékszerzésben előnyös. Mozgásukkal mindig az ökológiailag legmegfelelőbb pozícióba (fény, oxigén, kénhidrogén, hőmérséklet, stb.) igyekeznek kerülni. Jól ismert reprezentánsuk a *Cytophaga* nemzetség, melynek igen sok faja van. Egyesek élő sejteket is megtámadnak és „fagocitálnak”.

Ugyancsak ismertebbek a *Beggiatoa* nemzetség fajai, melyek mixotrófok, redukált kénvegyületeket hasznosítva kemolitotrófok, szerves anyag jelenlétében viszont aerob kemoorganotrófok.

11.10. Anoxyphotobacteria (Gram-negatív, fotoszintetizáló, oxigént nem termelő baktériumok)

Az ebbe az osztályba tartozó bíbor és zöld baktériumok közös tulajdonsága, hogy oxigénigény és oxigéntermelés nélkül fotoszintetizálnak. A fotoautotrófia mellett azonban egyesek mixotrófok, szerves anyag jelenlétében heterotrófok, de van alternatív kemoautotróf is. Elektron donorként nem víz, hanem kénhidrogén, hidrogén, vagy szerves anyagok szolgálnak, s a szén-dioxid megkötése a redukzív pentóz foszfát és redukatív citromsavcikluson keresztül történik. Mindegyik tartalmaz bakterioklorofillt, karotenoidokat, citokrómot és vastartalmú, nem hem típusú fehérjéket.

11.10.1. Bíbor baktériumok

Alakjuk igen változatos, gömbölyded, pálcika, spirális, vibroid lehet. Egyes fajaik flagellumokkal mozognak. Fotoszintetizáló membránrendszerük a citoplazma membrán intracelluláris betüremkedései. Három nagyobb csoportba oszthatók.

- **A bíbor kénbaktériumok** obligát anaerobok és többnyire fotolitotrófok. Elektronodonorként kénhidrogént használnak, s a ként

intracelluláris granulumok formájában raktározzák, de képesek tovább oxidálni szulfáttá. A legismertebb ide tartozó nemzetségek a *Chromatium*, *Thiocystis*, *Thiospirillum*, *Thiocapsa*.

- Az ***Ectothiorhodospiraceae* család** egyetlen nemzetsége az ***Ectothiorhodospira***, melynek spirális, poláris flagellumokkal mozgó sejtjei a ként extracellulárisan halmozzák fel.
- A **bíbor nem-kénbaktériumok** ugyancsak változatos morfológiájúak. Spirális, pálcika, félkör, teljes kör alakúak lehetnek. Általában anaerob fotoorganoheterotrófok, elektron- és szénforrásként szerves molekulákat használva. Fény hiányában kemoorganoheterotrófok. Ismertebb nemzetségeik a *Rhodospirillum*, *Rhodobacter*, *Rhodocyclus*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodophila* és *Rhodomicrobium*.

11.10.2. Zöld baktériumok

Ezeknek is két nagy csoportjuk van, a **zöld kénbaktériumok** és a **zöld nem kénbaktériumok**. Morfológiailag igen sokfelék, kokkus, pálca, vibroid és fonalas egyaránt lehet. A zöld kénbaktériumok obligát anaerob, fotolitoautotrófok. Elektronforrásuk a kénhidrogén, s a keletkező ként a sejten kívül halmozzák fel. Fotoszintetizáló pigmentjük a sejten belüli vezikulumokban van. Különösen jól szaporodnak anaerob, szulfidgazdag környezetben.

11.11. *Oxyphotobacteria* (Gram-negatív, fotoszintetizáló, oxigént termelő baktériumok)

Az ide tartozó baktériumok az algákhoz, mohákhoz és magasabbrendű növényekhez hasonlóan aerob fotoszintetizálók, elektront vízbontásából nyernek, és oxigént termelnek. Obligát aerobok, és kettős autotrófok, mivel nemcsak a szén-dioxid, hanem a nitrogén megkötésére is képesek. A *Cyanobaktériumok* és a *Prochloron* típusú baktériumok tartoznak ide. Az előbbieket klorofill a-t és fikobilineket, az utóbbiak klorofill a-t és b-t tartalmaznak. A fikobilinek kékeszöld

színű fenyelnyelő pigmentek, s erre utal a „kékeszöld alga” elnevezésük. Az elnevezés azonban az alga szóhasználat miatt helytelen, mivel ezek prokarióták.

A *Cyanobaktériumok* igen diverz csoport, több mint ezer fajuk ismert. Egysejtű, kisebb telepet képző és fonalas fajaik is vannak.

Kettéhasadással, bimbózással, fragmentálódással és egyetlen sejt többszörös osztódásával is szaporodhatnak. Sok fonalas *Cyanobaktérium*ban a nitrogénfixálás speciális sejtekben, a heterocisztákban megy végbe. A sejt szerkezete teljesen átalakulhat, mindent a nitrogénfixálásnak rendel alá. Genomját elveszíti, vastag sejtfalat szintetizál, fotoszintetizáló membránjaitól teljesen átrendezi, megszabadul a fikobilinektől.

Már a Prekambriumban megjelentek, a földi légkör oxigénnel való ellátása nekik köszönhető. Sokféle környezeti feltétel mellett képesek növekedni. Termofil és hidegtűrő fajaik egyaránt ismertek. Jelentős szerepük van a meleg évszakokban vizeink eutrofizációjában. Az *Anacystis* és *Anabaena* fajok a tápanyagban dús vizek felszínén gyorsan elszaporodnak. Pusztulásuk igen sok szerves anyag kibocsátásával jár, s ez elősegíti heterotróf baktériumok elszaporodását, ami a víz oxigéntartalmát olyan mértékben lecsökkenti, hogy a halak és más vízi élőlények elpusztulnak.

Néhány ismertebb nemzetségük a *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Dermocarpa*, *Anabaena*, *Anacystis*, *Nostoc*, *Synechococcus*, *Cylindrospermum*.

12. II. DIVÍZIÓ (*FIRMICUTES*, GRAM-POZITÍV BAKTÉRIUMOK)

Rendkívül heterogén, nagy gyűjtőkategória. Közös tulajdonságuk a vastag peptidoglükán sejtfa. Külső membránjuk, és endotoxinjuk nincs. Gömb, pálcika és fonalas megjelenésű, mozgó és mozgásra nem képes, tokos és tok nélküli baktériumok tartoznak ide. Energia-nyerésük kemoorganotróf. Aerob, anaerob és fakultatív anaerobok egyaránt tartoznak a divízióba. Sok képviselőjük bír gyakorlati jelentőséggel.

12.1. Gram-pozitív kokkuszok

Aerobok vagy fakultatív anaerobok.

- ***Micrococcus* nemzetség:** obligát aerob, a bőr normál flórájához is hozzátartozik. Nincs a sejtfaikban teichonsav, széles körben elterjedt szaprofiták. A sejtek egyesével, kettesével, vagy akár nyolcas csoportokban is elhelyezkedhetnek, sőt gyakran szabálytalan alakzatokban is; méretük 1-3 μm között mozog. Jellegzetesen pigmentáltak a telepeik: sárga, narancssárga, piros vagy rózsaszín is lehet. Nem erjesztenek, a talajban, vizekben, illetve a levegőben is megtalálhatóak.
- ***Staphylococcus* nemzetség:** fakultatív anaerob, sejtjeik mérete 0,5-1,5 μm , szőlőfürtre emlékeztető alakú nagyobb csoportosulása van (valójában inkább amorf), p-hemolizál. A *S. aureus* aerob körülmények között arany-sárga színű pigmentet termel, innen ered a neve. Gennykeltő baktérium, súlyos lokális gyulladásokat okoz, ráadásul számos antibiotikummal szemben (pl. penicillin) rezisztens. Emberekben és emlősökben kis számban a bőrön, az orr és a garat nyálkahártyáján is él normál flóratagként.
- ***Deinococcus* nemzetség:** az ide tartozó fajok aerob, kataláz pozitívak, sejtjeik párban vagy tetrádokban fordulnak elő. Különleges sajátosságuk a membránjuk összetétele. Sejtjeik mind a kiszáradással, mind a sugárzással szemben igen rezisztensek.
- ***Streptococcus* nemzetség:** gennykeltő baktérium, súlyos gyulladásokat okozhat, amelyek ráadásul szóródnak a szervezetben. Anaerob anyagcsere (tejsavas fermentáció) jellemző rájuk, de

többségük aerotoleráns, sejteik változó hosszúságú láncokba rendeződnek. A *S. pyogenes* a gyermekágyi láz kórokozója, P-hemolizál (skarlatot is okozhat ugyanez a faj, ha megfelelő provírus van benne). *S. pneumoniae* tüdőgyulladást okoz, transzformáció felfedezése ebben a mikrobában, a-hemolizál. Egyéb fajtái a szájüregben élnek és ott tokot képeznek, plakk keletkezik a fog felszínén, ez megkövesedve a fogkő. Tejsavasan erjeszt a plakkban, melybe más savképzők is beköltözhetnek fogszuvasodást (caries) okozva.

- ***Enterococcus* nemzetség:** bélben él, eredendően nem patogén, indikátorként is használható. Ugyanakkor bizonyos törzsei alkalmmal patogénné válva gyulladásokat okozhatnak.
- ***Lactococcus* nemzetség:** tejsavat termel, tejiparban pl. joghurt, kefir gyártásra használják.
- ***Leuconostoc* nemzetség:** ovális sejtek, jellegzetes tokanyagából dextránt nyernek ki, ami elválasztástechnikában (gélek) és orvosi gyakorlatban is használatos.
- ***Sarcina* nemzetség:** szaprofita talajbaktérium, köbös elrendezésű (8 sejt).

12.2. Endospóráképző Gram-pozitív pálcák és kokuszok

Az endospóra különleges kémiai szerkezetű, összetételű és tulajdonságú kitartó képlet.

- ***Bacillus* nemzetség:** heterotrófok; légköri N₂-t megkötők és denitrifikálók is vannak köztük, többségük mezofil (de termofilek is akadnak). Viszonylag kicsi spórák, nem változtatják meg a sejt alakját; morfológiai jellemző, hogy hol spórázik. Aerob vagy fakultatív anaerob, utóbbi esetben denitrifikál. Néhány faj antibiotikumot termel (pl. bacitracin), alapvetően szaprofiták, humán kórképet ritkán okoznak, kivétel a *B. anthracis* (lépfene). Az antrax elsősorban juhok, szarvasmarhák, ritkán lovak betegsége, emberre ritkán terjed. Az emberi szervezetbe sebfertőzéssel, enterális úton vagy inhalációval kerülhet. A szervezetbe kerülve exotoxin

termelésével bőr-, bél- vagy tüdőantraxot okozhat. A *B. cereus* a leggyakoribb *Bacillus*faj, mely talajban, levegőben egyaránt előfordul. Egyes ételekben elszaporodva (rizs, krumpli, húsok) enterotoxin-termeléssel bél- és emésztőszervi panaszokat okoz. A *B. thuringiensis* pl. az endospóráképzés során egy, a spóra mellett elhelyezkedő kristályos fehérjét termel, amely a Lepidopterák ellen igen hatásos. Ez egy olyan toxin, amely a hernyók lúgos béltraktusában feloldódva az epithelialis sejteket tönkreteszi. A bél-tartalom a keringésbe jut, melynek következtében a hernyók elpusztulnak.

- ***Clostridium* nemzetség:** obligát anaerob, deformálja a képződő spóra a sejtet (pl. dobverő alak), van talaj- és tápcsatornalakó is. A *C. botulinum* a botulizmus (kolbászmérgezés) kórokozója, nem tud összehúzódní a harántcsíkolt izom a baktérium által termelt idegméreg (valódi toxin) hatására; a betegség ételmérgezés, nem képes a szervezetben szaporodni a mikroba. A *C. tetani* lóbélben él természetes módon, a lótrágyával kerül a földbe a spóra, sokáig elvegetál ott. Földdel szennyezett sérülésnél léphet fel a tetanusz: a baktérium idegmérget termel, ami merevgöröcsöt okoz (nem tud a harántcsíkolt izom elernyedni). Oltás ellene inaktivált toxinnal történik (Di-Per-Te). A *C. perfringens* gázgangrénát (más néven sercegő üszkösödést) okoz. A humán bélben normálisan jelen van, de ha átjut egyéb szövetekbe a kórkép felléphet.

12.3. Szabályos endospóráat nem képező Gram-pozitív pálcák

- ***Lactobacillus* nemzetség:** bár nincsen kataláza, mégis egész jól tűri az oxigént (aerotoleráns anaerob, tejsavas erjedés). Szabályos pálcá, acidofil, normális flóratag bőrön, bélben, hüvelyben. Tej- és savanyítóipari alkalmazása is jelentős.
- ***Listeria* nemzetség:** ritkán okoz betegséget, de akár agyhártyagyulladás is előfordulhat, ill. magzatkárosító hatása van. Pszichrotoleráns (hidegtűrő): hűtőszekrényben is megmaradhat.

Humánpatogén fajok az *L. monocytogenes*, mely agyhártyagyuladást okoz. Állatokkal dolgozók gyakrabban fertőződhetnek, mivel állatól emberre terjedhet.

- ***Erysipelothrix* nemzetség:** egyik faja az *E. rhusiopathiae* a sertsorbánc kórokozója.

12.4. Szabálytalan, spórátlan Gram-pozitív pálcák

- ***Corynebacterium* nemzetség:** szabálytalan pálcá, endospórát nem képez. A sejt az egyik végén megvastagodott (polifoszfát szemcsék), fala mikolsavat tartalmaz; a szabálytalan alakokat kóriniform baktériumok néven szokás összefoglalni, a sejtszótódás tökéletlensége miatt lehet V, Y, L, T alakú is. A *C. diphtheriae* a torokgyík kórokozója, ellene van védőoltás (**Di-Per-Te**). A betegségért a baktérium exotoxinja felelős, melynek génjét egy temperált bakteriofág hordozza. Több növénypatogén fajuk is ismeretes. A *C. michiganense* a paradicsom, a *C. insidiosum* a lucema, a *C. sepeconomicum* pedig a burgonya hervadásának kórokozója.
- ***Propionibacterium* nemzetség:** anaerob anyagcseréjű (propionsavasan fermentál), pleomorf baktérium, sajtgyártásban és a silózásban használják (pl. Pannónia-sajt).
- ***Actinomyces* nemzetség:** fonalas, a sejtek között van kommunikáció (hifa = 1 fonal, micélium = hifaköteg), a sejtek közötti szeptum vagy hiányzik vagy porózus. Többségük talajlakó, csak szubsztrátmicéliumuk van, régebben gombának tekintették („sürgögomba”). Optimális növekedésükhöz szén-dioxidot igényelnek. Fermentációjuk végeredménye hangyasav, ecetsav, tejsav, borostyánkősav. Leggyakrabban melegvérű állatok szájüregében fordulnak elő, ahol a fogak megbetegedését okozzák.

12.5. Mycobakteriumok

Sok lipid (mikolsav és származékai) van a sejtfalban, részlegesen fonalas, lófarokstruktúra. Nagyon lassan szaporodik, a kórokozók esetében lassan fejlődik ki a betegség.

A *M. tuberculosis* a TBC leggyakoribb kórokozója (védőoltása BCG, legyengített törzs), de a lepra kórokozója is ide tartozik. Légúti vagy emésztőtraktuson keresztül fertőz, de a vér- és nyirokrendszeren keresztül a többi szervre is áttérjed. Nevét onnan kapta, hogy a szervezet immunválasza következtében csomókat alkot a megtámadott szövetekben. Valamikor félelmetes népbetegség volt, s a szakirodalom Morbus Hungaricusként tartotta számon, ami a magyar populáció nagyarányú fertőzöttségére utalt. Az elmúlt évtizedekben visszaszorult, de újabban a megbetegedések száma megint emelkedik.

A *M. bovis* a szarvasmarhák, az *M. avium* a baromfi tuberkulózisának kórokozója. A *M. bovis* gyakran emberre is áttérjed. Sokáig a fertőzött szarvasmarha-állomány volt a fertőzőforrás, a nyers-tej fogyasztásán keresztül.

A *M. leprae* a lepra kórokozója. Jelenleg is mintegy 10 millió ember szenved ebben a szörnyű, korábban egyáltalán nem gyógyítható betegségben, elsősorban a trópusokon. A kórokozó nem tenyészthető, immunitás nem jön létre. A fertőzés első jelei a bőrön tapasztalhatók, kisebb léziók formájában, majd a perifériás érzőidegeket támadja meg. Később az idegi degeneráció folytatódik, egész végtagok halnak el, s spontán amputáció is bekövetkezik.

12.6. Nocardia-formájú Actinomyceták

- **Nocardia nemzetség:** fonalas, aerob anyagszere, van légmicéliuma, azokon konídium (fonalvégről lefűződő szaporítóképlet) képződik. Gram-pozitív, de inkább savállóan festhető. Szerves anyagokat nagy aktivitással (még szénhidrogéneket is) képes lebontani, szennyezések eltávolítására is lehet használni. Talajban és élővizekben egyaránt előfordulnak. Egyes fajaik az alifás és aromás szénhidrogének lebontására képesek, ezért olaj- és üzemanyag-szennyezések eltávolítására használhatók. Néhány fajuk opportunista patogén, elsősorban sebfertőzéseket okoznak, tüdőgyulladást okozó fajai is vannak.

- ***Rhodococcus* nemzetség:** kokkusz vagy rövid pálcika alakú aerob fajok tartoznak ide, melyek sokféle szervesanyag lebontására képesek. Némely fajok kórokozóként is ismert.

12.7. Streptomycesek

A Streptomyceták közé négy nemzetség (*Streptomyces*, *Streptovermicillium*, *Kineosporia*, *Sporichthya*) tartozik, melyek közül kiemelkedő jelentőségűek a *Streptomyces*ek. Rendkívül sok fajuk ismert, bár ebben kétségtelen szerepe van annak, hogy antibiotikum-termelésük miatt minden egyes új izolátumot új név alatt igyekeztek leírni, így valójában ugyanaz a törzs több név alatt is szerepel. A *Streptomyces* taxonomia fejlődésével a törzsek száma jelentősen csökkent és várhatóan tovább csökken. Az ide tartozó fajok szigorúan aerobok, kemoorganotróf, kataláz pozitívak és nem mozgékony spórákat képeznek. A spórák általában pigmentáltak.

A *Streptomyces*ek igen fontosak ökológiai és gyógyászati szempontból is. Talajlakó baktériumok, ahol fontos szerepük van a mineralizálásban. Igen sokféle exoenzimet termelnek, melyekkel a pektint, kitint, keratint, latexet és egyéb szerves molekulákat is képesek lebontani. *Streptomyces*ek termelik a ma ismert és gyakorlatban alkalmazott antibiotikumok (aminoglikozidok, tetraciklinek, kloramfenikol, makrolid, polién, második generációs β -laktám stb.) mintegy 60-70%-át.

Bár legtöbb fajuk nem patogén, találhatunk köztük növény (*S. scabies* a burgonyagumó varasodását okozza) és humánpatogán (*S. somaliensis*, amely actinomycetómát okoz) fajok is.

13. III. DIVÍZIÓ (*TENERICUTES*)

Mollicutes (sejtfal nélküli baktériumok) osztályába tartozó eubaktériumok közös megkülönböztető jegye a sejtfal hiánya, ezért Gram-negatív festődésűek. A sejtfal hiánya miatt további közös sajátságuk az ozmotikus érzékenyséjük, penicillin és más sejtfalszintézisre ható antibiotikumokkal szembeni rezisztencia, pleomorfizmus és könnyen deformálható alak, ami lehetővé teszi, hogy baktériumszűrőkön is átmenjenek. További közös tulajdonságuk, hogy eukarióta sejtek parazitái, s komplex növekedési faktor igényük (aminosavak, zsírsavak, nukteotidok, szterol) van.

Telepeik kicsik, lassan fejlődnek, s szilárd táptalajon. Bár sejtfaluk nincs, membránjukhoz kívülről poliszaharid kapcsolódik, melynek szerkezeti funkciója lehet, s részben kompenzálja a sejtfal hiányát. Általában mozgásképtelenek, de néhány fajuk csúszva változtatja a helyét, illetve ismét mások spirálisan elhelyezkedő fonalszerű képletek segítségével forogva mozognak.

Az ide tartozó öt genusból négynek a metabolizmusa fermentatív, aminek oka a kinonok és citokrómok hiánya. Elektrontranszport rendszerük csökevényes volta miatt, a NADH regenerálását a citoplazmában (vagy az *Acholeplasma* fajok esetén a membránban) elhelyezkedő NADH oxidáz végzi. Sejtosztódásuk kettéhasadással, vagy fonalszerű növekedést követő fragmentálódással történik.

- A ***Mycoplasma* nemzetség** fajai (közel 70 fajuk ismert) fakultatív anaerobok. Emlősök és madarak parazitái. Elsősorban a légző (*M. hominis*, *M. salivarum*, *M. orale*) és nemiszervek, beleértve a húgyhólyagot és húgyvezetékét is (*M. genitalia*) nyálkás hárttyait, valamint az ízületek megbetegedéseit okozzák. Leggyakoribb általuk okozott megbetegedés a pleuropneumonia. A tüdőgyulladást okozó *Mycoplasma* fajokat együttesen PPLO (pleuropneumonia like organism) betűszóval jelölik.
- Az ***Ureaplasma* nemzetség** fajai energiájukat karbamid hidrolízisével nyerik. Növekedésüknek jobb, ha szén-dioxidban gazdag

a légtér, feltehetőleg azért, mert ez részben semlegesíti a karbamid hidrolízisekor képződő ammóniát. Mikroaerofilek. Emberek és állatok légzőszerveiben, szemében és urogenitális szerveiben élnek, azok gyulladásos megbetegedéseit okozzák.

- Az ***Acholeplasma* nemzetség** fajai növekedésükhöz szterolt nem igényelnek. Különbözve ezzel az összes többi *Mollicutes*-től.
- A ***Spiroplasma* nemzetség** fajai elsősorban ízeltlábúak és növények kórokozói, azok hemolimfájában, gyomrában, nyálmirigyében, illetve növények szállítószöveteiben találhatók. A *Spirocheta* fajok mozgására emlékeztető mozgásra képesek, amit feltehetőleg a bennük található kontraktilis fibrillumnak köszönhetnek.
- Az ***Anaeroplasma* nemzetség** tagjai szigorúan anaerob baktériumok, melyek a szarvasmarhák és juhok bendőjében élnek. Fermentációjuk során különböző savakat (hangyasav, ecetsav, propionsav, tejsav, borostyánkősav), valamint etanolt és szén-dioxidot termelnek. Néhány fajuk bakteriális sejtfalbontó enzimeket termel.

14. IV. DIVÍZIÓ. (*MENDOSICUTES*)

Archaeobacteria (Ősbaktériumok)

Ebbe az osztályba olyan prokarióták tartoznak, melyek morfológiailag és fiziológiailag is meglehetősen eltérő tulajdonságúak. Az eubaktériumoktól jelentősen eltérő tulajdonságokkal (sejtfalösszetétel, sejtmembrán-összetétel, genomszerveződés és olyan molekuláris bélyegek stb.) rendelkeznek. Olyan extrém környezeti viszonyok mellett élnek, ahol a legtöbb élőlény elpusztul. Bár prokarióták, de filogenetikailag nagyon eltérnek az Eubaktériumoktól. A legvalószínűbb, hogy egy közös ősből származnak, de külön úton fejlődtek. Alakjuk szerint lehetnek kokkuszok, pálcák, fonalas vagy mycoplasmaszerű képletek. Festődésük szerint G⁺ és G⁻ fajaik egyaránt vannak. A Bergey's Manual öt nagy csoportba osztja őket, amelyeken belül további tagolás történik.

14.1. I. csoport: Metántermelő (metanogén) ősbaktériumok

A föld légkörében előforduló metán 8-9%-át ezek termelik. Közös sajátosságuk, hogy szén-dioxid (egyes fajok szén-monoxid vagy hidrogén) metánná történő redukálásával nyernek energiát, elektron-donorként hidrogént használva. Metabolizmusukhoz számos olyan kofaktorról rendelkeznek, amelyek más baktériumokban nem fordulnak elő. Gram-festés és morfológia alapján heterogén csoport. Szerves anyagokban gazdag anaerob környezetben (mocsarak, tavak üledéke, kérődző állatok bendője) élnek. Szennyvíztisztító üzemekben energiaforrásként szolgáló metángáztermelésre használják őket.

A *Methanobacterium* nemzetségbe pálcika alakú, endospórát nem képező, nem mozgékony, zömmel mezofil, anaerob fajok tartoznak. Néhány fajuk (*M. ruminantium*) fontos tagja a kérődzők bendőflórájának. Sejtfaluk pszeudomurein, általában G⁺ festődésűek. Ugyancsak fontos tagja a kérődzők bendőflórájának a *Methanobrevibacterium* nemzetség más tagjai.

A *Methanococcus*ok sós mocsarakban, tengeri környezetben élnek, sejtfaluk fehérjékből épül fel, sejtheik poláris flagellumokkal mozognak. G– festődésűek.

A *Methanospirillum* fajoknak spirális vagy görbült pálcika alakja van. Igen mozgékony sejtheik fala fehérjékből épül fel. G– festődésűek. Főleg csatornaiszapból izolálhatók.

A *Methanosarcinák* kokkusz alakú sejthei csomagokba rendeződnek. Szennyvíziszapban és a bendőben is előfordulnak. G+ festődésű sejtheik heteropoliszaharidból és fehérjékből álló sejtfallal rendelkeznek. Hidrogén és hangyasav mellett metanolt, metilamint és acetátot is hasznosítanak. A légköri oxigén megkötésére is képesek.

A *Methanotrix* és *Methanobolus* fajok sejthei hosszú láncokat alkotnak. Szénforrásként acetátot is hasznosítanak. Tartalék tápanyagként polifoszfátot és glikogént halmoznak fel.

A *Methanoplanaceae* család tagjai peritrich ostorral mozgó, széles, lapos sejtekkel rendelkeznek. Egyes fajaik szén-dioxidból nem, csak metanolból képesek metánt termelni.

14.2. II. csoport: Szulfátredukáló ősbaktériumok

Egyetlen nemzetségük ismeretes, az *Archaeoglobus*. Gram-negatív festődésű, sejtfaluk glükoprotein-egységekből épül fel. Elektrodonorként hidrogént, tejsavat, hangyasavat, glükózt is képesek hasznosítani. Elektronakceptorként szulfát, szulfit, tioszulfát szolgálhat, de elemi kén nem.

14.3. III. csoport: Fokozottan sótűrő (halofil) ősbaktériumok

Nagy sókoncentrációjú tavakban, holt tengerekben fordulnak elő. Növekedésükhöz legalább magas NaCl-koncentrációt igényelnek. Jellegzetes tulajdonságuk a vörös színük, amelyet a membránjukban lévő karotenoidoknak köszönhetnek. Ezek a pigmentek védik a sejteket természetes élőhelyükön a nagy intenzitású fenyőtől. Bakterio-

rodopszint tartalmaznak membránjukban, amely fény hatására protonpumpaként működik, s a kialakuló protongradiens ATP-szintézisre használható. Aerobok, vagy fakultatív anaerobok. Általában kemoorganotrófok, s legjobban pepton tartalmú táptalajon nőnek, mivel aminosavak a legjobb szén- és energiaforrásaik.

Jellegzetes képviselőik a G⁻ festődésű, mozgásra képtelen *Halococcus* és az ugyancsak G⁻, poláris flagellumokkal mozgó *Halobacterium* fajok.

Ugyancsak magas sókoncentrációt és lúgos pH-tartományt igényelnek a *Natrobacterium* és *Natrococcus* fajok, melyek Afrika nagy sós tavaiban élnek.

14.4. IV. csoport: Sejtfal nélküli ősbaktériumok

Evolúciós szempontból is igen érdekes mikroorganizmusok. A *Thermoplasma* nemzetség fajai tartoznak ide, melyek valószínűleg az első élőlények ma is élő kései leszármazottai. Valódi sejtfal nélküli, G⁻ festődésű, fakultatív aerobok. A sejtjeiket határoló sejtmembrán 5–10 nm vastagságú, mannózban gazdag glikoproteint és lipopoliszaharidot tartalmaz. Ez a két vegyület együtt valószínűleg egy poliszaharid réteget hoz létre a sejtek felszínén, s ez rigiditást kölcsönöz nekik. Szénbányák meddőhányóiból izolálható, természetes élőhelyük feltehetőleg a felszínhez közeli, átlevégőzt szénréteg.

14.5. V. csoport: Erősen hőtűrő (termofil) ősbaktériumok

Az ide tartozó fajok közös sajátása az extrém hőtűrésük. Hőmérsékleti optimumuk 70–105°C. Sós kéngőzös hőforrásokban élnek.

A *Thermococcus* és *Pyrococcus* nemzetségbe tartozó fajok a tenger alatti kénkiválások kömyékén élnek, G⁻, szigorúan anaerob élőlények. Mixotrófok. Kén és hidrogén hasznosítására képes litotrófok, de szerves szubsztátok fogyasztására is képesek.

A *Thermoproteus* fajok hosszú vékony sejtjei 90°C-on élnek, s sejtfalukat kívülről glikoprotein réteg alkotja. Mozgásképtelen, kemolitotróf élőlények, hidrogént és elemi ként használnak energiaforrásként, szén-dioxidot pedig szénforrásként.

A *Desulfurococcaceae* családba tartozó *Desulfurococcus*, *Staphylothermus* fajok flexibilis sejtfallal rendelkező kokkuszosk, némelyek ostorral mozognak. Anaerobok, fermentáció során szénforrásként fehérjék, peptidek szolgálnak. Kemoorganotróf energianyerésük során hidrogént és elemi ként használnak.

A *Sulfolobus* fajok litotróf és organotróf táplálkozásra egyaránt képesek. Fakultatív vagy obligát anaerobok. Extrém termoacidofilek. Litotróf körülmények között kénhidrogént, ként, szulfidokat szulfittá oxidálnak. Organotróf energianyerésük során cukrokat, aminosavakat egyaránt hasznosítanak. Savas kéngőzös hőforrásokban élnek.

15. A GOMBÁK ORSZÁGA (REGNUM FUNGI)

15.1. A gombák általános jellemzése

Az eukarióták közé tartozó gombák nélkülözhetetlen szerepet töltenek be a természet körforgalmában. Heterotróf élőlények, elhalt vagy élő szervezetek lebontásával nyerik anyagcseréjükhöz szükséges energiát. Többségük szaprofita, de néhány patogén fajukról is érdemes említést tenni, melyek önmagukban vagy az általuk termelt toxinok révén okoznak megbetegedéseket.

Felépítésük változatos, egysejtű és többsejtű fajaik sejtfalát kitin alkotja. Ivartalan szaporodásuk során a fonalas gombák hosszú fonalakat, hifákat képeznek a végükön lévő csúcssejtek szaporodásával, ide tartoznak például a penészek. A sarjadzó gombák nagy, kerekded alakúak, táptalajon a baktériumokhoz hasonló telepeket képeznek. A dimorf gombák hőmérséklet függvényében hol penész, hol sarjadzó gombák módjára szaporodnak. A gombák ivaros szaporodásakor a sejtek összeolvadnak.

Tenyésztésük speciális táptalajokon történik, általában az enyhén savanyú pH-t és a 20°C alatti hőmérsékletet kedvelik. Ellenállóképességük a baktériumokénál magasabb a pH és a hőmérséklet tekintetében egyaránt, elpusztításukhoz a fertőtlenítőket magasabb koncentrációban kell alkalmazni.

Számos lágyszárú növény és fa esetében a gyökéren kialakuló gombaszövedék, a mikorrhiza jelentősen hozzájárul a felszívó felület kialakításához. Nedves talajokban megnöveli a tápanyagok, különösen a foszfor elérhetőségét a növény számára, száraz környezetben elősegíti a víz felvételét.

Az ökológiai szerep mellett ki kell emelni a gombák óriási ipari jelentőségét is. Az élelmiszeriparhoz tartozó erjedésiparokban az élesztőgombák (elsősorban a *Saccharomyces* fajok) etanolos erjesztését használják ki, amelynek segítségével a tradicionális alkoholos italokat (sör, bor, pezsgő, égetett szeszek), valamint a kelesztett pékárukat állítják elő. A fonalgombák (elsősorban a penészgombák) számos olyan gyógyszeriatilag fontos szekunder metabolitot

termelnek, amelyeket világszerte nagy mennyiségben gyártanak fermentációval (pl. antibiotikumok, vérzéscsillapítók, hormonok). Ugyancsak gombák segítségével állítanak elő az iparban egyes szerves savakat (pl. citromsav, glükonsav), valamint számos enzimet (pl. glükóamiláz, pektináz, celluláz, proteázok, rennin stb.).

A gombák sejt- és telepmorfológiájukat tekintve a legváltozatosabb élőlénycsoportot képviselik. Megtalálhatók közöttük az egysejtű szervezetektől kezdve a soksejtű fonalas sejteken keresztül a szövetes sejtsszerveződést megközelítő fejlettségű (kalapos) nagygombák. Mind ivartalan (vegetatív), mind pedig ivaros (szexuális) szaporodásuk változatos sejttypusokat foglal magába, az egyes gombacsoportok morfológiailag és genetikailag jól jellemezhető életciklussal rendelkeznek. Rendszertani felosztásukban is kitüntetett szerepük van az ivartalan szaporító képletek vizsgálatának és az ivaros folyamatok jellemzőinek. Sejtmorfológiai és gyakorlati szempontokat figyelembe véve a gombákat élesztő és fonalgombákra osztják, ez azonban nem jelent rendszertani kategorizálást.

15.2. Élesztőgombák

Az élesztőgombák jellegzetes egysejtű eukarióta szervezetek, a sejtek többnyire egy sejtmagot tartalmaznak. Vegetatív szaporodásuk (mitózis) általi sarjadzással történik. Ennek során az anyasejten egy kidudorodás, a sarj jelenik meg, amely tovább növekszik, majd leválk. A sarjsejtek elhelyezkedése a sejt felszínén általában fajra jellemző, de fajon belül is változhat a sejtek ploiditása szerint. Előfordul, hogy a sarjsejtek nem válnak le az anyasejtről, hanem a mitózis befejezése után rögtön újabb sarjadzásba kezdenek, ezáltal elágazó sejtcsoomók jönnek létre. Különösen tápanyagdús körülmények közötti, gyors szaporodásnál figyelhető ez meg (pl. sütőélesztő szaporítása fermentorban). Az élesztősejtek alakja többnyire gömb, ovális vagy hengeres, de a sejtek meg is nyúlhatnak, ilyenkor mikroszkóp alatt a látómezőt sűrűn behálózó, fonalszerű, elágazó sejteket látunk. Ezeket álhifának (pszeudomicéliumnak) nevezzük, megkülönböztetve a fonalgombák sejtjeit felépítő valódi hifáktól.

15.3. A valódi gombák alországa (Subregnum Eumycota)

15.3.1. *Chytridiomycota* (vízi gombák) tagozata

A legősibb gombacsoportot képviselik. Az ide tartozó fajok vízhez kötött életmódot folytatnak. Hifáik valódi cönocita (nem szeptált) felépítésűek.

Ivaros szaporodásuk vízben mozgó ostoros rajzospórák segítségével megy végbe, míg ivartalan szaporodásuk során többféle sejt- illetve teleptípust hoznak létre. Mind morfológiájukat, mind pedig életmódjukat tekintve rendkívül heterogén gombacsoport. A szaprofita fajok főként édesvizekben és nedves élőhelyeken élnek, ahol extracelluláris enzimeik révén jelentősen hozzájárulnak a komplex polimer molekulák (cellulóz, kitin, keratin) lebontásához.

Sok parazita fajuk is ismert, amelyek más gombafajokon, növényeken és állatokon élőködnek. Áltatában alacsonyabbrendű élőlényeket (algákat, protozoákat, gombaszerű szervezeteket) támadnak meg, de néhány haszonnövényt is megfertőznek. Utóbbi esetben fontos vírusvektorok is lehetnek. Főként a rovarok számára jelentenek veszélyes élőködőket. Felelőldják a rovarok kitintakaróját, majd behatolnak szervezetükbe. Egyes fajaik obligát anaerobok, ezek növényevő rovarok és emlősök emésztőrendszerében élnek.

Fontosabb képviselőik:

- ***Olpidium brassica*** – káposztafelék kórokozója és fontos vírusvektora.
- ***Allomyces* fajok** – szaprobionta élőlények. Laboratóriumi körülmények között jól tenyészthetők, biológiai szempontból a legismertebb vízigombák.
- ***Blastocladia* fajok** – szaprobionta életmódot folytató, aerotoleráns anaerob (tejsavasan erjesztő) fajok tartoznak ide. Sejtnyúlványaikkal (rhizoidjaikkal) vízbe merülő növényi részekhez tapadva élnek.
- ***Coelomomyces* fajok** – rovarok, elsősorban a szúnyogok obligát parazitái.
- ***Physoderma maydis*** – a kukoricát károsító kórokozó.

15.3.2. *Zygomycota* (Zigospórás/járomspórós gombák) tagozata

A gombák evolúciós fejlődésében megfigyelhető volt a vízből a szárazföldre való fokozatos kivándorlás, ami egybeesett a növények hasonló fejlődési irányával, sőt valószínűleg a mikorrhiza biztosította a növények számára a megfelelő tápanyagfelvételt.

A szárazföldi életmódhoz alkalmazkodott, ma élő gombák legősibb csoportját a zigospórós gombák (*Zygomycota*) képviselik. Ezek már sem az ivaros, sem az ivartalan szaporodási ciklusukban nem igénylik a víz jelenlétét. Ez megnyilvánul abban is, hogy spóráik mozdulatlanok, nem rendelkeznek ostorral. Az ide tartozó gombák általános jellemzője, hogy a micéliumot harántfal nélküli, valódi cönocita hifák építik fel. Viszonylag kis fajsza-
mót (kb. 600) foglal magába.

Két osztályuk közül egyértelműen ide sorolják a *Zygomycetes* (fejespenészek) osztályát. Ennek két fontos rendje a *Mucorales* és az *Entomophthorales*, amelyek közül az első főként szaprofita, míg a második parparazita fajokat foglal magába. A *Mucorales* rend fajai növényi és állati eredetű anyagokon gyorsan elszaporodva, vastag penészbevonatot hoznak létre. Különösen gyakori raktári kártevők, gyümölcsök, zöltségek rothadását okozzák. A magas ozmózis nyomást, savas pH-t is jól tűrik, ezért konzervált gyümölcskészítményekben is gyakran elszaporodnak.

A kenyér penészedését főként a *Rhizopus stolonifer* okozza, bár különböző *Mucor* és *Actinomucor* fajok is előfordulnak rajta.

A *Mucor* és *Rhizopus* nemzetség fajai a keleti fermentált élelmiszerekben gyakran az uralkodó mikrobiótát képviselik. Viszonylag ritka közöttük a parazita.

A *Phycomyces* fajok gyakran izolálhatók a természetből, aktív szerepet játszanak a szerves anyagok lebontásában. Életciklusuk általában teljes, az ivartalan (aszexuális) ciklus mellett az ivaros (szexuális) is megtalálható. Vegetatív (ivartalan) szaporítósejtjeik a sporangiospórák, amelyek a sporangioforumon létrejövő, gömb alakú sporangiumban endogén úton keletkeznek. A sporangium megérésekor a burok felreped, és a sporangiospórák kiszabadulnak.

A spórák melaninban gazdagok, ezért sötét, többnyire fekete, szürke vagy barnás színűek. Kedvező életteni feltételek között kicsíráznak, és cönocita micéliumot hoznak létre. A micélium feldarabolódásával vastagfalú, ellenálló sejtek is keletkezhetnek.

Az *Entomophthorales* rend fajai rovarparazita voltak miatt váltak ismertté. Ilyen például a légyen élősködő *Entomophthora muscae*. A parazita fajok mellett azonban szaprofiták is előfordulnak.

15.3.3. *Ascomycota* (tömlősgombák) tagozata

A gombák legnépesebb tagozatát képviselik. Elnevezésüket az ivaros szaporodás során keletkező aszkuszról (börtömlő vagy zsák) kapták, amely egyszerű formában (élesztőgombák), vagy pedig szabályos termőtestbe (ascocarp) tömörülve (fonalas aszkomicéták) a meiózissal létrejött askkospórákat tartalmazza. Számos olyan fajt ismerünk, amelyek elvesztették ivaros szaporodási képességüket, morfológiai, citológiai és molekuláris jellemzőik alapján azonban egyértelműen ebből a csoportból szármartathatók. Ezeket a *Deuteromycota* (imperfekt gombák) csoportjába sorolják

Az aszkusz kialakulásának módja az egysejtű élesztőgombáknál és a fonalgombáknál jellegzetes különbségeket mutat, bár a két csoporton belül is lényeges lehet az eltérés, sőt az egyes fajok között is. Az élesztőgombáknál a haploid sejtek fúziójával létrejött egyetlen diploid sejtben játszódik le a meiotikus osztódás, melynek eredményeként többnyire négy haploid askkospóra keletkezik. Maga a diploid sejt alakul át askkusszá. A fonalgombáknál a haploid sejt-magvú hifák fúziójával dikarion (heterokarion) micélium alakul ki, ez hozza létre jellegzetes horogképződésen keresztül a diploid sejt-magot, amelynek meiózisos osztódásával a termőtestben kialakulnak az askkuszok.

Az *Ascomycota* tagozatot a jelenleg elfogadott rendszerezés szerint 3 osztályra bontják: *Archiascomycetes*, *Hemiascomycetes* és *Euscomycetes*. Az első élesztő és fonalas sejthalakot mutató fajokat,

míg a második főként élesztőket, a harmadik pedig a fonalas gombafajokat foglalja magába.

a) *Archiascomycetes* osztály. A korábban már többször emlegetett *Schizosaccharomyces* fajok ide tartoznak. Vegetatív szaporodása során hasadással osztódó élesztősejteket hoz létre vagy valódi hifákat is képez. Ivaros szaporodásuk során két haploid sejt egyesül, az így létrejövő diploid sejt azonnal meiózisba kezd, majd aszkusszá alakul. A *Taphrina* fajok főként fákön élősködnek, a *T. pruni* például szilvafán. Ilyenkor fonalas sejtformát mutat, míg szaprofitaként tenyésztve az élesztő forma jellemző rá.

b) *Hemiascomycetes* osztály. Egyetlen rendet, a *Saccharomycetales*-t foglalja magába, amelyet szoktak valódi élesztőknek is hívni. Jellemző vegetatív sejtformájuk az egysejtű sarjadzó élesztősejt, de számos alaknál megfigyelhető valódi vagy álmicélium. Általában jól erjesztenek, nagy cukorkoncentrációjú élőhelyekről izolálhatók. Az egyes fajok a spontán erjedéseknél jellegzetes asszociációt alkotnak. A *Saccharomyces* az egyik legismertebb és gyakorlati szempontból legfontosabb nemzetség. Két csoportra osztják, a *Saccharomyces sensu stricto*, valamint a *Saccharomyces sensu lato* fajok. Előbbiekhez tartoznak az erjedési iparokban (sör-, bor-, szeszipar) és a sütőélesztőként alkalmazott fajok (*S. cerevisiae*, *S. bayanus*, *S. pastorianus*), valamint a természből izolálható *S. paradoxus*. Erősen erjesztenek, aminek fő oka a kiemelkedően nagy alkohol-toleranciájuk (10–15%). Jellemző rájuk, hogy általában mind haploid, mind pedig diploid állapotban képesek sarjadzással szaporodni. A *Dekkera*, *Debaryomyces* és *Zygosaccharomyces* fajok leggyakrabban spontán erjedésekből izolálhatók, de a *Zygosaccharomyces rouxii* és *Z. bailii* fajok ozmotoleranciájuk, savakkal és tartósítószerrel való ellenállásuk miatt a leggyakoribb élelmiszer romlást okozó élesztőgombák. A *Hanseniaspora uvarum* jellegzetes citrom alakú sarjadzó sejtjei boroknál az alkoholos erjedés elején figyelhetők meg. A *Lipomycetaceae* család fajai egyébként többnyire talajlakó élesztőgombák, egyes fajok rovarokkal élnek asszociációban.

c) **Anamorf élesztőgombák.** Számos olyan élesztőgomba faj létezik, amelynél a szaporodás folyamán ivaros folyamat nem figyelhető meg. Három jellegzetes (mesterséges) nemzetségük a *Candida*, *Cryptococcus* és a *Rhodotorula*. Az elsőbe aszkomiceta rokonságú, míg a másodikba és a harmadikba bazidiomiceta rokonságú fajok tartoznak. Az anamorf alakkal nem rendelkező *Candida* fajok előfordulása és jelentősége sokrétű. Egyrésztük mint humán kórokozó gyakran izolálható mikózisokból (gombás megbetegedésekből). Ilyenek a már korábban emlegetett *C. albicans*, vagy az immunrendszer gyengülésekor támadó *C. glabrata*, *C. krusei*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis* fajok. A *C. stellata* jó alkohol-toleranciája miatt erjedő mustban viszonylag sokáig részt vesz az erjesztésben, más *Candida* fajok pedig élelmiszereknél, mint romlást okozók fordulnak elő gyakran.

- ***Euscomycetes* osztály.** Ide tartozik az összes, előzőekben nem tárgyalt, tehát fonalas aszkomiceta gombafaj. Jellemzőjük, hogy az ivaros folyamat során nagyszámú aszkusz jön létre, amelyek termőtestben helyezkednek el. A termőtesteket négy morfológiai típusba sorolják, úgymint a gömb alakú zárt kleisztotécium, a kis nyílást tartalmazó peritécium, a tányérszerűen ellaposodó apotécium és a peritéciumhoz hasonló pszeudotécium. Az osztályn belüli rendszertani felosztás is ennek megfelelő alosztályokra történik.
- ***Plectomycetes (kleisztotéciumos gomblák) alosztálya.*** Termőtestük kleisztotécium. Nagyon heterogén csoport, amelybe szaprofita, valamint növény- és állatparazita fajok tartoznak. Az *Ascosphaera apis* a háziméh kórokozója, amely időnként súlyos pusztítást okoz a méhészetekben. A *Histoplasma capsulatum* és a *Blastomyces dermatitis* imperfekt alakok, amelyek embernél a hisztoplazmózis, illetve a dermatomikózis betegséget okozzák. Ide tartoznak a korábban már említett penészgombák közül a *Penicillium*, *Aspergillus* és *Paecilomyces* nemzetség anamorf fajai. Előfordul náluk a mikotoxin temelés is (ilyen például az *Aspergillus flavus* által termelt aflatoxin). Ugyanakkor számos fajuk értékes másodlagos metabolitot termel, mint például a penicillint a *Penicillium* fajok.

- ***Pyrenomycetes (peritéciumos gombák) alosztálya.*** Termőtestük peritécium, amely egy sűrű micéliumszövedékbe, a sztrómába beágyazva fejlődik ki. Találhatók köztük növényi, állati és gomba parazitafajok, számos közülük veszedelmes mezőgazdasági kártevő. Az anamorf *Fusarium* fajok többsége növénypatogén vagy raktári kártevő, amelyek többféle veszélyes mikotoxint is termelnek.
- ***Discomycetes (apotéciumos gombák) alosztálya.*** Termőtestük nyitott, lapos vagy kissé hajlott, kehelyszerű apotécium. Morfológiájukat és életmódjukat tekintve nagyon változatos csoport, amelyek között szaprofita, parazita, endofita és szimbionta fajokat egyaránt megtalálunk. A *Monilia* fajok gyümölcsfák monília betegségeért felelősek. A *Botrytis cinerea* szőlőnél hűvös, esős őszi idő esetén szürkerothadást okoz míg száraz, napos őszi időjárásnál megfelelő termőhelyi és klimatikus viszonyok között az ún. nemesrothadást váltja ki, ami a szőlőszemek aszúsodásával jár. A szarvasgomba néven ismert *Tuber aestivum* a talajban hozza létre a termőtestet, amely a legdrágább étkezési gomba. A *Tuber* fajok egyébként fák gyökerén micéliumbevonatot képező, ún. mikorrhiza gombák. Ugyancsak nagygombaként ismertek a *Morchella* fajok, amelyeket jellegzetes alakú termőtestük alapján kucsmagombáknak hívnak.

15.3.4. *Basidiomycota (Bazídiumos gombák) tagozata*

Evolúciós szempontból a legfejlettebb gombák tartoznak ide. Közös jellemzőjük, hogy ivaros szaporodásuk során a meiózis eredményeként a bazídiumon négy haploid bazidiospóra jön létre. Két jól elhatárolható csoportjuk (osztályuk) a *Heterobasidiomycetes* és a *Hornobasidiomycetes*, amelyek közül az első a nem differenciálódott termőtesttel rendelkező fajokat, míg a második a fejlettebb, változatos, nagy differenciált termőtest kialakítására képes, ún. kalaposgomba vagy pöfeteggomba fajokat foglalja magába.

- ***Heterobasidiomycetes* osztály.** Növényi paraziták, amelyek ivaros szaporodásra csak a gazdaszervezetben képesek, míg szaprofitaként változatos sejteket hoznak létre. A rozsdagombák rendjébe tartozó fajok elsősorban növények leveleit megfertőzve, azon rozsdafolthoz hasonló szöveti elhalást okoznak. Gabonaféléknél jelentős kárt okoznak. Legismertebb képviselőjük a gabonafeléken és sóskaborbolyán élősködő *Puccinia graminis*. Az üszöggombák (*Ustilaginales*) rendjébe tartozó fajok sokféle növényen képesek parazitaként élni, amelyek a növényt megfertőzve a szöveteket burjánzásra készítetik. A létrejövő kisebb-nagyobb fehér daganatokban az ivaros folyamat eredményeként érett fekete üszögspórák (bazidiospórák) tömege alakul ki. Szaprofita tenyészeik élesztőszerű, sejtekből állnak. Legismertebb képviselőjük a kukorica golyvásüszög.
- ***Homobasidiomycetes* osztály.** A bazídiumok fejlett, a szöveteket megközelítő szervezettségű termőtestben jönnek létre. A hifák ezeknél is haploid sejtmagokat tartalmaznak, amelyek azonban egy genetikai szempontból összetettebb parosodási rendszert kódolnak. Az *Agaricales* rendbe tartozó fajoknál a termőréteg lemezes vagy csöves. A legtöbb ehető gomba ide tartozik, de sok a mérgező faj is. A *Pleurotus* fajok (laskagombafélék) kedvelt termesztett és vadon élő gombák. A *Lentinus edodes* (siitake) kedvező élettani hatású anyagai miatt világszerte kedvelt, keleti eredetű termesztett gomba. Az *Amanita cesarea* (Császárgalóca) kellemes ízű, vadon élő faj, míg az *A. muscaria* (légyölő galóca) és az *A. phalloides* (gyilkos galóca) a legveszélyesebb mérgező gombák közé tartoznak. Az *Agaricus* nemzetség vadon termő fajai éghajlatunkon elterjedtek (pl. *A. campestris*, *A. bitorquis*), de ide tartozik a legnagyobb mennyiségben termesztett *A. bisporus* (champignon gomba) is. A *Boletus* fajokra (tinórufelék) a csöves termőréteg jellemző. Néhány fajuk kellemes ízű ehető gomba, de előfordul közöttük néhány mérgező is (pl. *B. satanas*). Erdőkben nőnek, ahol fák gyökerein mikorrhizát alkotnak. A taplófélékre szintén a csöves termőréteg jellemző, amelyek fonalai behálózják

az élő fákat, majd elpusztítják és felületükön jellegzetes termőtestet, a taplót hozzák létre. Erdészeti kártételük jelentős. Leggyakoribb fajaik a tölgyerdők parazitája, a *Trametes versicolor* (lepketapló), a fenyőerdőkben súlyos károkat okozó fenyőgyökér tapló (*Fomes annosus*), a bükkerdőkben élősködő bükkfatapló (*Fomes fomentarius*), amelyekből használati eszközöket, dísz tárgyakat is készítenek. A sokszor látható félig elszáradt, torz fák ilyen gombakártevőknek estek áldozatul.

15.4. Az álgombák, gombaszerű szervezetek alországa (Subregnum: *Pseudomycota*)

Ennek a csoportnak az elnevezésében is tükröződik, hogy bizonyos tulajdonságaikban hasonlítanak a gombákra, más tulajdonságaik alapján azonban nem sorolhatók be egyértelműen a valódi gombák közé. Az evolúciós fejlődést tekintve ez a csoport valószínűleg még a valódi gombák és a növények kialakulása előtt kivált és külön ágon fejlődött tovább. Heterotróf táplálkozásukban, életmódjukban hasonlítanak a gombákra, míg szaporodásuk, ivarsejtjeik vízhez kötött mozgása az algákra, illetve a protozoonokra emlékeztet. Ugyancsak köztes jellegüket mutatja, hogy sejtfaluk, ha van cellulózból és glükánból épül fel. Növényi rokonságukra utal, hogy sokszor fenyérzékkelő sejtek is megtalálhatók náluk, valamint fény hatására sejtjeik aggregálódni képesek. Az álgombákon belül azonban heterogén, egymással csak távoli rokonságban lévő csoportok találhatók. Sok parazita faj fordul elő közöttük.

Az *oomycota* (oospórás vagy petespórás gombák) tagozata képviseli legjelentősebb csoportjukat. Életciklusuk nagy részét diploid sejtekként élék le, a haploid állapot csak az ivarszervekre, illetve az ivarsejtekre korlátozódik. Egyik hírhedt fajuk a *Phytophthora infestans*, a burgonyavész kórokozója, amely ma is súlyos veszteségeket okoz a mezőgazdaságban. A *Plasmopara viticola* a szőlő peronoszpórás megbetegedését idézi elő. Közele rokonai a *Peronospora* fajok, amelyek különböző növényeket támadnak meg, parazitaként élnek rajtuk.

15.5. Nyálkagombák országa (Regnum: *Myxomycota*)

A nyálkagombák (*Myxomycota*) csoportot a legújabb rendszertanban külön országgént tartják számon, amelyek hasonlóan az előbbieken ismertetett oospórás gombákhoz, tulajdonságukban, életciklusukban hasonlítanak a valódi gombákra, számos jellegzetességükben azonban inkább a protisztákra emlékeztetnek. A gombákhoz hasonlóan spórákat képeznek ugyanakkor a protozoonokra jellemző amőboid mozgással gyorsan haladnak szilárd felületen. Sejtszerveződésüket tekintve két típusukat lehet elkülöníteni: a sejtfallal nem rendelkező, többmagvú (diploid) plazmódiumot létrehozó valódi vagy acelluláris nyálkagombákat, valamint a vegetatív sejtekként sejtfallal rendelkező, pszeudoplazmódiumot képező sejtes vagy celluláris nyálkagombákat.

16. AZ ALGÁK ORSZÁGA (REGNUM ALGAE)

Az algákkal foglalkozó tudomány a fikológia vagy algológia. Az algák olyan eukarióta organizmusok, amelyek kloroplasztiszt tartalmaznak és fotoszintézissel oxigént termelnek. A legtöbb alga mikroszkópikus méretű, azonban vannak közöttük több méterre is megnövő tengeri moszatok. Nedves környezetben, sós és édesvizekben élnek a felülethez tapadva (benton) vagy szabadon úszva, lebegve a vízben (plankton). Kisebb részük él csak a víz felszínén. Néhány esetben endoszimbiózisba lépnek protozoonokkal, kagylókkal, férgekkel, korallokkal.

A zuzmók zöldalgák és aszkomicéták szimbiózisával alakultak ki.

Az algák törzsfejlődésüket tekintve nagyon heterogének, amelyek egyes csoportjai a növényekkel (pl. zöldalgák, vörösmoszatok), mások a protozoonokkal (pl. Eugléna-félék) hozhatók közelebbi rokonságba. Néhány algacsoport ezeknél jóval korábban alakult ki (pl. barnamoszatok, diatomák). Felépítésük nagyon változatos: a mozdulatlan vagy ostonnal mozgó egysejtűektől a több ezer, azonos vagy differenciált sejtéből álló telepeken keresztül a szövetes növényekhez hasonló szervezettségű moszatokig terjed. Az algák vegetatív sejtjei a telepet (thalluszt) alkotják, amelyeken nő- és hímivarú szervek jöhetnek létre, biztosítva ezáltal az ivaros szaporodást is. Egyes algák azonban csak ivartalanul szaporodnak. Ennek legáltalánosabb formái a thallusz feldarabolódása, a spóráképzés és a sejtek kettéosztódása.

Az algák rendszerezése elsősorban sejtmorfológiai alapon történik, emellett azonban fontos bélyegek a fotoszintetikus pigmentek, a tartalék tápanyagok típusa, valamint sejtfalukban a cellulóz mellett előforduló egyéb összetevők is.

- A **zöldalgák (*Chlorophyta*)** egy nagyon heterogén csoport, esetenként egymástól nagyobb evolúciós távolságban lévő fajokat foglal magába. Közös jellemzőjük, hogy a és b klorofillt tartalmaznak, tartalék szénhidrátjuk pedig keményítő és furktozán. Az ivaros és ivartalan szaporodás egyaránt jellemző rájuk. Tipikus és

egyben tudományos szempontból legismertebb képviselőik a *Chlamydomonas*, *Chlorella* és *Volvox* fajok.

- Az **Euglena-félék (*Euglenophyta*)** csoportja hasonlóan az előbb említettekhez a és b klorofillt tartalmaz. Tartalék szénhidrátjuk a csak náluk megtalálható paramylon. Jellemző képviselőik az *Euglena* nemzetség tagjai. Sejtfaluk nincs, jellegzetes, megnyúlt alakjukat a sejten végigfutó pellicula biztosítja.
- A ***Chrysophyta*** csoportnál többféle jellemző pigment fordul elő, képviselőik az aranyló barna, a sárgászöld algák, valamint a diatomák (kovamoszatok). A klorofilleken kívül a barna színt adó fukoxantint, valamint különböző karotinokat tartalmaznak. Tartalék tápanyaguk a chrysolaminarin. Legtöbbjük egysejtű vagy telepes. A citoplazma-membránt kívülről változatos felépítésű és ornamentikájú sejtfal és/vagy héj borítja. A kovamoszatok héja két, egymásba illeszkedő félből áll, amelyben nagy mennyiségű kristályos szilikát található. Szemet gyönyörködtető díszítettségük faji határozó bélyeg. Minden élőhelyen megtalálhatók, a fitoplankton nagy részét ezek képezik.
- A **barnamoszatok (*Phaeophyta*)** csoportja olyan soksejtű, telepes szervezeteket foglal magába, amelyek csaknem kivétel nélkül tengerekben fordulnak elő. A legegyszerűbbek fonalas szerveződést mutatnak, míg a fejlettebbeknél a növényi szervekhez hasonló levelek, száraz és rögzítő gyökerek találhatók. A tengeri hínárok jelentős részét ők alkotják. Sokszor hatalmas területet foglalnak el, mint amilyen a Sargasso-tengerben élő Sargassum mozszt. Barna színanyaguk a már említett fukoxantin, tartalék szénhidrátjuk pedig a laminarin.
- A **vörösmoszatok (*Rhodophyta*)** csoportja foglalja magába a tengeri hínárok legtöbb fajtát. Néhány egysejtű fajtól eltekintve fonalas vagy soksejtű telepes szervezetek tartoznak ide. Jellegzetes pigmentjeik a vörös színt adó fikobilinek és a kék színű fikocianin, amelyek nagy tengeri mélységekben is képesek a napfényt abszorbeálni. Tartalék szénhidrátjuk a csak itt előforduló florideán keményítő. Sejtfaluk mélyebb rétegei szulfatált galaktáz polimereket tartalmaznak, amelyek a mechanikai hatásokkal

szemben különösen ellenállóvá és hajlékonyá teszik őket. Ennek kivonásával és tisztításával állítják elő a mikrobiológiai táptalajok szilárdítására használt agart, vagy a sejtrögzítésnél alkalmazott karrageenant. Sokszor halmoznak fel a sejtfalukban kalcium-karbonátot, amely a sejtek elhalása után a koralltelepek alapját képezi.

- A ***Dinoflagellata (Pyrrhophyta)*** csoport egysejtű, az ostoros protozoákhoz hasonló, de fotoszintézisre is képes szervezeteket foglal magába. Többségük a tengeri fitoplankton fontos tagja, de édesvízi fajok is megtalálhatók köztük. Fontosak a korallállatokkal és más tengeri gerinctelenekkel szimbiózisban élő fajok, amelyek a fotoszintézissel előállított szénhidrátokkal látják el az állati szervezeteket. Cserébe ezért védelmet kapnak tőlük. Ilyenkor a *dinoflagellata* sejt elveszíti sejtfalát és ostorait, valamint lekerekedik. Több tengeri faj kemilumineszkálásra képes, amelyek éjszaka a tenger felszínén úszó csodálatos világító foltként jelennek meg. Néhány *dinoflagellata* faj (pl. *Gymnodinium spp.*) az emberre és a gerinces állatokra mérgező hatású toxint termel. Ezek a környezetszennyezés hatására melegtengeri partoknál egyre gyakrabban fellépő „vörös dagály” nevű vízvirágzást okozzák. A vörös szín a xantofill felhalmozódására vezethető vissza, míg a mérgezésért a saxitoxin nevű idegméreg felelős. A toxin felhalmozódik a moszatokat fogyasztó tengeri csigákban, kagylókban, amelyek elfogyasztásával az ember is mérgeződhet. Hatására paralízis (izombénulás) lép fel, amely azonban szerencsére általában nem halálos. A halak is érzékenyek a toxinnal szemben, a vízvirágzást ezért nagyfokú halpusztulás is kíséri.

17. A PROTOZONOK ORSZÁGA (REGNUM PROTOZOA)

A protozoonokat állati egysejtűeknek is hívják, ami kifejezi azokat a legfőbb jellemzőket, hogy nincs sejtfaluk és szerves szénforrást hasznosítanak szén és energiaforrásként. Nincsenek azonban közvetlen evolúciós kapcsolatban a magasabbrendű állatokkal, de a többi eukarióta mikroorganizmustól is külön ágon fejlődtek. Az algáktól a klorofill hiánya, a valódi gombáktól a mozgás és a sejtfal hiánya, míg a nyálkagombáktól a termőtest hiánya különbözteti meg. Általában nedves vagy vizes élőhelyeken fordulnak elő nagy számban, édesvízben és tengerben egyaránt. Környezeti szerepük felbecsülhetetlen. A szerves anyagok lebontását végzik talajban, vizekben pedig a planktonikus tápláléklánc fontos tagjai. Számos állati és humán parazita is él közöttük. Táplálkozásuk sajátos, a vízben oldott tápanyagokat pinocitózissal, a szilárd anyagokat fagocitózissal veszik fel.

Mozgásuk, mozgásszerveik annyira jellegzetesek, hogy ez képezi rendszerezésük alapját. Az amőboid mozgásúak a *Sarcodina*, az ostorral mozgók a *Mastigophora*, míg a csillóval mozgók a *Ciliophora* csoportot alkotják. Negyedik csoportjuk, az *Apicomplexans* tagjai mozdulatlanok, ezek állati paraziták. Számos olyan morfológiai és élettani tulajdonságuk van, ami egyedivé teszi őket.

A sejteket nem védi sejtfal, ennek ellenére a sejtek formagazdagsága sokrétű. Ennek magyarázata, hogy a vegetatív sejtek plazmamembránja alatt egy félfolyékony, kocsonyás réteg, az ektoplaszma húzódik. Ezen belül található az endoplazma, amely a többi eukarióta sejt citoplazmájához hasonló. Nagyon sok protozoa képes becsíztározni, melynek eredményeként fallal körülvett, ellenálló, lecsökkent metabolikus aktivitású kitartó sejt, a ciszta keletkezik. Sok esetben ciszta formában vándorol a parazita a különböző gazdasejtek között. A ciszta lehet ivaros folyamat eredménye is (reproduktív ciszta). Az ivaros szaporodás mellett a legtöbb protozoa ivartalanul is szaporodik, egyszerű kettéosztódással.

A jelenlegi rendszertani felosztás a Protozoonokat 7 tagozatra osztja, melyek közül az alábbiakat ismertetjük részletesen.

- **Az ostorosok (*Mastigophora*)** a legősibb protozoonokat képviselik. Egy részük szaprofita életmódot él, mások pedig, mint humán és állati parazita, súlyos betegségeket válthatnak ki. Utóbbiak közé tartozik az afrikai álomkór okozója, a *Trypanosoma gambiense*. Tulajdonképpen ide sorolhatók azok a fotoszintetizáló ostorosok is, amelyek fény hiányában kemoorganotróf táplálkozást végeznek. Ilyenek az Euglenafélék, amelyeket az algáknál már megismertünk.
- **Az amőbák (*Sarcodina*)** alapvetően kétféle típusú vegetatív sejtet hoznak létre: vagy csupasz állábakkal mozgó sejtet, mint az *Amoeba* nemzetség tagjai, vagy pedig merev héjjal rendelkező amőboid sejteket, mint a *Foraminifera* fajok. Az *Amoeba* fajok többsége szaprofita, néhány humán és állati parazita is előfordul azonban közöttük, mint amilyen a belekben élősködő *Entamoeba histolytica*. A foraminiférák amoboid sejtjei ellenálló, többnyire CaCO_3 -tartalmú héjba húzódnak vissza, csak táplálkozáskor nyulnak ki belőle. Héjuk nagyon ellenálló, több százmillió évig is megmaradó fosszília. Fontos szerepük van a geológiai kutatásokban.
- **A csillósok (*Ciliophora*)** életciklusuk valamely fázisában csillókkal rendelkeznek. A legismertebb és legelterjedtebb képviselőik a papucsállatkák (*Paramecium* fajok). A táplálékot a sejtáján keresztül veszik fel, amely a garatba, majd az emésztő üröcskébe kerül. Jellemző sajátosságuk, hogy sejtjeik két különböző sejtmagot, makronukleuszt és mikronuleuszt tartalmaznak. Előbbi nagyobb, poliploid, és a sejt növekedésével, regenerációjával kapcsolatos működést végzi, míg a második kisebb, diploid és ebben játszódik le a kromoszómák rekombinációja, valamint belőle alakul ki a makronukleusz. Az ivaros folyamat során párosodáskor a mikronukleuszok kicserélődnek, illetve fuzionálnak. Sok *Paramecium* endoszimbiózisban él baktériumokkal, amelyek vitaminokkal vagy egyéb életfontosságú növekedési faktorról látják el a gazdasejtet. A csoportra a szaprofita életmód jellemző, bár néhány állati vagy humán parazita is előfordul közöttük. Ilyen pl.

a *Balantidium coli*, amely háziállatok élősködője, de embert megfertőzve hasmenést okozhat. Számos obligát anaerob, savasan erjesztő fajuk ismert, amelyek kérődző állatok gyomrában élve fontos szerepet játszanak a nagymolekulájú tápanyagok (pl. cellulóz, keményítő) lebontásában, majd szerves savakká történő erjesztésében.

- **A spórások (*Apicomplexa*)** csoport sok fajt foglal magába, amelyekre az élősködő életmód jellemző. Sejtjeik is ennek megfelelően fejlődtek: mozdulatlanok és táplálékfelvételük felszívással történik. Mint nevük is mutatja, sejtjeik spórákat hoznak létre. Ezek azonban nem kitartó képletek, mint a baktériumok vagy a gombák esetében, hanem a gazdasejtek megfertőzésére képes sporozoitok. Számos fajuk gerinces vagy gerinctelen állatokban élősködik, sőt gazdaváltásra is képes. A legfontosabb emberi parazita a maláriát okozó *Plasmodium vivax* és a toxoplazmózis kór okozója, a *Toxoplasma gondii*.

18. A MIKROORGANIZMUSOK GAZDASÁGI JELENTŐSÉGE

Természetes és mesterséges környezetünkben nagyszámú, igen változatos mikroorganizmus populációval élünk együtt, ami egyfelől gazdagítja világunkat, másfelől viszont komoly gondokat okoz. Azok az eljárások, melyek a mikroszkópikus élőlények ellenőrzését, illetve leküzdését teszik lehetővé, szerves részét képezik a modern emberiség életének.

Az élelmiszeriparban külön gondot kell fordítani az élvezeti érték megőrzésére, ugyanis az ízanyagok, illetve az élelmiszerek konzisztenciája a magas hő hatására megváltozhat, ezért célszerű a lehető legalacsonyabb hőmérsékletet alkalmazni.

A bakteriális tevékenység hasznosítása már a természetben is számos esetben tetten érhető, gondoljunk csak a pillangósok gyökérgümőiben található *Rhizobium* fajokra, melyek nitrogénmegkötők, vagy a kérődzők bendőflórájában élő anaerobokra, melyek endogén fehérjeforrást biztosítanak és részt vesznek a szénhidrát- és zsírsavforgalomban egyaránt. A természetes vizek öntisztulása, a helyesen összerakott trágya önsterilizáló és jó humuszképző fülledése is a mikroorganizmusok tevékenységének köszönhető.

Az ember a természettől ellesve ősidők óta alkalmaz, ha nem is tudatosan mikrobiális tevékenységet tartósításra. Ide tartozik az élelmiszerek savanyítása is, mely nem más, mint tejsavval történő tartósítás (savanyúságok, tejipar stb.).

A borászatban az alkoholos erjedés bakteriális és gombatevékenységnek köszönhető. A mai élelmiszeripar számos tápanyagot mikrobiális tevékenység során állít elő. A modern ipar bányászat, kőolajipari termékek, műanyagok előállításakor is nagy méretekben alkalmaz biotechnológiát. A természetben előforduló nagyszámú élesztőfaj közül a *Saccharomyces cerevisiae* törzsei játsszák a legfontosabb szerepet ezekben a tradicionális eljárásokban.

18.1. Élesztőket hasznosító hagyományos mikrobiológiai eljárások

18.1.1. Borászat

A bor készítése során az érett szőlőszemekből kipréselt mustban lévő cukrokat (glükóz és fruktóz) erjesztik CO₂ felszabadulása mellett alkohollá (alkoholos erjedés). Az alkoholos fermentáció végbemeget a szőlőszemekben jelenlévő élesztőfajok hatására. Ilyenkor a fermentáció előrehaladása során egyre jobb alkohol és szén-dioxid-tűrő fajok kerülnek túlsúlyba, míg végül a *Saccharomyces cerevisiae* válik uralkodóvá. Nagyüzemi körülmények között a természetes élesztőpopuláció előlése után a musthoz adott ún. fajélesztőkkel végzik az erjesztést. A fajélesztők olyan, az egyes borvidékeken izolált és tiszta tenyészetben fenntartott *Saccharomyces cerevisiae* törzsek, melyek alkohol-, cukor-, kén-dioxid- és hidegtűrőse kiváló, aromatermelésük pedig az egyes régiókra jellemző.

Az erjedés, melynek során a cukortartalom nagy része alkohollá és szén-dioxiddá alakul, kialakulnak a bor karakterét meghatározó szín-, íz- és zamatanyagok. Ezek összetétele a felhasznált szőlő- és élesztőfajoktól függ.

18.1.2. Sörgyártás

A sörgyártás alapanyagául különböző növényi magvak (Európában hagyományosan árpa, Amerikában kukorica, Ázsiában rizs) szolgálnak. Az így nyert elegyet sörélesztővel beoltva fermentálják. Az alkalmazott speciális sörélesztők a *Saccharomyces cerevisiae* különböző törzsei, melyeket hosszú évek nemesítő munkájával állítottak elő. A sörélesztők alapvetően két csoportba oszthatók. A felső erjesztők fermentációja gyors, szén-dioxid-képződése erőteljes, magasabb hőmérsékletet (20°C) igényelnek és magasabb alkoholtartalmú sörök (pl. az angol „ale”) készíthetők velük. Nevük abból ered, hogy az erőteljes szén-dioxid-képződés során a sejtek a felszínre sodródnak.

Az ún. alsó erjesztésű törzsek lassabban fermentálnak, alacsonyabb hőmérsékletet (12°C) igényelnek, s alacsonyabb alkoholtartalmú sörök készíthetők velük. Ezek a törzsek a fermentáció során az edény aljára süllyednek.

A sörgyártás utolsó fázisa az ún. ászokolás, mely egy alacsony hőmérsékleten zárt tartályban történő utóérlelés. Ennek során alakul ki a sör jellegzetes íze, s telítődik szén-dioxiddal. A borhoz hasonlóan a tejsav- és ecetsav-baktériumok a sörök minőségét is ronthatják. Ezek ellen azalkamazott sörélesztők tisztaságával és pasztörözéssel védekezhetünk.

18.1.3. Kenyérgyártás

A kenyér a legősibb emberi táplálék. A kenyérgyártás során az élesztő szerepe részben a tészta kelesztése és dagaszthatóságának biztosítása, részben pedig íz- és illatanyagok termelése során észlelhető.

Kelesztéskor a benedvesített lisztet élesztővel keverik, s meleg helyen állni hagyják. Ilyenkor a lisztben lévő enzimek hatására maltóz keletkezik. Mivel itt az élesztő metabolizmusa elsősorban aerob, ilyenkor a szén-dioxid mellett csak kevés alkohol keletkezik. A szén-dioxid-buborékok a tésztában kis buborékok formájában visszamaradva a kenyér laza textúrájának kialakulását segítik. Az élesztő metabolizmusa, s ezzel a kelesztés, az alkalmazott élesztő inokulum nagyságával, a tészta cukortartalmával, a kelesztési hőmérséklettel, és a só koncentrációjával befolyásolható.

18.2. Ecetsav-baktériumokat hasznosító hagyományos mikrobiológiai eljárások

Ha alkoholtartalmú folyadékot levegőn állni hagyunk, azok alkoholtartalma az aerob ecetsav-baktériumok hatására ecetsavvá alakul. Ez az alapja az ecetgyártásnak. Az eljárás során a bort nyitott hordóban levegőn állni hagyják. A bor felületén az aerob ecetsav baktériumok hártyát képezve igen lassan alakítják át az alkoholt ecetsavvá.

Ma a forgalomba kerülő ecet döntő többségét modern, keverős, levegőztetett tartály fermentorokban állítják elő.

18.3. Tejsavbaktériumokat alkalmazó mikrobiológiai eljárások

18.3.1. Tejtermékek (sajt, kefir, joghurt) előállítása

A tejsavbaktériumok növekedésük során nagy mennyiségű tejsavat termelnek, mely a közeg pH-ját oly mértékben lecsökkenti, hogy a legtöbb mikroorganizmus növekedését gátolja. Ily módon a tejsavbaktériumok élelmiszerek tartósítására használhatók. Emellett a tartósított élelmiszerek élvezeti értékét különböző íz- és zamatanyagok termelésével is fokozzák. A tejiparban, lévén a tej kiváló táptalaj a baktériumok számára, pasztörözött tejet használnak, melyet tejsavbaktériumok színtenyészeteivel oltanak be.

A tejsavbaktériumok növekedésük során nagy mennyiségű tejsavat termelnek, mely a közeg pH-ját oly mértékben lecsökkenti, hogy az a legtöbb mikroorganizmus növekedését gátolja. Ily módon a tejsavbaktériumok élelmiszerek tartósítására használhatók. Emellett a tartósított élelmiszerek élvezeti értékét különböző íz- és zamatanyagok termelésével is fokozzák.

A sajt készítés az egyik legrégebbi élelmiszeripari eljárás. Minden sajt készítése a tej tejsavbaktériumokkal történő erjesztésével kezdődik. Az erjesztésre használt tenyészetek azonban a sajtok jellegétől függően eltérőek, s általában nem egyetlen *Streptococcus* vagy *Lactobacillus* törzset tartalmaznak. Az erjesztés során a savtermelés eredményeként a tejfehérjék kicsapódnak, melyet renninnel (korábban borjak gyomrából izolált enzim, melyet ma génmanipulált mikroorganizmusokkal állítanak elő) is elősegíthetnek. A tej megallvadása után az aludttejet hőkezelik, a savót eltávolítják, szükség szerint sózzák és a sajtot érlelik. Az érlelés során sajttípusonként sokféle folyamat játszódik le, s ekkor alakul ki a sajt végső formája. A fehérje peptidekre, sőt aminosavakra is lebomolhat. Az aminosavak további bomlása ammóniát eredményez. Egyes sajtokban a nagyméretű lyukakat a propionsav baktériumok fermentációs tevékenysége

során képződő szén-dioxid alakítja ki, de ezek a baktériumok egyben az ízkompozíció kialakításában is szerepet játszanak.

A kefir készítése során a tejet „kefirgombákkal” oltják be, melyben tejsavbaktériumok (*Streptococcus lactis*, *S. cremoris*, *Lactobacillus casei*, *L. caucasicus*), valamint élesztőgombák tejsavas, illetve alkoholos erjedést okoznak. A fermentáció végére a kefir tejsavat és 0,2-0,5% alkoholt tartalmaz.

Joghurt gyártása során a tejet *Streptococcus thermophilus* és *Lactobacillus bulgaricus* tenyészetek 1:1 arányú elegyével oltják be, melyek közül a *Streptococcus* a savtermelést, a *Lactobacillus* pedig a zamatanyagok termeléséért felelős. A joghurtban a tej laktóztartalmának egy része tejsavvá alakul, fehérjetartalma pedig az alacsony pH-n kicsapódik, ami tápértékét nem csökkenti, ugyanakkor emésztetőségét javítja.

18.3.2. Savanyúságok készítése

A savanyúságok (uborka, káposzta stb.) előállítása és tartósítása a növényeken található tejsavbaktériumok spontán tejsavas erjesztésével történik. A tejsavbaktériumok elszaporodását sózással és anaerob körülményekkel is elősegítik. Az erjesztés során az egyre csökkenő pH-nak megfelelően egyre savtűrőbb (és egyre több tejsavat termelő) tejsavbaktériumok növekedése kerül előtérbe. Így a kezdetben uralkodó *Streptococcus* és *Leuconostoc* fajokat *Pediococcus* és *Lactobacillus* fajok váltják fel. Ezek mellett bizonyos élesztőgombák is képesek ilyen körülmények között szaporodni. A tejsavbaktériumok elszaporodása eredményeként kialakuló alacsony pH az egyéb mikrobák szaporodását meggátolja. A folyamat végén a tejsavkoncentráció olyan magas, hogy még a tejsavbaktériumok szaporodását is gátolja, így a termék konzerválódott. A továbbiakban csak a tejsavat oxidáló mikrobák szaporodását kell megakadályozni, mivel ez megindíthatja a rothasztó baktériumok szaporodását, s ezzel a termék tönkremegy.

Az egyik kiemelkedő tartósítási eljárás a tömegtakarmányok előállításakor az évszázadok óta alkalmazott silózás.

18.3.3. Silózás

A silókészítés lényege, hogy a magas szénhidráttartalmú tömegtakarmányt 15–30 °C-on, anaerob módon, ún. hidegerjedéssel tartósítjuk. Ennek feltétele a gyors, nagy hatásfokú tömörítés. Ekkor a szénhidrátbontás tejsavas erjedés útján megy végbe. A folyamat pH 3,5-nél áll le, így a növényi szénhidrátok csupán 14–15 %-a megy veszendőbe, alakul tejsavvá. A jó silózásnál tehát gyorsan elérjük az alacsony, pH 3,5 – öt (de legalább a pH 4,2-t, ahol a vajsavbontók szaporodása leáll. Egyrészt tápanyagban dús, ízletes takarmányt kapunk, másrészt a tejsav tartósít, a tejsavbaktériumok visszaszorítják a többi, számunkra kedvezőtlen, rothasztó hatású mikroorganizmus szaporodását.

Kisebb tömörítési rendellenességek esetén, nem tökéletes anaerob viszonyoknál a tejsavbaktériumok mellett megjelennek az élesztőgombák is, melyek tevékenysége folytán alkoholok, szerves savak keletkeznek. Az ilyen takarmány bár ízletes, aromás illatú, tápértéke sokkal kisebb és a megbontott siló gyorsan romlik (levegőn ecetsavas erjedés).

Szintén ecetsavas erjedés játszódik le a rosszul tömörített silóban a coliform baktériumok elszaporodása esetén, alacsony tápértékű, savanyú ízű silónk lesz. A nagyobb veszélyt mégis az jelenti, hogy ezek a csírák fehérjebontók is, a ténykedésük során keletkező ammónia lúgosítja a takarmányt, melyben remekül szaporodnak a betegségeket okozó rothasztók (*Clostridiumok*, *Proteusok*).

Hanyagul kezelt, rosszul tömörített siló esetében nem érvényesülhetnek az anaerob viszonyok, ezért a tejsavas erjedés késik, előtérbe kerül az ún. vajsavas erjedés. Ez esetben a siló bemelegszik, 32–40 °C-on, pH 4,2-ig a vajsavbontók áldatlan tevékenysége folytán egy rossz minőségű, energiaszegény, bűzös, nyálkás, avas ízű takarmány jön létre, melyben nagy számban található a már említett erős fehérjebontó és kórokozó *Clostridiumok*.

A konzervek, a tej, a sör és egyéb italok hőkezelése nem jelent sterilizálást, csak erőteljes csíraszám csökkentést, mivel a bakteriális endospórák és más, hőre kevésbé érzékeny szervezetek életben maradnak. A tej pasztörizációját 62–66 °C-on 30 percig, míg egy újabb mód-

szer szerint (ultrapasztörözés) 71,7 °C-on 15 percig végzik, hogy a vajsav és a fehérjék ne csapódjanak ki. Nemcsak a magas hőmérsékleten történő konzerválást, hanem az élelmiszerek fagyasztását is széles körben alkalmazzák. Az igen alacsony hőmérsékletnek is csupán bakteriosztatikus hatása van, azonban a sorozatos kiengedés és visszafagyasztás károsító hatású lehet. A gyors lefagyasztás sokkal kevésbé veszélyes a mikroszervezetekre, mint a lassú, melynek során nagy és éles jégkristályok képződnek, amik a sejt szétesését idézik elő.

18.4. Vajsavbaktériumokat alkalmazó mikrobiológiai eljárások

Aceton-butanol fermentáció

Egyes *Clostridium* fajok szénhidrátból különböző savakat, alkoholokat, szén-dioxidot és hidrogént termelnek. A képződött savak (ecetsav, vajsav) tovább redukálódhatnak alkohollá. A *Clostridium acetobutylicum*-ot alkalmazzák aceton és butanol előállítására.

18.5. Mikróbák, mint fehérje- és aminosavforrások

Egysejtfehérje-előállítás

A legtöbb országban ezek nem emberi, hanem állati táplálékként kerülnek alkalmazásra. Előnyük a nagyon gyors szaporodás, magas a fehérjetartalmuk és alacsony a költségigényük, mivel különböző ipari hulladékokon (pl. cukorgyári melasz) is jól szaporodnak. Fehérjeforrásként (halliszt, szója stb. helyettesítésére) kerülnek alkalmazásra. A mikroorganizmusok fehérje-előállításban való hatékonyságát szemlélteti, hogy míg egy 500 kg súlyú szarvasmarha egy nap 0,4 kg fehérjét állít elő, addig 500 kg élesztő optimális növekedési feltételek esetén napi 50 tonna fehérjét képes előállítani.

18.6. A génszűrés gyakorlati alkalmazása

A rekombináns DNS-technika alkalmazása már számos területen olyan új gyakorlati eredményeket hozott, amelyek új lehetőségeket nyitottak a humán és állatgyógyászatban, gyógyszeriparban és egyéb

fermentációs iparokban, valamint a mezőgazdaságban és élelmiszeriparban is.

A legfontosabb eredmények a gyógyászatban alkalmazható humán fehérjéknek génklónozással, fermentációs úton történő előállításával születtek. Az első sikeresen előállított és kereskedelmi forgalomba került humán fehérje az inzulin volt, amelyet *E. coli*-val termeltettek meg. Ez a fehérje szerkezetét és minden tulajdonságát tekintve megegyezik az emberi szervezet által termelt inzulinnal és jóval olcsóbb, mint a sertés hasnyálmirigyéből kivont gyógyászati inzulin.

19. ÁLTALÁNOS IMMUNOLÓGIA

19.1. Az immunrendszer általános bemutatása

Az immunitás fogalma a latin „*immunis*” kifejezésből ered, ami annyit jelent: védett valamitől. A fogalom mai értelemben a szervezet fokozott ellenállóképességét, védettségét foglalja magába valamely idegen anyaggal (kórokozó, toxin) szemben. Régóta megfigyelték, hogy bizonyos egyedeket nagy, fertőző járványok elkerültek, illetve túléltek a megbetegedést, vagy bizonyos betegségeken átesve védetté váltak a későbbi fertőzésekkel szemben.

Az első igazi tudományos megfigyelést *Jenner* tette, miszerint a tehénhimlőn átesett fejőnők nem betegednek meg feketehimlőben. Ezután tehenekből származó nyirokanyagot az emberek bőrébe juttatták.

Az immunitás maga a szervezet belső állandóságának védelme külső, idegen genetikai információkkal szemben. Az immunválasz során a sejtreakciók kerülhetnek előtérbe (celluláris immunitás) vagy a vérérvényben megjelenő ellenanyagok dominálnak (humorális immunitás). Ha az immunválaszban a szervezet egésze részt vesz szisztémás, amikor a reakció csak valamely szervre, szervrendszerre terjed ki, lokális immunitásról beszélünk. Az immunrendszer működésekor nem szabad megfigyelkednünk a kevésbé specifikus fagocita rendszerről sem.

Antigénnek nevezzük azon anyagokat, melyek a szervezetbe jutva immunválaszt indukálnak, s a velük szemben elkötelezett specifikus immunsejtekkel, illetve képződött ellenanyagokkal specifikusan reagálni képesek.

Az immunkompetencia (immunválasz képessége) kiváltásához tehát az antigénnek két fontos tulajdonsággal kell rendelkeznie: azaz immunválaszt kell kiváltania (immunogenitás) és reagálnia kell a kizárólagosan ellene termelődött sejtekkel, ellenanyagokkal (specifitás).

Az immunválaszok célja adott kórokozó elpusztítása vagy káros hatásának kiküszöbölése, s ha mindez az érpályában vagy a szövetek közötti térben, a szövetnedvekben megy végbe, a szervezetet nem károsítja.

Az immunitás kialakulhat természetes úton, de létrehozhatjuk mesterségesen is. Mindkét esetben beszélhetünk aktív és passzív formáról egyaránt.

Aktív immunitásnál a szervezet az antigénre reagálva maga állítja elő az ellenanyagokat, ez az immunitás lassabban alakul ki (7–14 nap), de általában erősebb, hosszabban tartó. Természetesen függ a kórokozótól, a szervezettől és a betegség természetétől. Lehet életre szóló (pl. bárányhimlő, sertéspestis), több évre szóló (pl. veszettség), vagy viszonylag rövidebb időszakokra kiterjedő (pl. influenza).

Természetes aktív immunitás alakul ki a szervezetben egy adott kórokozóval szemben a betegségen való áteséskor. Mesterségesen vakcinázáskor legyengített, elölt kórokozókat vagy azok valamely protektív, immunogén részét juttatjuk be a szervezetbe. Passzív védettség esetén a szervezet az ellenanyagokat „készben” kapja, amely védettség gyorsabban alakul ki, de nem tartós (2–3 hét általában), nem olyan erőteljes. Természetes passzív védettséget jelentenek emlősöknél a méhlepényen keresztül, illetve a kolosztrummal átjuttatott ellenanyagok.

A lymphoid őssejtek az embrionális élet során a májban és a saccus vitellinusban termelődnek. A magzati élet későbbi szakaszában, illetve a méhen kívüli életszakaszban ezt a funkciót a csontvelő látja el, innen kerülnek a lymphoid sejtek a nyirokszervekbe.

A centrális nyirokszervekből kikerülő lymphocyták egy része az ún. másodlagos vagy perifériás nyirokszervekben telepszik meg. Ide tartoznak a nyirokcsomók, a lép. A mandulák, a Peyer-plakkok (bél nyálkahártyájának párnaszerű nyiroktüszői) és egyéb magányos nyiroktüszők. A lép a vér és nyirok legnagyobb szűrője. A nyirokcsomók a nyirokereken mentén elhelyezkedve hálózák be az egész szervezetet, állandóan szűrve a nyirkot.

A védekezésben a főszerep a limfocitáknak jut. A limfocitáknak két típusát különböztetjük meg: a T- és a B-limfocitát. Az elsődleges vagy centrális (primaer) nyirokszervekben termelődnek és differenciálódnak a lymphocyták. Ide tartozik emlősöknél a thymus (csecsemőmirigy), a csontvelő, mint bursa ekvivalens szerv. A thymusban differenciálódott sejteket T-lymphocytáknak, a bursában és bursa ekvivalens szervekben termelődött sejteket B-lymphocytáknak nevezzük. A vérben valójában kevés limfocita található, de a szervezet minden területén vannak.

- **B-limfocita** – A nyiroksejtek másik csoportja a bél mentén található nyirokcsomókba és szervekbe vándorolnak és B-limfocitává alakulnak át. A keletkezett sejtek citoplazmáján, olyan endoplazmatikus háló jön létre, ami antitesteket fog termelni. Az antigén-specifikus sejtek gyorsan osztódnak a nyiroktüszőkben (klónozódnak). A sok sejt már eredményesen védekezhet.

A klónozott B sejtek közül néhányan *memóriasejtekké* alakulnak. Ezek hosszú életűek és lehetővé teszik, hogy az antigén ismételt megjelenése során a védekezés azonnal meginduljon. A B-limfociták soha nem védekeznek közvetlenül.

A nyiroktüszőkbe visszavonuló klónozódtott *plazmasejtek* endoplazmatikus hálózataiban termelődnek az antitestek, immunglobulinok.

Az antitestek az antigénnel összekapcsolódva olyan komplexet alkotnak, amiket a falósejtek felismernek és bekebeleznek. Néhány közülük hosszú életű *memóriasejtté* alakul. A B-limfociták főként az idegen molekulák elleni védekezésben hatékonyak.

- **A T-limfociták** – A vörös csontvelőben termelődő őssejtek egy csoportja a csecsemőmirigybe (Thymus) vándorol és antigén érzékeny T-limfocita lesz belőlük. Ezek antigén érzékeny sejtek, amelyek beérésük után kikerülnek a vérbe, valamint a nyirokrendszerbe. Fontos szerepük a védekezés szabályozása, az antigénnel összekapcsolódva azok elpusztítása. A citotoxikus T-sejtek enzimeikkel bontják le a bekerült kórokozó sejteket. A segítő (helper) T-sejtek a többi fehérvérsejt működését szabályozzák. A T-limfocita felelős a szervbeültetést követő esetleges kilökődésért is.

A **myeloid rendszer** sejtjei gyorsan reagálnak az idegen anyagokra, de rövid életűek. A csontvelőből származnak, ezek teszik ki a vérben keringő fehérvérsejtek 60–70 %-át, képesek áthatolni az erek falán. Szabálytalan alakú, szegmentált magjuk van, citoplazmájukban lévő granulomok festődése szerint megkülönböztetünk neutrofil, eozinofil és bazofil granulocytákat.

- A **neutrofil granulocyták** vagy gennysejtek érkeznek elsőként a kórokozók fogadására, az idegen anyagokat bekebelezik.

- A **bazofil granulocyták** gyulladásos reakciókban vesznek részt, citoplazmájukban levő granulumaikból heparin, hisztamin és egyéb gyulladásokkeltő mediátorok szabadulnak fel.
- Az **eozinofil granulocyták** képesek a bekebelezésre, de elsősorban degranulációjukkal allergiás folyamatokban vesznek részt (pl. paraziták elleni védekezés).

Az antitestek vagy immunglobulinok összekapcsolódnak az antigénnel, és antigén–antitest-komplexet alkotnak.

Az antitesteknek 5 típusát különböztetjük meg:

- **IgG** - Az újszülöttet IgG-típusú immunglobulinok védik a mikroorganizmusoktól az élet első heteiben. Antibakteriális és antivirális hatású. Ide tartoznak az antitoxinok.
- **IgA** - a nyál, a könny, az orrváladék, a légúti váladék, illetve a gyomor–bélrendszer váladékának az ellenanyaga.
- **IgM** - immunológiai aktivitása nagy, mert felületén számos antigén kötőhely található.
- **IgD** - természetes ellenanyag, de csak nyomokban található meg.
- **IgE** - allergénnel kapcsolódva allergiás reakciót okoz: az általa aktivált anyagokból ilyenkor különböző mediátorok szabadulnak fel, amelyek a tüneteket okozzák.

Az immunrendszer működésének szabályozása

- A **helper T-limfociták** segítik az immunrendszer sejtjeinek a szaporodását, serkentik a szupresszor (elnyomó) T-sejt szaporodását is, hiányában lassul a B-limfociták szaporodása.
- A **szupresszor T-limfocita** gátolja az immunrendszer sejtjeinek termelődését.
- **Hormonhatások:** a szteroidok fokozott mennyisége gátolja az immunrendszer sejtjeinek működését.
- **Idegi hatások:** lelki és pszichés hatások gátolják az immunrendszer sejtjeinek működését.

19.2. Az immunválasz lépései

- A **B-sejt** talál egy antigént, ami illik az ő receptorába. Tehát felismer egy bizonyos kórokozót.
- A **B-sejt** vár, amíg egy **helper T-sejt** nem aktiválja.
- Aztán a **B-sejt** átalakul **plazmasejtté** és **memóriasejtté**.
- A **plazmasejt** antitesteket termel, ami specifikusan kötődik az adott kórokozó receptoraihoz.
- A **makrofágok** (természetes immunitás) így már képesek felismerni a kórokozókat és bekebelezni őket.
- Ha ugyanaz a kórokozó újra bejut a szervezetbe, a **memóriasejtek** képesek az immunrendszert sokkal gyorsabban aktiválni.

Összefoglalva az immunrendszer működése az idegen anyagok ellen az immunválasz, ami a következő:

- behatol a szervezetbe egy **antigén** anyag;
- a **T-limfociták** felismerik és beindítják a védekezési folyamatot;
- a **B-limfociták** antitesteket termelnek;
- az **antitestek** kapcsolatba lépnek az **antigénnel**, s **antigén-antitest-komplexet** alkotnak;
- a **limfociták** hatására felszabaduló anyagokat érzékelő **falósejtek** aktiválódnak;
- a **falósejtek** bekebelezik a képződött **komplexet** és elpusztítják azt;
- a **granulociták** elpusztulnak és genny keletkezik;
- a **T-memória** megjegyzi az antigénre jellemző tulajdonságokat;
- a **B-memória** megjegyzi az adott antigén elleni antitestre jellemző aminosav sorrendet.

Immunitás lehet:

Sejthez kötött (cellularis) – a lymphocytákat a Thymus – csecsemőmirigy termeli. Innen a nyirokszövetbe vándorolnak a T-lymphocyták, a testidegen antigént felismerik és elpusztítják. Védik a szervezetet a vírusfertőzésekkel szemben is.

Testnedvben keringő (humoralis) B-lymphocyták a bél, a feregnyúlvány, a mandulák állományában és a lép nyiroktüszőiben termelődnek. Antigénhatásra immunglobulinokat termelnek: IgA, IgG, IgM, IgE, IgD.

19.3. Immunrendszer kóros állapotai

Fehérvérsejtek számának növekedése fertőzések, gyulladások, allergiás betegségek esetén, leukémia kialakulásakor. Fehérvérsejtek számának csökkenése képzési zavar esetén vagy a fehérvérsejtek fokozott pusztulásakor (autoimmun problémák, kemoterápia). Az immunrendszer működése három módon lehet elégtelen: éretlenség, genetikai hiba, másodlagos ártalom.

Az immunhiányos betegségek lehetnek kombinált eredetűek (veszélyes + káros környezeti hatások), de hátterük rendszerint már gyermekkorban kiderül. Nemritkán csontvelő-átültetésre kerül sor. A probléma megnyilvánulhat gyakori, visszatérő fertőzésekben (arcüreg-, tüdőgyógyulás). Ilyenkor kb. havonta immunglobulin- infúziós kezelésben részesül a beteg, s így megelőzhető a potenciálisan életveszélyes fertőzések jelentkezése.

- **Másodlagos immunhiány** számos okból létrejöhet. Laikus közönség számára legismertebb az AIDS, a szerzett immunhiányos tünetegyüttes. A HIV-vírus az egyik legfontosabb immunsejtet teszi tönkre, így jönnek létre életveszélyes fertőzések és dagánatok. Mára az AIDS jól kezelhető krónikus betegséggé szelídült. Jóval gyakoribb az egyéb okokból keletkező másodlagos immundefektus. A szervezet általános leromlása esetén az immunműködések is gyengülnek. Ilyen a súlyos alultápláltság, vitamin- és nyomelemhiányok, környezeti ártalmak, súlyos akut betegségek, műtét utáni állapot, illetve a legtöbb krónikus betegség.
- **Autóimmun betegség:** ilyenkor az immunrendszer különböző okok miatt a szervezet anyagait tekinti idegennek, és a saját sejtet, szerveket támadja meg. Ezek a folyamatok vezetnek az ún. autoimmun betegségek kialakulásához. Az egyik ilyen kórkép, a

sclerosis multiplex esetében az idegrostokat védő fehérje- (myelin) hüvely károsodik a saját anyagok megtámadó T-limfociták, makrofágok, ellenanyag-molekulák és a komplementrendszer működése következtében.

- **Immunrendszeri túlérzékenység:** az immunrendszer fokozott (és „kisiklott”) működése okozza az allergiás reakciók kialakulását. Az allergia kialakulásában az adott egyén genetikai adottságai mellett a környezeti tényezők és az immunrendszer szabályozó működésének zavarai is szerepet játszanak. Az allergiás reakció kulcsszereplői a vérben található basophil leukociták és az elszórtan a test minden részében jelen lévő ún. hízósejtek, valamint az allergén hatására termelődő jellegzetes IgE-típusú ellenanyag molekulák. Az allergén hatására az IgE ellenanyag közvetítésével aktiválódnak a sejtek, ami az allergiás reakció jellemző tüneteit okozó anyagok kiszabadulását eredményezi a sejtekből.

FELHASZNÁLT ÉS AJÁNLOTT SZAKIRODALOM

- BIRÓ S. – HORNOK L. – KEVEI F. – KUCSERA J. – MARÁZ A. – PESTI M. – SZÜCS GY. – VÁGVÖLGYI CS. (2001): Általános mikrobiológia. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 308 p.
- FEKETE M. (2004): Mikrobiológia I. (Általános mikrobiológia) távoktatási jegyzet, Hódmezővásárhely, 57 p.
- POSTA K. – LAKINÉ SASVÁRI Z. – PETHŐNÉ RÉTHÁTI B. – MAYER Z. (2017): Mikrobiológia gyakorlati jegyzet a Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar hallgatói részére. Szent István Egyetem, Gödöllő, 62 p.
- SZABÓ I.M. (1998): A bioszféra mikrobiológiája I, II, III. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- АБРАТ, О.Б. (2016): Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни Мікробіологія. ДВНЗ Прикарпатський Національний Університет Імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, 70 с.
- ВЕКІРЧИК, К. (2002): Мікробіологія з основами вірусології: Навчальний посібник. ЦУЛ, 312с.
- ВЕКІРЧИК, К. (2002): Практикум з мікробіології: Навчальний посібник, ЦУЛ, 144 с.
- КЛИМНЮК, С.І. – СИТНИК, І.О. – ШИРОБОКОВ, В.П. – ТВОРКО, М.С. – ТКАЧУК, Н.І. – РОМАНЮК, Л.Б. – ПОКРИШКО, О.В. – ПОНЯТОВСЬКИЙ, В.А. (2018): Мікробіологія. Навчальний посібник до практичних занять для студентів закладів вищої освіти МОЗ України, Нова Книга, Вінниця, 27 с.
- ЛЮТА, В.А. (2001): Мікробіологія з основами вірусології та імунології: Підручник. ЦУЛ, 2001. 280с.
- ПРОТЧЕНКО, П. (2002): 3. Загальна мікробіологія, вірусологія, імунологія: Навчальний посібник. ЦУЛ, 298с.
- СИТНИК, І.О. (2000): Загальна мікробіологія, вірусологія, імунологія: Підручник. ЦУЛ, 392 с.

К 19 Степан Коложварі– Ласло Широкаі-Кудрон– Леонард Іллар: Практичний посібник для мікробіології.

Науково-методичне видання Науково-дослідного центру ім. Іштвана Фодора і Кафедри біології та хімії при Закарпатському угорському інституті ім. Ференца Ракоці II / Редактори: Степан Коложварі, Ласло Широкаі-Кудрон та Леонард Іллар– Берегове: ЗУІ ім. Ф.Ракоці II 2024. – 0 с. (угорською мовою)

Видання допомоги студентам біологічних та природничих спеціальностей (Закарпатського угорського інституту ім. Ференца Ракоці II) у вивченні мікробіології.

Науково-методичне видання
Науково-дослідного центру ім. Іштвана Фодора і Кафедри біології та хімії
Закарпатського угорського інститут ім. Ференца Ракоці II

Мікробіологія I
(курс лекцій)
2024 р.

Рекомендовано до друку Вченою радою Закарпатського угорського інституту
ім. Ф.Ракоці II (протокол № 22. від 26. серпня 2024 р.)

Підготовлено Видавничим відділом спільно з кафедрою біології та хімії, і Науково-
дослідним центром ім. Іштвана Фодора Закарпатського угорського інститут ім.
Ференца Ракоці II

Редактори:
Степан Коложварі, Ласло Шірокаї-Кудрон та Леонард Іллар

Рецензенти:
Ержебет Козут - Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці
II, Кафедра біології та хімії, завідувач кафедри, доцент
Єва Андрик - Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II,
Кафедра біології та хімії, завідувач кафедри, доцент / Науково-дослідний
центр імені Іштвана Фодора, науковий співробітник

Технічне редагування та верстка: *Ласло Шірокаї-Кудрон, Степан Коложварі*
Обкладинка: Степан Коложварі

Видавництво: Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II
(адреса: пл. Кошута 6, м. Берегове, 90202. Електронна пошта: foiskola@kmf.uz.ua)
*Статут «Закарпатського угорського інституту ім. Ференца Ракоці II» (Прийнято
Загальними зборами ЗУІ ім. Ф.Ракоці II, протокол №2 від 11.11.2019 р.,
зареєстровано в реєстрі за №6179 приватним нотаріусом І.В. Мацолою).*