

# Spórás baktériumok molekuláris taxonómiája

## Történeti visszapillantás

Deák Tibor

### ÖSSZEFOGLALÓ

A BAKTERIOLÓGIA KEZDETEI ÓTA A SPÓRÁS BAKTÉRIUMOK AZ ÉRDEKLŐDÉS HOMLOKTERÉBEN ÁLLTAK. AZ EMBERI ÉS ÁLLATI KÓROKOZÓKON KÍVÜL A SPÓRÁS BAKTÉRIUMOK NAGY JELENTŐSÉGRE TETTEK SZERT AZ ÉLELMISZEREK ROMLÁSÁVAL IS, MIVEL A SPÓRÁK A TARTÓSÍTÓ MŰVELETEK UTÁN IS ÉLETBEN MARADTAK. AZ ÉVEK SORÁN SZÁMOS ÚJ FAJT ÍRTAK LE ÉS A SPÓRÁS BAKTÉRIUMOK RENDSZEREZÉSE ÉS MEGHATÁROZÁSA EGYRE BONYOLULTABBÁ VÁLT. A MOLEKULÁRIS VIZSGÁLATOK ÚJ ALAPOKRA HELYEZTÉK A SPÓRÁS BAKTÉRIUMOK OSZTÁLYOZÁSÁT. A KÖZLEMÉNY ÁTTEKINTI E FONTOS MIKROBA-CSOPORT HELYZETÉBEN AZ UTÓBBI ÉVEKBEN BEKÖVETKEZETT VÁLTOZÁSOKAT, ÉS ÁTTEKINTÉST AD A BACILLUS-OK ÉS CLOSTRIDIUMOK, VALAMINT SZÁMOS ÚJ NEMZETSÉG FAJÁIRÓL, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZOK ÉLELMISZERIPARI VONATKOZÁSÁIRA.

### INHALT

SEIT DEM BEGINN DER BAKTERIOLOGIE STEHEN DIE SPORENBAKTERIEN IM MITTELPUNKT DES INTERESSES. NEBEN DEN MENSCHLICHEN UND ANIMALISCHEN KRANKHEITSERREGERN HABEN DIE SPORENBACTERIEN – PARALLEL MIT DEM VERDERBEN DER LEBENSMITTEL – EINE BEDEUTUNG GEWONNEN, WEIL DIE SPOREN AUCH DIE KONSERVIERUNGSBEHANDLUNG ÜBERLEBEN. IM LAUFE DER JAHRE WURDEN VIELE NEUE ARTEN BESCHRIEBEN UND DIE TAXONOMIE UND IDENTIFIZIERUNG VON SPORENBACTERIEN WURDE IMMER KOMPLIZIERTER. DIE MOLEKULAREN UNTERSUCHUNGEN HABEN DER TAXONOMIE VON SPORENBACTERIEN EINE NEUE BASIS VERLIEHEN. DIESE PUBLIKATION GIBT EINEN ÜBERBLICK ÜBER DIE NEUESTEN VERÄNDERUNGEN BEZÜGLICH DIESER WICHTIGEN MIKROBENGROUPE UND ÜBER DIE ARTEN VON NEUEN GATTUNGEN, VON BAZILLEN UND CLOSTRIDIEN HIN SICHTLICH DEREN LEBENSMITTELINDUSTRIELLEN BEZIEHUNGEN.

### SUMMARY

SINCE THE BEGINNING OF BACTERIOLOGY SPORULATED BACTERIA HAVE BEEN IN THE CENTRE OF INTEREST. BESIDES HUMAN- AND ANIMAL PATHOGENS, SPORULATED BACTERIA ATTRACTED SIGNIFICANCE WITH THE DETERIORATION OF FOODSTUFFS AS WELL, SINCE SPORES SURVIVED EVEN AFTER THE PRESERVATION TREATMENT. DURING THE YEARS MANY NEW SPECIES WERE DESCRIBED AND ALSO THE TAXONOMY AND IDENTIFICATION OF SPORULATED BACTERIA BECAME MORE AND MORE COMPLICATED. THE MOLECULAR ANALYSES PROVIDED A NEW BASIS FOR THE TAXONOMY OF SPORULATED BACTERIA. THIS PUBLICATION EPITOMIZES, IN THE CASE OF THIS IMPORTANT MICROBE-GROUP, THE CHANGES TAKEN PLACE RECENTLY, AND OUTLINES THE SPECIES OF BACILLI, CLOSTRIDIA AND MANY NEW GENERA, CONSIDERING THEM ESPECIALLY IN THEIR RELATION TO FOOD INDUSTRY.

A bakteriológia kezdetei óta a spórás baktériumok az érdeklődés homlokterében álltak. Ferdinand Cohn, Robert Koch egyik munkatársa, 1872-ben írta le a *Bacillus subtilis*-t, az első olyan baktériumot, amelynek sejtleveleiben kitartó képlet, endospóra képződött. Néhány évvel később maga Koch nevezte el a lépfene rettetett kórokozóját *Bacillus anthracis*-nak. Vele egyidőben, 1880 táján, végezte Louis Pasteur azokat a vizsgálatokat, amelyek eredményeként vakcinát dolgozott ki a juhok tömeges elhullását okozó baktérium ellen. Még a 19. század vége előtt sikerült megvalósítani a levegő kizárásával történő tenyésztést, és ismerték fel az anaerob spórás baktériumokat, köztük elsőként a veszélyes patogéneket, mint a tetanusz (*Clostridium tetani*, Arthur Nicolaier, 1884), a gázugrénna (*Clostridium welchii*, William Welch, 1892), a kolbászmelegedés (*Clostridium botulinum*, E. van Ernmegem, 1896) kórokozóit. Már Pasteur igazolta, hogy a spórás baktériumok elsődleges élőhelye a talaj, innen izolálta Szergej Vinogradszkij 1895-ben a nitrogénkötést végző *Clostridium pasteurianum*-ot. Az emberi és állati kórokozók kivételével a spórás baktériumok nagy jelentőségre tettek szert az élelmiszerek romlásával is, mivel a spórák a tartósító műveletek után is életben maradtak. A *Clostridium botulinum*-ot Ernmegem sózott sonkából izolálta, amelynek elfogyasztása egy egész zenekar, több mint 20 muzsikussal megbe-

zervek biztonságos sterilizálásának alapjait csak az 1920-as évek elején dolgozta ki J. R. Esty és K. F. Meyer, a *Clostridium botulinum* spóráinak nagymértékű elpusztítására méretezve a hőkezelés-szükségletet (12D elv).

Ezeknek a kutatóknak és az őket követő számosaknak a munkáival vált ismertté a spórás baktériumok két nagy családja, a *Bacillaceae* és a *Clostridiaceae*. Az előbbi az aerob, az utóbbi az anaerob tulajdonságú baktériumokat foglalta magába, és mindkettőjük közös jellemzője volt a nyugvó állapotú, különlegesen ellenálló képlet, az endospóra. Az évek során mind több, újabb és újabb fajt írtak le, és rendszerezésük, amelynek pedig meghatározásukat, identifikálásukat kellett volna szolgálni, egyre bonyolultabbá és megbízhatatlanabbá vált. Az általánosan elfogadott baktérium határozókönyv (Bergey's Manual) 1986-ban már közel száz *Bacillus* és több mint 120 *Clostridium* fajt sorolt fel.

### Molekuláris taxonómia

A mintegy 30 évvel ezelőtt megkezdődött molekuláris vizsgálatok új alapokra helyezték nemcsak a mikroorganizmusok, hanem az egész élővilág rendszerezését (lásd az előző közleményt). A genetikai állományt (a genotípust) alkotó nukleinsavak határozzák meg a szervezetek tulajdonságait (a megnyilvánuló fenotípusos jellemvonásokat). A dezoxiribonukleinsav (DNS) összetétele (gua-

min és citozin aránya, G+C mol%), illetve a nukleotidbázisok sorrendje (szekvenciája) tükrözi ezeket a tulajdonságokat. A DNS teljes szekvenciája helyett megfelelő és elegendő a fehérjeszintézisben szereplő riboszómák egyik összetevőjének, az un. 16S rRNS-nek (riboszóma-ribonukleinsavnak) a nukleotid-szekvenciáját vizsgálni, ami csak mintegy 1200 nukleotid sorrendjének meghatározását jelenti. A szekvenciák hasonlósága illetve különbsége a szervezetek rokonsági fokát jelzi, és egyben utal a fajok leszármazási útjára, evolúciós kapcsolataira. Ezen alapul a fejlődéstörténeti rendszerezés, a molekuláris filogenetikai osztályozás, amely mentes a változékony fenotípusos sajátosságokon nyugvó, szubjektív hibákkal terhelt rendszerezéstől. Bár ma már több ezer faj 16S rRNS szekvenciája ismert (és több száz teljes genom-szekvencia is), ami a korszerű filogenetikai rendszer vázát képezi, az identifikálás még nem nélkülözheti a fenotípusos tulajdonságok vizsgálatát.

2001-ben jelent meg a Bergey's Manual újabb kiadásának első kötete, amely először közölte a baktériumok filogenetikai rendszerének áttekintését. A spórás baktériumok a Gram-pozitív sejtfalú szervezetek un. kis G+C mol%-ú törzsébe tartoznak, számos más, nem spórás baktériummal, sőt, sejtfal nélküli baktériumokkal együtt (*I. táblázat*). A Firmacutes nevet viselő törzs (phylum) két osztályt tartalmaz, a klosztridiomok, illetve a bacillu-

sok képezik, a harmadik osztályba a sejt-fal nélkülieket sorolták (velük itt nem foglalkozunk). Mind a klosztridiumoknak, mind a bacilusoknak két-két rendje van (az utóbbiak egyikét, a tejsavbaktériumokat, az említett előző közlemény tárgyalta).

**1. táblázat**  
A baktériumok filogenetikai rendszerének részlete, a Firmacutes törzs

1. osztály Clostridia	
1. rend Clostridiales (8 család)	
2. rend Thermoanaerobacteriales (1 család)	
3. rend Haloanaerobiales (2 család)	
2. osztály Mollicutes	
3. osztály Bacilli	
1. rend Bacillales (9 család)	
2. rend Lactobacillales (6 család)	

### Bacillusok

A bacilusok történetileg kialakult fogalmát, miszerint ezek spórás, aerob, kataláz-pozitív, pálcikaalakú baktériumok, a megismert számos új faj már a molekuláris vizsgálatok beköszönte előtt szétfeosztette. A nevüket változatlanul viselő rendben elkülönítettek más spórás baktérium családokat és nemzetségeket, mint a kataláz-negatív *Sporolactobacillus*, a gömb alakú *Sporosarcina* és a micéliumos *Thermoactinomyces*. Sőt, a különféle endospórás baktériumokkal közeli rokonságot mutató spórátlan pálca- és gömb alakú baktériumok családjai és nemzetségei (pl. *Planococcus*, *Staphylococcus*, *Listeria*) is besorolást nyertek. A szűkebb értelemben vett *Bacillus* nemzetségből 1990 után filogenetikai alapon választottak le több olyan nemzetséget, amelyekbe jól ismert fajok tartoznak, és több új nemzetséget is leírtak (2. táblázat). A mai *Bacillus* nemzetség a sorozatos átsorolások után is még mindig több mint száz fajt tartalmaz, és mind élettani, mind ökológiai szempontból heterogén. Vannak közöttük heterotrófok és kemolitotrófok, acidofilek és alkalofilek, pszichrofilek és termofilek egyaránt. A fajok lebontóképessége széleskörű, a keményítőtől a pektinig és a cellulózig terjed, oxidálni tudják a szervesetlen vas- és mangánvegyületeket éppúgy mint a szénhidrogéneket, lehetnek nitrifikálók, denitrifikálók és nitrogénköztők. Ilymódon a természetben, különösen a talajban alapvető szerepet játszanak az anyagforgalomban. Több fajuk a növényi és az állati szervezethez alkalmazkodott, és patogénné vált. A *Bacillus* és rokonnemzetségek jellegzetes képviselőit a 3. táblázat mutatja be.

**2. táblázat**  
Más nemzetségekbe átsorolt bacilusok és új nemzetségek

Korábbi <i>Bacillus</i> -fajokat tartalmazó nemzetségek	
<i>Alicyclobacillus</i> (1992)	9 faj
<i>Aneurinibacillus</i> (1996)	4 faj
<i>Brevibacillus</i> (1996)	12 faj
<i>Geobacillus</i> (2001)	16 faj
<i>Paenibacillus</i> (1994)	59 faj
<i>Virgibacillus</i> (1998)	8 faj
Új aerob spórás baktériumnemzetségek	
<i>Amphibacillus</i> (1990)	3 faj
<i>Gracilibacillus</i> (1999)	2 faj
<i>Halobacillus</i> (1996)	5 faj
<i>Marinibacillus</i> (2001)	2 faj
<i>Sulfobacillus</i> (1991)	3 faj
<i>Thermobacillus</i> (2000)	1 faj
<i>Ureibacillus</i> (2001)	2 faj

**3. táblázat**  
Bacillusok és rokonnemzetségek fajainak különleges tulajdonságai

Termofil	<i>Geobacillus stearothermophilus</i>
Termofil, acidofil	<i>Bacillus coagulans</i>
Pszichrofil	<i>Sporosarcina globispora</i>
Alkalifil	<i>Bacillus alcalophilus</i>
Acidofil	<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>
Keményítőtöbontó	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
Cellulózbontó	<i>Bacillus circulans</i>
Pektinbontó	<i>Bacillus macerans</i>
Kitinbontó	<i>Paenibacillus chitinolyticus</i>
Aromás vegyületeket bont	<i>Bacillus benzoovorans</i>
Szénhidrogéneket bont	<i>Geobacillus thermoleovorans</i>
Nitrogénköztő	<i>Paenibacillus polymyxa</i>
Denitrifikál	<i>Bacillus licheniformis</i>
Fakultatív kemolitotróf	<i>Bacillus schlegelii</i>
Antibiotikumot képez	<i>Bacillus subtilis</i>
Rovarpatogén	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Humán- és állatpatogén	<i>Bacillus anthracis</i>
Ételmérgezést okoz	<i>Bacillus cereus</i>

Sokoldalú anyagcsere-képességük és élettani tulajdonságaik következtében, különösen a környezeti tényezőknek ellenálló endospórának köszönhetően, számos bacilusfaj általánosan előfordul nyers- és feldolgozott élelmiszerekben, azok romlásának gyakori okozói. Néhány példájukat a 4. táblázat tekinti át. Felhívjuk a figyelmet több ismert faj megváltozott nevére, valamint élelmiszerekből újabban leírt fajokra. Ilyenek pl. az *Alicyclobacillus* nemzetség képviselői, amelyek elsősorban gyümölcslevekben találhatóak. Számos különlegesen hőtűrő spórájú faj ismert. Nevezetes a zöldségkonzervek simasavanyodását okozó *Paenibacillus stearothermophilus*, hozzá hasonló hőtűrű fajokkal találtak újabban ultraspórtörözött tejben (*Aneurinibacillus thermoaerophilus*) és cukorrépalében (*Bacillus sporothermodurans*).

**4. táblázat**  
Élelmiszerek romlását okozó gyakoribb *Bacillus* és rokonfajok

<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	gyümölcslevek
<i>Bacillus badius</i>	pasztörözött tej
<i>Bacillus cereus</i>	baromfihús, sajt, rizs, csirák, zöldségek
<i>Bacillus coagulans</i>	paradicsomkonzervek, tejpor
<i>Bacillus lentus</i>	fűszerek
<i>Bacillus licheniformis</i>	élelmiszerek általában
<i>Bacillus pumilus</i>	élelmiszerek általában, igen gyakori
<i>Bacillus simplex</i>	zöldségpüré
<i>Bacillus subtilis</i>	élelmiszerek általában, gyakori
<i>Brevibacillus brevis</i>	tészta, rizs
<i>Geobacillus stearothermophilus</i>	zöldségkonzervek
<i>Paenibacillus macerans</i>	gyümölcskonzervek

Élelmiszerekkel kapcsolatban különleges jelentőségű a *Bacillus cereus*, amely élelmiszermérgezési tünetekkel, gyomor- és bélbántalmakkal járó toxint termel, az esetek többségében magában az élelmiszerben, ritkán a bélcsatornában megtelepedve. A *B. cereus* szoros rokonságába tartozó fajok közül erősen patogén, de nem élelmiszerekkel terjed a *B. anthracis*, míg a *B. thuringiensis* rovarpatogén, a *B. mycoides* pedig ártalmatlan szaprobiot. A *B. cereus*-on kívül néhány más faj (pl. *B. lentus*, *B. pumilus*, *Brevibacillus brevis*) egyes törzseit is izolálták élelmiszermérgezés okozóként, de csak kivételes esetekben.

### Klosztridiumok

A bacilusokhoz képest a spórás baktériumok másik nagy csoportjának, a klosztridiumoknak az osztályozása jóval kevésbé megoldott. A *Clostridium* néven leírt mintegy 200 faj közti heterogenitás rendkívül nagyfokú. Közéjük általában az endospórát képző, Gram-pozitív, anaerob, pálcikaalakú baktériumok tartoznak. Néhányuk fakultatív aerobnak bizonyult, ezeket átsorolták a bacilusok közé (*Paenibacillus*, *Oxalophagus*). Mások aerotoleránsak ugyan, de spórázni csak anaerob viszonyok közt képesek (pl. *C. histolyticum*). Sejténként általában csak egy spóra képződik, amely gyakran szélesebb a sejténél és azt kidomborítja. Külön nemzetségbe helyezték az akár öt spórát is képző fajt (*Anaerobacter*). Egyesek festődése Gram-negatív, bár sejtfal szerkezetük Gram-pozitív jellegű (*Sporomusa*, *Sporohalobacter*). Csak egy faj gömb alakú (*C. coccoides*), viszont filogenetikailag nagyon közeli rokonság mutatkozik a régről ismert, osztódás után jellegzetes nyolcas sejtszo-

portokat képző *Sarcina*-kal. Utóbb megismertek olyan tulajdonságú, anaerob, spórás baktériumokat, amelyek nem illettek a heterotróf klosztridiumok közé, mint a fototróf *Heliobacterium* nemzetség. Már 1965-ben leválasztották a klosztridiumok közül a szulfátredukáló fajokat, *Desulfotomaculum* néven. A klosztridiumok közt az utóbbi években végrehajtott átsorolásokat az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat

**Klosztridiumok átsorolása más nemzetségekbe**

Korábban elfogadott nemzetségekbe került fajok	
<i>C. barkeri</i>	<i>Eubacterium barkeri</i>
<i>C. bryantii</i>	<i>Syntrophospora bryantii</i>
<i>C. thermohydrosulfuricum</i>	<i>Thermoanaerobacter thermohydrosulfuricum</i>
<i>C. thermosaccharolyticum</i>	<i>Thermoanaerobacterium thermohydrosulfuricum</i>
<i>C. durum</i>	<i>Paenibacterium durum</i>
Klosztridiumokból létesített új nemzetségek	
<i>C. thermoaceticum</i>	<i>Moorella thermoacetica</i>
<i>C. villosum</i>	<i>Filifactor villosus</i>
<i>C. pfennigii</i>	<i>Oxobacter pfennigii</i>
<i>C. oxalicum</i>	<i>Oxalophagus oxalicus</i>
<i>C. fervidus</i>	<i>Caloramator fervidus</i>
<i>C. lortetii</i>	<i>Sporohalobacter lortetii</i>
<i>C. quercicolum</i>	<i>Dendrosporobacter quercicola</i>

Az 1990-es évek óta végzett nukleinsav-szekvencia és egyéb molekuláris vizsgálatok feltárták, hogy az átsorolások ellenére a klosztridiumok filogenetikailag nem egységesek, köztük szerteágazó rokonsági vonalakat lehet meghatározni. A filogenetikai vonalak azonban nem esnek egybe a klosztridiumok közt mutatózó jellegzetes élettani tulajdonságokkal. A leginkább zavartkeltő megállapítások szerint olyan csoportok körvonalazódnak, amelyekbe endospórás és spórátlan fajok és nemzetségek egyaránt tartoznak. Ráadásul sok *Clostridium* faj szorosabb rokonságot mutat távolálló baktériumokkal, mint más klosztridiumokkal; így pl. egyesek még a sejtfalmentes mikoplazmákhoz is közelebb állnak, sőt, mások nem is a Firmicutes, hanem a Fusobacteria törzsbe illenek (6. táblázat).

A még közel sem végleges vizsgálatok szerint a klosztridiumok közt nem kevesebb, mint 20 filogenetikai vonal körvonalazható. Közülük csak négy tartalmaz többségükben anaerob spórás fajokat, a többiekben viszont több-kevesebb *Clostridium* faj sorolódik a zömében spórátlan anaerob baktériumok közé. A szűkebb értelemben vett *Clostridium* nemzetségbe legalább 60 faj tartozik, azonban a gömb alakú *Sarcina* fajokkal együtt. Külön csoportot képeznek további klosztridiumok és a közülük létrehozott új nem-

6. táblázat

**A klosztridiumok és rokon anaerob spórátlan baktériumok főbb filogenetikai vonalai**

Clostridiaceae
1. Szűk értelemben vett <i>Clostridium</i> nemzetség <i>C. butyricum</i> , <i>C. acetobutylicum</i> , <i>C. pasteurianum</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Sarcina ventriculi</i> és mások
2. <i>C. histolyticum</i> , <i>C. proteolyticum</i> , <i>Caloramator</i> , <i>Oxobacter</i>
3. <i>C. cellobioparum</i> , <i>C. cellulyticum</i>
4. <i>C. bifementans</i> , <i>C. sordellii</i> , <i>C. felsineum</i>
Lachnospiraceae-Ruminococcaceae
<i>C. roticum</i> , <i>C. propionicum</i>
Peptostreptococcaceae
<i>Filifactor</i>
Eubacteriaceae
<i>C. acidurici</i> , <i>C. purinolyticum</i>
Acidaminococcaceae-Selenomonadaceae
<i>Sporomusa</i>
Syntrophomonadaceae
<i>Syntrophospora</i>
Thermoanaerobacteriaceae
<i>Thermoanaerobacter</i> , <i>Moorella</i>
Haloanaerobacteriaceae
<i>Sporohalobacter</i>
Mycoplasmatales
<i>C. ramosum</i> , <i>C. innocuum</i>
Fusobacteria
<i>C. rectum</i>

zetségek (*Caloramator*, *Oxobacter*). Egy további jól körülhatárolható csoportot képeznek a többségükben termofil és cellulózbontó klosztridiumok. Nagyon sok *Clostridium* faj más nemzetségekkel vegyesen alkot egy filogenetikai vonalat, köztük számos spórátlan is (*Ruminococcus*, *Coprococcus*, *Butyrivibrio*, *Lachnospira*). Érdekességként ide illeszkedik egy óriási méretű, különleges, sokspórás baktérium, amelyet *Epulopiscium* néven először halakban élősködő protisztaként írtak le 1988-ban; csak később derült ki, hogy valójában prokariota szervezet, azok között az eddig ismert legnagyobb.

A további filogenetikai vonalakat túlnyomórészt spórátlan baktériumok alkotják, a közéjük sorolható klosztridiumokkal. Ilyenek csoportok rajzolódhatnak ki az *Eubacterium*, a *Peptostreptococcus*, illetve a *Selenomonas-Acidaminococcus* nemzetségek körül. Az utóbbihoz tartozik néhány Gram-negatív nemzetség is, mint az endospórás *Sporomusa*, a spórátlan *Megasphaera* és *Pectinatus* is. Ez a két nemzetség jól ismert a sörök romlását okozó baktériumok között. A klosztridiumok rendjével távolabbi rokonságot mutató fajok kerültek a *Thermoanaerobacterium*-ok és a *Haloanaerobacterium*-ok közé (*Moorella*, illetve *Sporohalobacter*); míg teljesen bizonytalan a mikoplazmákkal, illetve a fuzobaktériumokkal filogenetikai affinitást tanúsító néhány faj helyzete (*C. ramosum*, *C. innocuum*, illetve *C. rectum*).

A klosztridiumok mindenütt megtalálhatók a természetben, talajban, vízi üledékekben, nemcsak anaerob környezetben, hanem olyan körülmények között is, amelyek látszólag aerobok, azonban mikroméreteken az élőhely mégis oxigénmentes. Spóráik túlélnek az oxigén hatását, a kiszáradást és a nagy hőmérsékletet, majd kedvező feltételek közt, alkalmas tápanyagok jelenlétében, kicsíráznak, majd elszaporodnak.

A klosztridiumok által felhasználható tápanyagok köre rendkívül széles. E tekintetben négy táplálkozási típust lehet megkülönböztetni, úgymint szénhidrátbontók (szacharolitikusak), fehérjebontók (proteolitikusak), szénhidrát- és fehérjebontók, valamint különleges, specializált tápanyag-hasznosítók (7. táblázat). A szénhidrátbontók hexóz- és pentózcukrokat, poliszacharidokat egyaránt felhasználhatnak. Utóbbiakat különféle extracelluláris enzimekkel hidrolizálják, köztük az összetett, ellenálló polimereket (cellulózt, kitint) is. A klosztridiumokra jellemző lebontó anyagcsereút a vajsavas erjedés. Számos faj a vajsavon kívül ecetsavat, tejsavat, hangyasavat, etanolt is képez, amelyek főtermékek is lehetnek. Egyes fajok propionsavat, kapronsavat képeznek. A proteolitikus fajok a fehérjéket proteázokkal lebontják és az aminosavakat hasznosítják. Az aminosavak egyenkénti vagy párokban történő erjesztése szintén jellegzetes tulajdonság, ezekből elágazó láncú zsírsavak képződnek. Sok klosztridium különleges tápanyagok használatára specializálódott, mint az aromás gyűrűs vegyületek, purinok, szerves savak, alkoholok.

7. táblázat

**Klosztridiumok jellemző élettani tulajdonságai**

Szacharolitikusak	
Keményítőbontó	<i>C. butyricum</i> *
Cellulózbontó	<i>C. cellobioparum</i>
Pektinbontó	<i>C. felsineum</i>
Kitinbontó	<i>C. sporogenes</i>
Erjedési főtermék vajsav	<i>C. butyricum</i>
Ecetsav	<i>C. thermoaceticum</i>
Etanol, ecetsav	<i>C. kluyveri</i>
Butanol, aceton	<i>C. acetobutylicum</i>
Proteolitikusak	<i>C. putrefaciens</i>
Proteo- és szacharolitikusak	<i>C. perfringens</i>
Különleges anyagcsereű	
Etanolt erjeszt	<i>C. kluyveri</i>
Purinokat hasznosít	<i>C. acidurici</i>
Egyes aminosavakat erjeszt	<i>C. propionicum</i>
Aminosavpárokat erjeszt	<i>C. sticklandii</i>
Aerotoleráns	<i>C. histolyticum</i>
Nitrogénkötő	<i>C. pasteurianum</i>
Termofil	<i>C. thermocellum</i>
Pszichrofil	<i>C. putrefaciens</i>
Patogén	<i>C. tetani</i>
Ételmérgeztést okoz	<i>C. botulinum</i>

\* Egy-egy faj csak példaként szolgál

Széleskörű és változatos lebontóképességükön kívül a klosztridiumok élet-tani tulajdonságai is sokfélék. Számosuk termofil, mások pszichrofilok. Mindebből következik, hogy ezek az anaerob spóras baktériumok ellenállva a feldolgozó és tartósító műveleteknek, az élelmiszerek jelentős romlást okozó tényezői. Konzervekben a hőkezelést túlélő spórák kihajtva többnyire gázos puffadást okoznak. Egyes termofil fajoknál (pl. *Thermoanaerobacterium thermo-saccharolyticum*) ez csak nagyobb hőmérsékleten jelentkezik (pl. a terméket meleg éghajlatú országokba szállítva). Jellegzetes az ónozott dobozok feketedése, amit a szulfitredukáló fajok (pl. *Desulfotomaculum nigrificans*) okoznak.

Húskészítményekben a *C. sporogenes*, sajtokban a *C. tyrobutiricum*, gyümölcskonzervekben a savtűrő *C. pasteurianum* okoz gyakran romlást.

Számos klosztridium patogén. Ezek főként a proteolitikus fajok, amelyek az emberi, állati szervezetbe jutva toxinokat termelnek és különféle megbetegedéseket okoznak. Ilyenek a *C. tetani*, *C. septicum*, *C. haemolyticum*, *C. novyi*, *C. chauvoei*, és még több mint 20 faj. Élelmiszer vonatkozásban kiemelkedő jelentőségűek a *C. perfringens* és a *C. botulinum*. Az előbbi, mély sebekben jutva, üszkösödést (gázgangrénát) okoz, míg élelmiszerekben elszaporodva enterotoxint és még tucatnyi más toxint termel. A *C. perfringens*-hez képest

a *C. botulinum* ritkábban okoz ételmérgezést, viszont az általa termelt neurotoxinok miatt a tünetek súlyosabbak, olykor halálosak. Tulajdonságai szerint (toxinok típusa, proteolitikus vagy nem proteolitikus természete, szaporodási hőmérséklete) szerint a *C. botulinum*-nak három típusát különböztetik meg; ezek a különbségek indokolnák a fajszintű szétválasztást is. Neurotoxint képez a *C. barati* és a *C. butyricum* néhány törzse is.

Szerző: Dr. Deák Tibor  
egyetemi tanár  
Budapesti Corvinus Egyetem  
Élelmiszertudományi Kar  
Mikrobiológiai Tanszék



### Csoportos utazás a Drinktec kiállításra

szeptember 15–18.

3 szállás reggelivel 82.900,- Ft/fő-től

Repülő-, busz-, illetve vonatjegyetérésnek megfelelően biztosítunk.

### Csoportos utazás az ANUGA kiállításra

október 7–10.

3 szállás félpanzióval, belépőkkel 84.100,- Ft/fő-től

Repülő-, busz-, illetve vonatjegyetérésnek megfelelően biztosítunk.

Egyénileg utazóknak mindkét kiállításra minden kategóriában tudunk szállást foglalni.

#### *Anga Business Travel*

1014 Budapest, Színház utca 5–9.

Telefon: 375-8210

Fax: 375-8329

E-mail: [anga@mail.datanet.hu](mailto:anga@mail.datanet.hu)

[www.angabusiness.hu](http://www.angabusiness.hu)