

# Kémiai PANORÁMA

22. szám 2019. évfolyam 2. szám

AZ ÜSTÖKÖSÖK MOLEKULÁI

MILYEN SZÍNŰEK A BOLYGÓK?

A MODERN KÉMIA SIKERTÖRTÉNETE

A HACSIMODZSI DNS

LÉGBŐL KAPOTT FLOGISZTON ÉS ÉTER

ÜZENET AZ INKÁK SZENT VÖLGYÉBŐL

SÜNGOMBA

A VANÍLIA KÉMIÁJA



# Kedves Olvasónk!

**A** 2019-es esztendőt, a „periódusos rendszer évét”, át- meg átszötte Mengyelejev - az egész kémiát meghatározó – táblázatának az ünneplése. Az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) Közgyűlési határozattal nyilvánította - hivatalos elnevezéssel - az Elemek periódusos rendszerének nemzetközi évévé 2019-et, annak emlékére, hogy Dmitrij Ivanovics Mengyelejev (1834-1907) orosz kémikus 150 évvel korábban, vagyis 1869-ben publikálta első közleményeit az elemek rendszerezésének modern leírásával. Maga Mengyelejev egyébként az orosz naptár szerinti 1869. február 17-ét tartotta számon a periódusos rendszer születésnapjaként, mert akkor vetette papírra elméletét.

Az ENSZ által kijelölt tematikus év nyitó eseményének Párizs adott otthont 2019 januárjának a végén, amikor az UNESCO palotájában a Nobel-díjas Bernard L. Feringa előadása mellett különleges, élménygazdag kiállítás is nyílt a periódusos rendszerről. Természetesen Mengyelejev tudományos értelemben vett első számú otthona, Szentpétervár sem maradhatott ki az ünneplésből, az orosz város adott otthont ugyanis a periódusos rendszerről szóló nemzetközi konferenciának. A laikus érdeklődők számára e konferencia előadói közül talán Peter Atkins, az Oxfordi egyetem kémia professzorának a neve lehetett a leginkább ismerős, ő ugyanis számos, a nagyközönségnek írt vegyészeti ismeretterjesztő könyv (például: A periódusos birodalom) szerzőjeként ismert. A periódusos rendszer éve nemzetközi záró rendezvénynek pedig Tokió adott otthont, újabb látványos tudománytörténeti kiállítással.

Magyarország is sok, a periódusos rendszerhez kapcsolódó rendezvénynek adott otthont 2019-ben. Elsőként a Periódusos rendszer extrákkal című, diákoknak szóló előadás került sorra február 26-án a Magyar Tudományos Akadémia Székházának Dísztermében. A nagy sikerű előadást a diákok „visszatapsolták”, vagyis a nagy érdeklődésre való tekintettel a tervezett egy helyett kétszer tartották meg a zsúfolásig megtelt teremben. De kiemelkedett még az éves programok közül a Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Osztálya által május 8-án, az MTA Székházában megtartott 150 éves, örökifjú periódusos rendszer című rendezvény is. Az országsszerte nagy számban rendezett szakmai és tudomány népszerűsítő események sorát december 11-én a Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Akadémiai Bizottsága által szervezett „A periódusos rendszer kémiai, tudománytörténeti és filozófiai jelentősége” című előadása zárta.

A nemzetközi tematikus év 365 napon át próbálta ráirányítani a figyelmet arra, amire a Kémiai Panoráma egy évtizede, összesen immár 22 lapszámával: a kémia tudományának a szépségére és emberközeli voltára.



## A Szerkesztőség

A szerkesztőség köszönetet mond az MTA Természettudományi Kutatóközpontnak, az MTA Folyóirat-pályázatának, továbbá az MTA Kémiai Osztályának a támogatásáért.

A Kémiai Panoráma magazin az ÚMFT TÁMOP 4.2.3 KMR/1/2008-0006 pályázat keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával (3-6. számok), továbbá az MTA Kémiai Osztálya (4-6. számok) és a Servier Gyógyszerkutató Intézet (5-6. szám) támogatásával valósult meg.

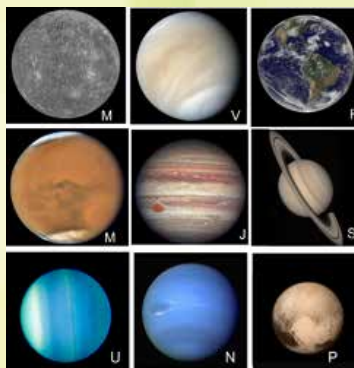




## 4-7

## AZ ÜSTÖKÖSÖK MOLEKULÁI

Pálinkás Gábor

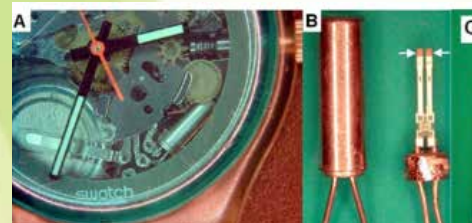


## 8-11

## MILYEN SZÍNŰEK A BOLYGÓK?

Bella József

## 12-15

A MODERN KÉMIA SIKERTÖRTÉNETE  
- A C18 CIKLOKARBON  
NANOSZINTÉZISELondon Gábor, Majzik Zsolt, Nemes  
László:

## 16-18

MEGDUPLÁZÓDOTT  
A DNS KÓDOLO  
KAPACITÁSA - A  
HACSIMODZSI DNS  
Pálinkás Gábor

## 19-22

LÉGBŐL KAPOTT  
FLOGISZTON ÉS ÉTER  
Maksay Gábor

## 23-25

ÜZENET AZ INKÁK SZENT  
VÖLGYÉBŐL

Simonyi Miklós



## 26-29

ÉLETTANI JELENTŐSÉGŰ  
HATÓANYAGOK  
Szerkesztőségi írás

Süngomba

## 30-31

GYÓGYÍTÓ MOLEKULÁK  
GOMBÁKBAN

Kőszegi Lídia

## 32-33

VANÍLIA  
Simonyi Miklós

## 34-37

HÍREK INNEN-ONNAN

# Az Ősnap vegyület-üzenetei



Az üstökösök a naprendszerünk legprimitívebb objektumai. Mintákat hordoznak olyan anyagokból, amelyekből a naprendszer kialakult. Szerves vegyület-komponenseik a csillagközi közegből származnak, amelyből a protoszoláris köd -- az „Ősnap” -- végül kialakult.

**A** Naptól mért égi távolságokat csillagászati egységben (CsE) mérik, aminek egysége a Nap – Föld

távolsággal egyezik meg. Az üstökösök (1. ábra) a Neptunusz pályáján kívül található kisbolygó övből (Kuiper öv, 50 – 100 CsE), vagy a Naptól nagyobb távolságú



A 100 m-es Green Bank Teleszkóp USA  
2. ábra

származnak. Keringési idejük néhányszor tíz évtől több ezer évig is terjedhet. Ezek a Nap körül elnyújtott pályán keringő, néhány kilométertől néhány 10 kilométerig terjedő méretű, jégből, porból, kis szikladarabokból lazán összekapcsolódó égitestek, melyek napközben felmelegedve anyagot vesztenek. A magjukból kiáramló gázokból kómát (az üstökös légköre) és csóvát képeznek. A csóva a magot körülvevő kómából alakul ki a Naptól kiáramló elektromosan töltött részecskék (napszél) hatására.

Az üstökösök anyagi összetételének vizsgálatára több módszer is rendelkezésre áll. Legrégebbi az üstökösök környezetének és csóváinak spektrális vizsgálata, távcsövekkel a Földről (2. ábra) vagy az űrből. Az üstökösök kómájában rádió-, infravörös- és kisebb mértékben ultraibolya színeképük alapján, izotópok, molekuláris ionok, atomok és gyökök mellett több tucat molekulát is azonosítottak (lásd 1. táblázatot).

A HCN, CH<sub>3</sub>OH, H<sub>2</sub>CO, CO, HNC, CH<sub>3</sub>CN, H<sub>2</sub>S és CS molekulákat több mint 10 üstökösönél is megfigyelték. A metil-cia-

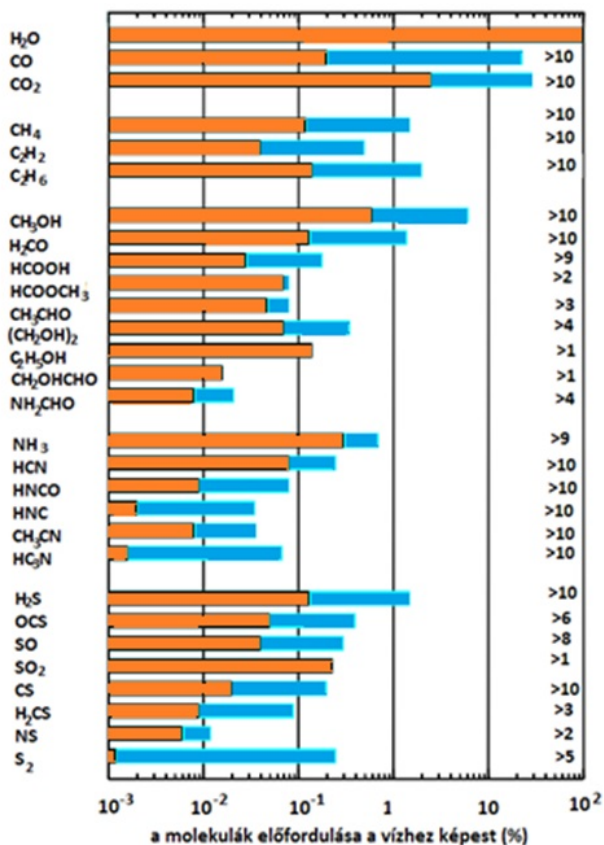
nid jelenléte az üstökösökben különös jelentőséggel bír, mivel a szén-nitrogén kötés fontos szerepet játszik az abiotikus aminosav szintézisben.

Az üstökösök anyagvizsgálatának másik lehetősége az, hogy űrszondával pormintát vesznek az üstökös környezetéből, vagy az üstökösön landolva annak felületéről és azt visszajuttatva a Földre laboratóriumban analizálják. Ez először 2006-ban sikerült a NASA



”  
Az asztrobiológusok már régóta kutatják a prebiotikus molekulák, például az aminosavak és a cukrok eredetét.

”



1.táblázat

Az üstökösök kómájában spektroszkópiailag detektált molekulák  
Bockelée-Morvan D., Biver N. nyomán  
■ eltérések, a jobb oldalon az üstökösök száma

molekula	hányaduk a vízhez képest	
Víz	H <sub>2</sub> O	100
Formamid	HCONH <sub>2</sub>	1,8
Metilizocianát	CH <sub>3</sub> NCO	1,3
Szén-monoxid	CO	1,2
Hidrogéncianid	HCN	0,9
Acetamid	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	0,7
Metilamin	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	0,6
Metán	CH <sub>4</sub>	0,5
Acetaldehid	CH <sub>3</sub> CHO	0,5
Glikolaldehid	CH <sub>2</sub> OHCHO	0,4
Acetonitril	CH <sub>3</sub> CN	0,3
Izociánsav	HNCO	0,3
Etilamin	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	0,3
Aceton	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	0,3
Etilénglikol	CH <sub>2</sub> (OH)CH <sub>2</sub> (OH)	0,2
Propionaldehid	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	0,1

2. táblázat

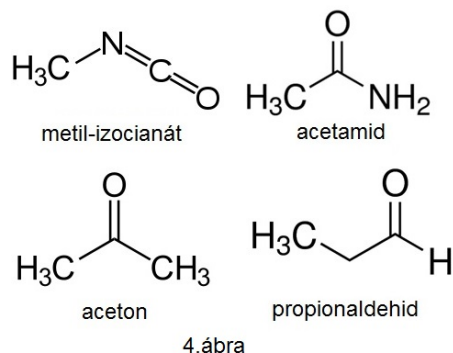
A Philae által azonosított molekulák

tömeg	9,98 10 <sup>12</sup>	kg
méret	4,1x3,3x1,8	km
sűrűség	0,53	g/cm <sup>3</sup>
naptávol	5,68	CsE
napközeli	1,24	CsE
keringési idő	6,44	év
a pálya excentricitása	0,64	
albedo	0,06	

67P Churyumov-Gerasimenko üstökös  
ahogy a Rosetta látta  
ESA/Rosetta-MPS for Osiris Team  
3. ábra

Stardust űrszondája segítségével: a Wild-2 üstökös kómájából vett pormintákat földi laboratóriumban vizsgálva kimutatták metil-amin, etil-amin és a legegyszerűbb aminosav, a glicin jelenlétét.

A harmadik módszer a helyszínen történő mérés. 2014-ben az Európai Űrügynökség ESA Rosetta űrszondájának és különösen a szonda Philae landoló robotjának volt egyik célja az ilyen helyszíni mérés elvégzése a 67P Churyumov-



Gerasimenko üstökösön (3. ábra). A csillagászok szerint az üstökös a távoli Oort felhő üstökös családjából származik, azonban a Jupiter erős gravitációs vonzásának hatására pályája módosult.

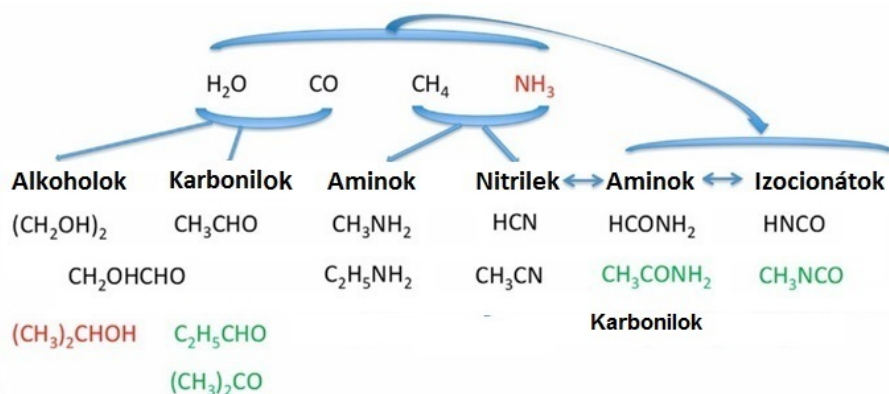
Jelenleg pályájának Naptól legtávolabbi pontja is csak alig haladja meg a Jupiter legnagyobb pályasugarát (4. ábra).

A Rosetta volt az első űrszonda, amely egy üstökös körül pályára állt és megfigyelte annak időbeli változásait, valamint az első olyan küldetés amely tudományos műszereket juttatott egy üstökös felszínére. A landolás félig-meddig sikertelen volt: a Philae csak a talajból kiszabaduló porszemcséket és illékonyabb vegyületeket tudta elemezni, magát a talajt nem. A landolást követően, azonban a talaj-közeli légkörből szippantott mintákból a Philae tömegspektrométere 15 széntartalmú molekulát azonosított (2. táblázat). Számos molekula (HCN, CH<sub>3</sub>CN, HNCO) jelen van a legtöbb üstökös kómájában is,

mint az látható az 1. táblázatban. Mások, mint a CH<sub>3</sub>CHO, HCONH<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>(OH)CH<sub>2</sub>(OH), CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>, és C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>, csak néhány üstökös jellemzője. Négy vegyület: a metilizocianát, az aceton, a propionaldehid és az acetamid más üstökösön nem volt megfigyelhető (4. ábra).

Az összes észlelt szerves molekula képződhet a csillagközi molekuláris felhőkben előforduló CO, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> és NH<sub>3</sub> molekulákból UV vagy kozmikus sugárzás hatására: az alkoholok és karbonilok, CO és H<sub>2</sub>O molekulákból, az aminok és nitrilek CH<sub>4</sub> and NH<sub>3</sub> molekulákból. A nitrilek hidrolízisével amidok keletkeznek, amelyek izomerizációja az izocionátok keletkezéséhez vezet (3. táblázat).

Az üstökös molekulák komplexitása és köztük a nitrogéntartalmú molekulák jelenléte azt sugallja, hogy a korai Naprendszer kémiai környezete jelentősen elősegítette az élet keletkezéséhez vezető molekulák szintézisét.



3. táblázat

## A vegyületek képződésére vezető lehetséges reakcióutak

F. Grosman et al. Science 349, Issue 6247

A glikolaldehid ( $\text{CH}_2\text{OHCHO}$ ) a cukrok prebiotikus keletkezésének hatékony iniciátora. A glikoaldehid és a hidrogencianid (HCN) az aminosavak és nukleobázisok prebiotikus szintézisének kulcsmolekulái és elvezethettek cukrok szintéziséhez is. A formamid ( $\text{HCONH}_2$ ) szerepet játszhatott a nukleobázisok képződésében, a  $\text{HCONH}_2$  és a  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$  a nukleotidokhoz vezető foszforiláció katalizátorai lehettek. Az izocionátok pedig, a peptidek prebiotikus szintézisében játszhattak szerepet.

A Naphoz közelítő üstökös heves gáz- és porfelhő kibocsátásakor, az üstökös magjának felületétől kevesebb, mint 15 km-re keringő űrszonda számos alkalommal azonosított tömegspektrométerével glicint és foszfort is. A Rosetta Rosina elnevezésű tömegspektrométere elektronütközéssel ionizálta a beérkező illékony anyagokat és detektálta a megfelelő pozitív töltésű fragmenseket. A minta tömegspektrumát 75, 45, 31 dalton környékén az 5. ábra tünteti fel. Az ábra a detektoron regisztrált ionizált részecskék számát a tömeg/töltés arányuk ( $m/z$ ) függvényében adja meg. A Glicin ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$ ), metil-amin ( $\text{CH}_3\text{N}$ ) és etil-amin ( $\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$ ) a 75, 31 és 45 dalton tömegű.

Az összes species elkülönül a többi anyamolekulához tartozó szomszédos tömegcsúcsoktól. Például a  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2$ -t a 75 dalton / töltés értéknél, a propilén-glikol ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ ), vagy annak bármely izomerének fragmense, esetleg még nehezebb specie-

sek fragmense, mint például a butándiolé ( $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$ ) is lehet.

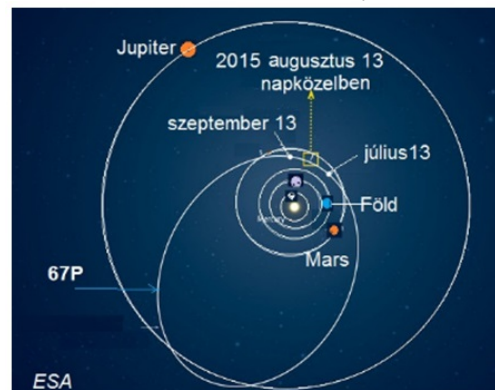
A glicin az egyedüli aminosav, amely cseppfolyós víz nélkül is képződhet és ezért valószínűleg ez az üstökösökön található egyedüli aminosav, mivel a cseppfolyós vizes környezet nem valószínű ezeken az objektumokon. Ezért nem meglepő, hogy a ROSINA adataiban nem található más aminosav annak ellenére, hogy meteoritokban több mint 80 különböző aminosavat izoláltak.

A ROSINA tömegspektrométerének másik észlelése a foszfor ( $m/z = 31$ ) jelenléte a mintákban. A 67P megfigyeléséig foszfort nem észleltek üstökösök kómájában. A ROSINA tömegspektrumában tiszta csúcs van 30,973 dalton tömegnél, ami az ionizált foszfor pontos tömege. A foszfor kulcsfontosságú elem az összes élő szervezetben. Megtalálható az adenzin-5'-trifoszfátban, a DNS és az RNS hélixében és a sejtmembránokban is. Foszfortartalmú molekulákat vagy fragmenseiket észleltek a csillagközi térben is, a Wild-2 üstökös porszemcséiben azonban nem találtak foszfort. A foszfor eredetére a 67P üstökösön a kutatók még nem találtak magyarázatot. A glicin, foszfor,  $\text{H}_2\text{S}$ , HCN és számos szerves molekula jelenléte a 67P / Churyumov-Gerasimenko kómájában, támogatja azt az elképzelést, hogy az üstökösök szállíthattak az élet keletkezéséhez szükséges kulcsfontosságú molekulákat a korai Földre. Mindenesetre szerves molekulák jelenléte

az üstökösökön tanúsítja, hogy a naprendszer kialakulását megelőző csillagközi felhő, gazdag volt vízben és szerves molekulákban.

Végeztül földi laboratóriumban is modellezhető az üstökösök anyagának kémiai összetétele. Víz, metán, szén-monoxid, ammónia és metanol elegyét a térbeli hőmérsékleti és nyomásviszonyok között UV-sugárzással vagy nagyenergiájú részecskékkel besugározva laboratóriumban is előállíthatók az üstökösökben talált vegyületek. Az asztrobiológusok már régóta kutatják ilyen módszerrel a prebiotikus molekulák, például az aminosavak és a cukrok eredetét.

Az első ilyen próbálkozás a Miller-Urey-kísérlet volt 1952-ben (Kémiai Panoráma, No.11), amikor a kutatók gázhalmazállapotban vizet, metánt, ammóniát, és hidrogént reagáltattak egymással. Elektrodákon keresztül egy héten át szikrákat vezettek a gáztérbe, a korai Föld idején gyakori villámlásokat modellezve. A mintát ezt követően elemezve azt találták, hogy a szén 10–15%-a átalakult szerves vegyületté. Aminosavakat (2%), cukrokat, lipideket is találtak a szerves vegyületek között. Közöttük a glicin volt a leggyakoribb. A kísérletet azóta több alkalommal megismételték. Legújabban 2016-ban Meinert és munkatársai bebizonyították, hogy számos prebiotikus molekula, például a ribonukleinsav fő komponense a ribóz és analóg cukorvegyületek is képződhetnek egyszerű vízjég, metanol és ammónia keverékét tartalmazó mintában, ha a mintát a Naprendszer kialakulásának hőmérsékleti és nyomás



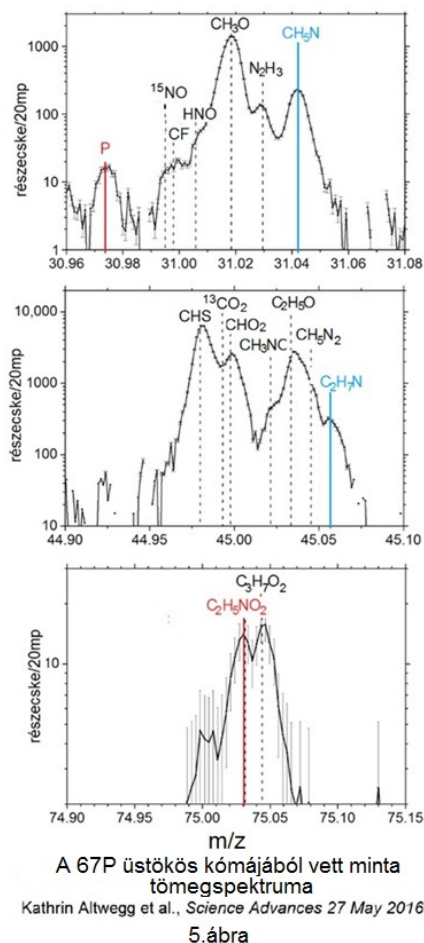
A 67P CHURYMOV-GERASIMENKO üstökös pályája



körülményeit szimulálva ultraibolya fény-nyel besugározzák.

A Rosetta űrszonda 2016. szeptember 30-án az üstökösbe csapódva befejezte küldetését. Azonban az üstökösök kémiai összetételének kutatása tovább folytatódik. A NASA a közeljövőben újabb szondát tervez küldeni a 67P üstökösre. A CAESAR megnevezésű űrszonda lényegében egy csúcstechnikával ellátott robot lesz, amely mintát fog venni a felszín anyagából, majd visszajuttatja a Földre, így teljesítve azt a feladatot, ami nem sikerült a Rosetta Philae robotjának. A minták összetételét földi laboratóriumok fogják elemezni. A tervezett misszió hasonló lesz, a jelenleg folyó OSIRIS-REX misszióhoz, amelynek célja a Bennu aszteroida vegyületeinek tanulmányozása mintavétellel, majd a mintáknak a Földre történő visszajuttatásával 2023-ban, amikor is az elemzéseket laboratóriumokban fogják elvégezni. Az OSIRIS-REX űrszonda 2018. december 3-án kétéves utazás után érkezett meg a Bennuhoz és ez év nyarán elkészítette első közeli, nagyfelbontású képét az aszteroidáról.

A bolygók, aszteroidák, üstökösök szervetlen és szerves vegyületeinek



kutatása közelebb visz minket az élőszervezetek kialakulásának felderítéséhez. Mind az aszteroidák, mind az üstökösök a Naprendszer korai szakaszában lejátszódott bolygóképződésének törmelékei. Az aszteroidák és az üstökösök közötti fő különbség az összetételük és a keletkezésük módja. Az aszteroidák fémekből és nagyobb kőzetekből, míg az üstökösök jégből, porból és kisebb kőzetekből állnak. Az üstökösök a Naprendszer kialakulásának legrégebbi fagyott maradványai, az aszteroidák a Naphoz közelebb álló szilárd testek legkorábbi kialakulásának primitív emlékei.

Pálinkás Gábor



## IRODALOM

- Fred Goesmann, et al., *Science* 31 Jul 2015:Vol. 349, Issue 6247,  
Elsila JE, et al., *Meteoritics & Planetary Science* 44, 1323-133  
Meinert, et al. *Science* 08 Apr 2016: Vol. 352, Issue 6282  
Bockelée-Morvan D, Biver N, 2017. *Phil. Trans. R. Soc. A* 375: 20160252.  
Kathrin Altwegg, et.al., *Science Advances* 27 May 2016:Vol. 2, no. 5.

## AZ ÉLŐ ANYAG KIALAKULÁSA

Az élő anyag kialakulásának rejtélye bolygónkon a mai napig megoldatlan. A kérdés megoldására több feltételezés is született, amelyek mindegyike rendelkezik valamilyen racionális alappal. Az élet, egyes feltételezések szerint, szerves vegyületekben gazdag közegben, az úgynevezett „ősi levesben” a Földön alakult ki. Mások szerint a Földre meteoritok, üstökösök és aszteroidák szállították első példányait, a Naprendszer (például Mars) vagy az Univerzum távolabbi részeiből. Egy biztos: bárhol is alakultak ki az élőszervezetek (aminosavak, DNS, RNS), szintézisükhöz prebiotikus anyagok, víz és nitrogén- foszfor-és kéntartalmú szerves molekulák voltak szükségesek.

Ha Földön jött létre az első élőszervezet, további kérdés az, hogy honnan származtak a létrejöttéhez szükséges prebiotikus molekulák? Erre a kérdésre is több feltételezés született.

Az egyik szerint az első szerves molekulák a vízből, metánból, ammóniából és hidrogénnel töltött korai légkörből keletkeztek villámlások elektromos szikráinak hatására. Több millió év alatt nagyobb és összetettebb molekulák képeződhetnek ezekből a bolygó felszínén. A híres Miller-Urey kísérlet (1953), amely laboratóriumban igazolta, hogy megfelelő összetételű, nyomású és hőmérsékletű közegben, elektromos szikra hatására aminosavak és cukrok keletkeznek, támogatta ezt a feltételezést. Más feltételezések szerint viszont a prebiotikus szerves molekulák a mélytengerek alján a hidrotermális kúrtökből, vagy felszíni melegvíz forrásokból kiáramló vulkanikus CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, S- és N- tartalmú gázokból, vasoxid ásványok katalitikus hatására keletkeztek. Ez utóbbi feltételezés szerint az első élőszervezetek is az óceánokban vagy a melegvíz források

környezetében jöttek létre. Igen népszerű az a feltételezés is, mely szerint a szerves molekulákat, meteoritok, üstökösök, aszteroidák szállították az Univerzumból 3,5-4 milliárd évvel ezelőtt a Föld felszínére. (Tény az, hogy szinképük alapján a csillagászok vízmolekula és számos szerves molekula létezését igazolták a csillagközi térben és molekuláris felhőkben is. Ezt a lehetőséget egyrészt alátámasztja az a tény, hogy számos Földre hulló meteorit tartalmaz szerves molekulákat. Ezek közül igen nevezetes az 1969-ben Murchisonban (Ausztrália) lehullt meteorit, amely számos érdekes C, H, N, O, S tartalmú szerves vegyületet, köztük tucatnyi aminosavat is tartalmazott. Másrészt az is támogatja az utóbbi feltételezést, hogy – mint láthattuk – az elmúlt fél évszázadban nagyon sok, az élet létrejöttéhez szükséges szerves molekulát azonosítottak szinképük alapján a Naprendszer kialakulásának körülményeit megőrző üstökösök légkörében is.

# Milyen színűek a bolygók?

A naprendszer égitestjeinek színe igen változatos. A természetes színűk (a látható színek tartományában készült képek színei) a szürkétől, a kéken keresztül a vöröses barnáig terjed. Az égitestek képei hasznos információkkal szolgálnak felületük, vagy a légkörük kémiai összetételéről. A bolygók színe, a felületük vagy atmoszférájuk által elnyelt, illetve reflektált napfény következménye.

Meg kell jegyezni, hogy a képeket a részletek jobb megkülönböztethetősége miatt a csillagászok sokszor színezik (falszínezés). A szemünk a spektrális színek különböző arányú összegéből képződő több száz színárnyalat megkülönböztetésére is képes. Színezve az árnyalatokat a kép számos olyan részlete is megkülönböztethető, amelyet különben nem vennénk észre. Az elektromágneses sugárzás-

Az elmúlt évtizedekben számos szemet gyönyörködtető színes felvétel készült földi és űrszondás távcsövekkel a naprendszer bolygóiról, holdjairól és aszteroidákról is a teljes színek tartományban, az ultraibolyától a röntgensugárzásig.

nek csak látható tartománya ( $\gamma=0,4-0,7 \mu\text{m}$ ) "valódi", természetes színű számunkra. A részletek jobb megkülönböztetésére sokszor színezik az ultraibolya, infravörös vagy mikrohullámú tartományban készült, szabad szemmel egyébként szürkének látszó képeket. Készülnek olyan kompozit képek is, amelyekben a különböző szűrőkkel készített felvételeket úgy kombinálják össze, hogy megközelítsék azt a látványt, amelyet az emberi szem látna az objektumok közeléből.

A naprendszer égitestjeinek elektromágneses sugárzását a felszínükről, vagy légköriükről (ha van) reflektált napfény és a hőmérsékleti sugárzásuk határozza meg. Az égitestre jutó napsugárzás kölcsönhatásba kerül a légkörral, és a felszínét alkotó anyagokkal. A kölcsönhatás következtében a sugárzás egy része visszaverődik, más része elnyelődik. Az elektromágneses sugárzás spektruma függ az égitest jellemzőitől és a naptól való távolságától, vagyis a hőmérsékletétől is. A reflektált fény hullámhossza az ultraibolyától a közeli infravörös hullámhosszig terjed. A hőmérsékleti sugárzásuk –hőmérséklettől függően 3-200 mikrométer hullámhossz tartományba esik. (A Föld infravörös hőmérsékleti sugárzása 3-60  $\mu\text{m}$  tartományba esik, maximuma 10  $\mu\text{m}$  hullámhosszú). A képek készítését az égitestekről reflektált napfény teszi lehetővé.

De elegendő mértékben világítja-e meg a Nap a Naprendszer határán keringő bolygókat, holdakat is a képek készítéséhez? Vajon elegendő napfény jut még a Plútóra is, a képek készítéséhez?



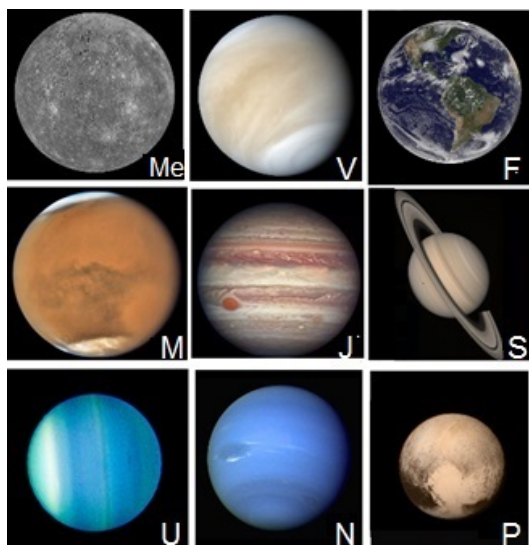
A Plútó, a naprendszer legtávolibb bolygója átlagosan negyvenszer távolabb van a Naptól, mint a Föld és bár emiatt a napfény jóval gyengébb

intenzitású, a felszínén azonban nincs teljesen sötét. Bár a Plútóról a Nap csak igen fényes pontszerű csillagnak látszik (~ 400 ezerszer fényesebbnek, mint a Földről a Vénusz), a felszínén az asztronauták napali megvilágításban akár olvasni is tudnának. Jó megközelítéssel azt mondhatjuk, hogy a Plútón a megvilágítás a legfényesebb napon olyan, mint derült időben a Földön napfelkelte előtt néhány perccel, vagy mint a naplementét követő néhány percben.

”

Színezve az árnyalatokat a kép számos olyan részlete is megkülönböztethető, amelyet különben nem vennénk észre.

”



A Hubble űrteleszkóp és űrszondák természetes színes képei a bolygókról





A csillagászok elnevezték ezt az időszakot „Plútó időnek”. A NASA „Pluto time” honlapján magunk is benyomást szerezhetünk a Plútó nappali megvilágításáról földi példákon keresztül.



**A Földet** átlagosan négyzetméterenként 1376 watt napsugárzás éri. A Plútó átlagosan 40-szer távolabb van a Naptól, mint a Föld. Mivel a sugárzás intenzitása a távolság négyzetével fordítva arányos, a Plútót négyzetméterenként 1600-szor kevesebb napsugárzás éri (0,86 Watt/m<sup>2</sup>), mint a Földet. A Plútó sugara 1 137 000 m, és a napsugárzás 4,06x10<sup>12</sup> m<sup>2</sup> korongterületet világít meg, ezért a törpebolygót érő összes napenergia 3,55 terrawatt (3,55 10<sup>12</sup> W). A Plútó albedója 0,49, így a rá eső napfénynek átlagosan, mintegy felét reflektálja, azaz 1,74 terawatt energiát tükröz vissza a Nap felé. Mivel az égitest pályája nagy excentricitású ellipszis, (távolsága a Naptól 29,6 és 49,3 Nap-Föld távolság között változik) a megvilágítás és a reflexió értékei is ennek megfelelően változnak.



**A Merkúr** felülete szürke, kráteres. Nagyon hasonló a Hold felszínéhez. A felületi szilikát kőzetek vasat, nikkelt tartalmaznak. **A Vénusz** is közbolygó, azonban az igen sűrű, széndioxidot, nitrogént és kéndioxidot, tartalmazó légköre miatt a felülete nem látható. A légkörének kénsavas felhői erősen elnyelik a kék fényt, emiatt sárgás-fehér színűnek látszik természetes színes felvételeken. **A Föld** óceánjai és légköre erősen abszorbe-

álják a vörös fényt, emiatt képe kékes színű. Látszik rajta a földi zöldes színű vegetáció és a talajfelszín barnás felülete is. **A Mars** – felületének vasoxid tartalma miatt – természetes színes képein vöröses-narancssárga színű. Pólusai környékén jól látható a fehér széndioxid- és vízjég.



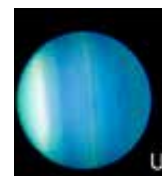
**A Jupiter** egy gázbolygó, képei jellegzetes barna, vörös és fehér sávok szerkezetűek.

Külső rétege hidrogén, hélium, kis mennyiségű vízcseppek, jégkristályok, ammónia kristályok és nyomelemek áramló, kavargó felhőiből áll, amelyek akár 360 km/óra sebességgel mozognak. A bolygó felszínén a konvekció által létrehozott erőteljes viharok figyelhetők meg. Ezeknek a vegyületeknek a felhői fehér, narancssárga, barna és vörös árnyalatúak. A sötétvörös felhőket a hidrogéngáz jelenléte okozza a gázbolygó felszínén. Ezeket azonban elhomályosítják a Nap ultrabolyva sugárzásának hatására fehérszínű ammónia felhők, amelyek közelebb vannak a légkör felső széléhez, és lefedik az egész bolygót. A mélyebb vörös felhőkkel kombinálva ez a bolygó halvány aranyszínű, a természetes színű képein. A viharok anyagot, például foszfort, ként és szénhidrogéneket szállítanak a bolygó belsejéből a felhők tetejére, fehér, barna és vörös foltokat hozva létre a felszínén.

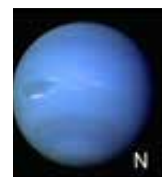
Érdekes jelenség a bolygó nagy vöröses-sárga foltja. Évtizedekkel ezelőtt a légköri kémikusok úgy vélték, hogy a foltot foszfén (PH<sub>3</sub>), okozza. Később a figyelem a kénrre és annak színes allotropjaira fordult. A Jupiter három sűrű felhőrétegének egyike ammónium-hidroszulfidot (NH<sub>4</sub>SH) tartalmaz, amelyet az atmoszférikus konvekció juttat a felszínre, melyet a napfény lebont, elemi ként hozva létre. Az amerikai Jet Propulsion Laboratory kutatói kísérleteket végeztek a folt színének reprodukálására. A napfényt modellezve ammónium-hidroszulfidot ultrabolyva fényvel sugároztak be. A kapott vegyületek azonban világos zöldék voltak, nem vörösek! Ezután a kutatók ammónia és acetilén keverékével próbálkoztak. (Mindkét vegyület előfordul a bolygó légkörében). A besugárzást követően vöröses színű HxCyNz általános képlettel rendelkező cianidszerű molekulák keletkeztek, amelyek spektruma jól egyezett azzal, amit a Jupiter mellett elhaladó Cassini űrszonda a nagy vörös foltról készített.



**A Szaturnusz** is óriás gázbolygó, amelynek külső atmoszférája többnyire hidrogén és hélium. Az ammónia, foszfin, vízgőz és a szénhidrogének nyomai sárgásbarna színűek.



A távoli **Uránusz** és a **Neptunusz** kékes színű bolygók. Összetételük hasonló. Mindkettő rendelkezik vas és nikkelszilikát szilárd maggal és víz-, ammónia- és metánjég köppennyel. Ez megkülönbözteti őket a nagy gázóriás Jupiterrel és Szaturnuszról.



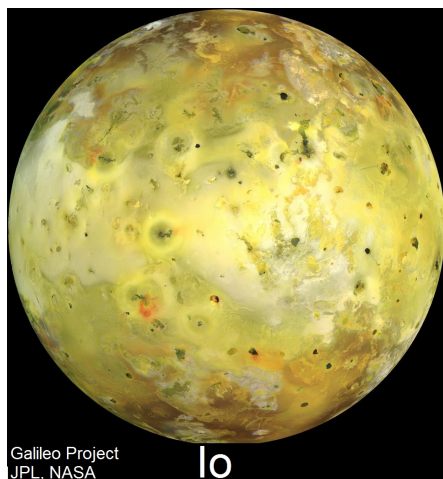
Légköriüket azonban a gázóriásokhoz hasonlóan hidrogén és hélium alkotja ammónia-, metán- és vízjég tartalommal, továbbá nyomokban szénhidrogénekkal is. Kék, akvamarin színezetüket légkörük metántartalma okozza. A **metán** elnyeli a vörös fényt az atmoszféra felső részén, ezért látjuk a bolygókat kékes színezetűnek. Mivel a Neptunusz atmoszférájában több a metán és távolabb van a Naptól (kisebb a megvilágítás), a Neptunusz sötétebb kék színű.

A bolygók holdjainak színe is kémiai összetételükről hordoz információt. Leglátványosabb a Jupiter két holdjának (**Io** és **Europa**), továbbá a Szaturnusz holdjának, a **Titánnak** a képe.

A képek, a Galileo (1999) és a Cassini (2005) űrszondák különböző szűrőkkel készített felvételeinek kombinálásával készített olyan kompozit képek, amelyet megközelítőleg a közelükből emberi szem is látna.

A képek nem méretarányosak. Az **Io**, és a **Europa** a Föld holdjához hasonló méretű, szemben a **Titánnal**, amelynek sugara megközelítőleg 2600 km.

Az **Io** a naprendszer egyik legszínesebb égitestje. Színét kénvegyületek és olvadt kőzetek okozzák. Csaknem egyharmadát vörös és narancssárga anyag borítja, amelyet vörös, sárga, zöld, fehér és fekete árnyalat díszít, ezeket feltehetően a kén-



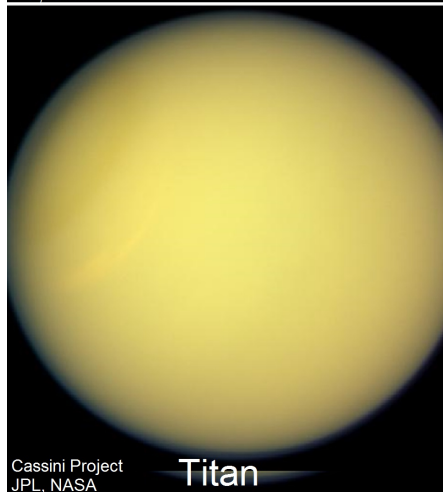
Galileo Project  
JPL, NASA

Io



Galileo Project  
JPL, NASA

Europa



Cassini Project  
JPL, NASA

Titan

vegyületek és a szilikátok változatos összetétele okozza. Az élénk-vörös lerakódások a közelmúlt vulkáni tevékenységének nyomait és a felületváltozások helyét jelölik. Néhány izzó vulkáni láva sötétben is világít. Színes a Jupiter érdekes holdjának, a

Europának kompozit képe is. A hold felületének fényes, fehér része főleg vízből áll, nagyon kevés jégmentes anyaggal. A barnás foltos területeket hidratált sók és jelenleg még ismeretlen eredetű vörös hálózatos anyag borítja. A kutatók feltételezik, hogy az anyag metánból és etánból ultraibolya sugárzás hatására képződő vöröses-sárga, narancsszínű szerves molekulák „tholinok” (lásd később).

A **Titánt**, a naprendszerünk második legnagyobb holdjának felületét, narancssárga ködös légkör borítja. (A Jupiter holdja, a Ganymedes mindössze 2 százalékkal nagyobb.) Az egyetlen, sűrű légkörrel rendelkező hold a Naprendszerben. Légköre körülbelül 95% nitrogént és 3%-ban metánt tartalmaz. Felszínén a légköri nyomás a földinek mintegy másfélszerese. A Cassini űrszonda radar felvételeinek tanúsága szerint a felszínen folyékony metán és etán tavak találhatóak. Légkörének narancssárga színét egyszerű szerves molekulákból, például metánból, nitrogénből és összetett szénhidrogén részecskékből álló aeroszolok, úgynevezett tholinok okozzák. Az aeroszolok kémiai összetételét a Cassini űrszondáról a hold felszínére leszálló Huygens műszeres egysege határozta meg tömegspektrométerrel.

A Titán légkörében 1000 km-nél nagyobb tengerszint feletti magasságban képződő tholinok, a szezonális változások miatt, nyáron a felső atmoszférába emelkednek, ahol a Nap ultraibolya sugárzása elbontja őket. (Kémiai Panoráma 1. szám, 2009, „A Titán szerves kémiája”.) A fragmensekből, propán, etán, acetilén, hidrogén-cianid és még összetettebb molekulák képződnek. A tholinok télen a hideg sztratoszférából lesüllyednek a felszínre, majd a következő nyáron ismét felhalmozódnak a sztratoszférában. A felszínre leereszkedett Huygens által készített képeken a felszín és a felette levő köd narancssárga színe is megfigyelhető.

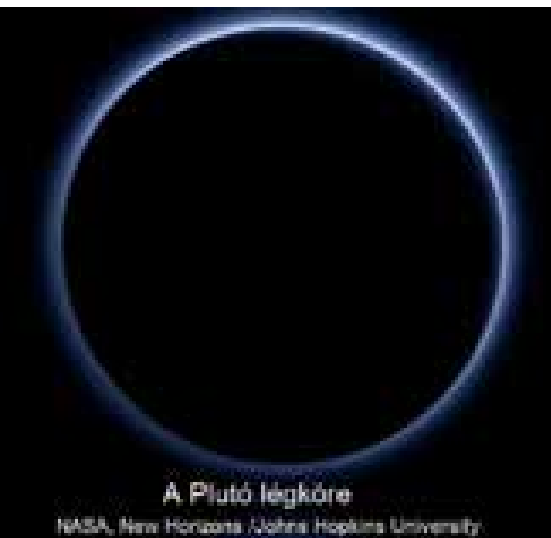
A Titán forgástengelyének dőlésszöge a Szaturnusz pályasíkjával 27°-t zár be, megegyezve az anyabolygó forgástengelyének dőlésszögével. A Hold keringési ideje az anyabolygó körül 15,9 földi napig tart, ugyanannyi ideig, mint a forgási ideje.



A Titan felszine  
NASA/ESA/Cassini Huygens

Emiatt – hasonlóan a Föld holdjához – mindig ugyanazt a felületét fordítja a Szaturnusz felé. A szezonális változásokat a Szaturnusz Nap körüli körülbelül 29,5 földi év keringési ideje határozza meg. A Szaturnusz évének különböző szakaszaiban különböző mennyiségű napfény éri a Titán északi és déli féltekéjét. Egy szezon valamivel több, mint 7,5 földi évig tart. Az utolsó nyári napforduló az északi féltekén 2017 májusában volt.

Nagyon hasonló a **Plutó** törpebolygó vöröses-barna színének a forrása is. Plutónak is van légköre, bár nagyságrendekkel kisebb sűrűségű, mint a Titáné. Az összetétele is hasonló, fő komponensei a nitrogén és kis mennyiségben metán. A Plutó színeit is szénhidrogének keverékei, reflektív tholinok alakítják ki. Legutóbb 2015-ben a New Horizons űrszonda által készített nagyfelbontású képeket a törpebolygóról. Ezekon számos különböző árnyalatú részlet, vöröses barna régió figyelhető meg. A nagyobb molekulájú



Á Plutó légköre  
NASA, New Horizons, Johns Hopkins University

szénhidrogének, a tholinok – amelyek még kis koncentrációban is sárga, sötétvörös és barna színűek – a törpebolygó esetében is a légkör nitrogén és metán molekuláiból képződnek nagy energiájú sugárzás (napfény, kozmikus sugárzás) hatására, amelyek aztán a szezonális változások miatt lesüllyednek a felszínre. A Plutó (sugara 1190 km) nagy excentricitású pályája és forgástengelyének nagy dőlés-szöge okozza a szezonális változásokat.

Érdekes felvételt készített a New Horizons a Plutó éjszakai oldaláról is. Ezen jól látszik, a törpebolygó mögül érkező napfény szóródása a ritka, ködös légkörén, kék színű gyűrűt képezve. A légkör kék színéből is, arra lehet következtetni, hogy a légkör nitrogén és metán molekulái mellett, nagyobb méretű molekuláris részecskéket, szennyezéseket is tartal-

maz. Bár a köd részecskéi valószínűleg szürkék vagy vörösés-barna színűek, a kék fény szóródásának oka hasonló, mint a Földön. A légkör kék színe a Rayleigh szórásnak nevezett fényszórás eredménye, amely kis részecskéktől származik. A Napról érkező kevert fény a légkör kis részecskéin szóródik. A légkört alkotó gázok ( $N_2$ ,  $CH_4$ ) mérete 2 nm körüli, az ilyen méretű molekulákon szóródó fény ibolyaszínű kellene, hogy legyen. Mivel kék színű, a légkörben nagyobb méretű molekuláris részecskéknak is elő kell fordulniuk, hogy a nagyobb hullámhosszú kék fény szóródjon intenzíven.

A Cassini űrszonda a Plutó holdja, a **Charon** (sugara 660 km) mellett elhaladva is készített felvételeket. Ezekből kiderült, hogy a kis hold északi pólusa is barnás-vörös tholinokkal van borítva.

A kutatók feltételezik, hogy a Plutó atmoszférájából szivárgó gázok csapdába esnek a Charonon, és annak felszínén alakulnak tholinokká, amikor a pólus a nap felé fordul.

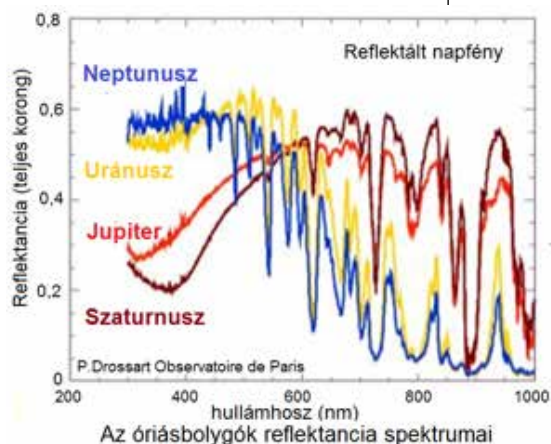
A reflektált napfény azonban nem csak képek készítését teszi lehetővé. A reflektancia spektrális tulajdonságainak vizsgálata, a reflektancia spektroszkópia, hasznos eszköz az égitestek légköre és felülete molekuláris összetételének felde-  
rítésében.

A reflexió mértéke, az ún. reflexiós koefficiens vagy felületi albedó függ a felület fizikai és kémiai adottságaitól (pl. színétől és összetételétől). Az anyagok különbözőképpen reflektálják, nyelik el a sugárzást különböző hullámhossz-tartományokban. Az objektumok spektrális jellemzésére a reflektancia (visszaverési) értéket használják. A reflektancia megadja az adott felszínre belépő és arról visszaverett energia hányadosát a beeső fény hullámhosszának függvényében. A reflektancia átlagos értékét az égitest albedójának nevezzük. A reflektancia spektrális tulajdonságainak tanulmányozása szolgál információkkal a reflek-



táló közeg kémiai tulajdonságairól. A különböző anyagok, vegyületek reflexiós tulajdonságait analizálva laboratóriumban, azonosíthatók a bolygók, holdak légkörében vagy felszínén előforduló anyagok. Az alábbi ábrán az óriásbolygók reflektancia spektrumainak finomszerkezete tükrözi a bolygók légköre összetételének nagymértékű hasonlóságát. A spektrum rövidhullámú része ugyanakkor megkülönbözteti a gázbolygókat a jégbolygóktól.

Bella József



Az óriásbolygók reflektancia spektrumai



## OLVASNIVALÓK

<https://solarsystem.nasa.gov/news/13141/cassini-top-images-2017/>

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/Galileo>

[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/newhorizons/images/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons/images/index.html)

<https://www.nasa.gov/nh/nh-finds-blue-skies-and-water-ice-on-pluto>

<https://courses.lumenlearning.com/suny-astronomy/chapter/atmospheres-of-the-giant-planets/>

Nemes László, A Titán kémiája,

Kémiai Panoráma No1, 2009  
Pálinkás Gábor, Az Univerzum Laboratóriumi,  
Kémiai Panoráma No11, 2014

# A $C_{18}$ ciklokarbon nanoszintézise

A szén a természetben többféle molekuláris formában, úgynevezett allotróp formákban található. A gyémánt, a grafit és az amorf szén, illetőleg ennek különböző előfordulásai közismertek. A fullerének 1985 évi felfedezése óta (Harold W. Kroto, Robert F. Curl Jr. és Richard E. Smalley, kémiai Nobel-díj 1996, Kémiai Panoráma 8. szám) sikerült előállítani szén nanocsöveket (Sumio Iijima és Toshinari Ichihashi, 1993) és grafént (Konstantin Novoselov és Andre Geim, fizikai Nobel-díj 2010).

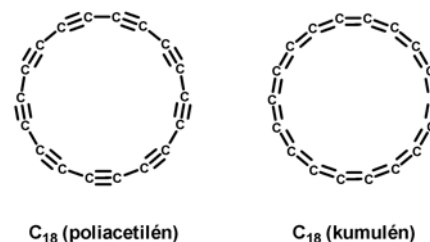
Az alábbi ábrák mutatják be a  $C_{60}$  fullerént (1a), különböző kiralitású nanocső részletek számítógépes szimulációját (1b) és egy grafénrészletet (1c). Ezeknek az előállítására nem a szokványos kémiai szintetikus módszerekkel történt, ilyen szintézist mind a mai napig nem sikerült megvalósítani. A  $C_{60}$  előállítása lézerral keltett szénplazmából, illetve makroszkópikus formában ívplazmából történik (Wolfgang Kraetchmer és Donald R. Huffman, 1990), a szén nanocsöveket szintén ívplazmából állítják elő, míg a graféneket grafitfelületről történő lehámozással, kémiai gőzfázisú lecsapással vagy grafénoxidok termikus redukciójával készítik.

Már jóval a fullerének felfedezése előtt, 1959-ben elméleti módszerekkel Kenneth S. Pitzer és Enrico Clementi megjósolták hosszú lineáris láncú és gyűrű alakú szénmolekulák létezését szénángokban. Gyűrűs szerkezetek esetén a  $4n+2$  szénatomot tartalmazó rendszereket becsülték stabilabbnak. Később Roald Hoffmann számításai ezt megerősítették, továbbá

megjósolták, hogy a  $4n+2$  szénatomot tartalmazó gyűrűs molekulák stabilabbnak, mint az ugyanennyi szénatomot tartalmazó lineáris láncok, amennyiben a szénatomok száma 10-nél több.

Richard E. Smalley és csoportja 1988-ban kimutatták hosszú lineáris szénláncú és gyűrűalakú szénmolekulák anionjainak jelenlétét lézerablációs úton keltett molekula-nyalábokban ultraibolya fotoelektron-spektroszkópia segítségével. Méréseik igazolták Roald Hoffmann számításait. Míg a 2-9 szénatomos rendszereket lineáris szerkezetűnek találták, addig a 10-29 szénatomos molekulákat gyűrűs szerkezetűnek.

A szerves kémiai szintézis fejlődésével felvetődött a tisztán szénatomokból álló molekulák ( $C_n$ ) előállítása ismert szerkezetű kiindulási anyagokból, funkciós csoport átalakításokon keresztül. A szintézis ugyanis lehetővé teszi az egyes molekulák tiszta formában történő előállítását, valamint kötésrendszerük és tulajdonságaik jellemzését. Az első szintetikus próbálkozások  $C_n$  típusú molekulák előállítására Diederich és munkatársai nevéhez fűződ-

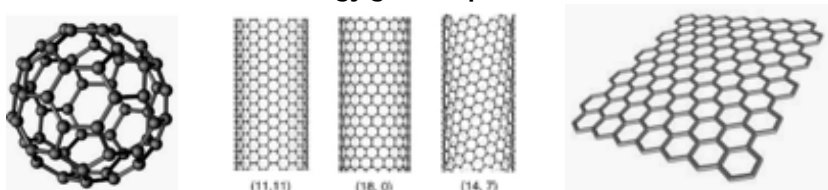


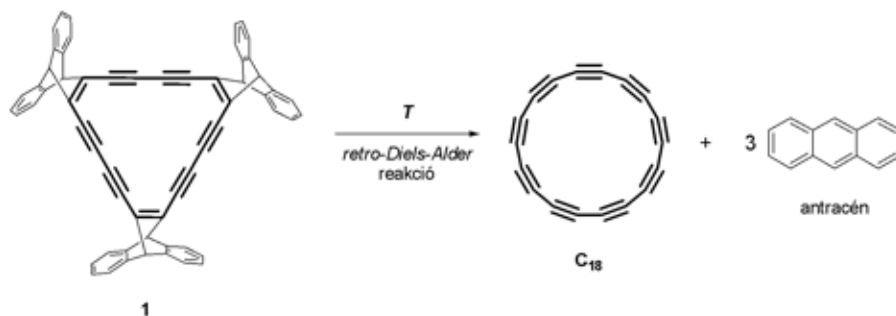
2. ábra. A  $C_{18}$  gyűrű-molekula szerkezeti izomerjei

nek, akik a  $C_{18}$  előállítását kísérelték meg, annak jósolt stabilitása és a jól tervezhető szintézise alapján. Fontos, fundamentális kérdésként merült fel a  $C_{18}$  molekula kötésrendszerének természete. A  $C_{18}$  molekula elképzelhető egyrészt egy poliacetilén típusú elrendezésben, amelyben C-C egyes és C=C hármas kötések váltakoznak, másrészt egy kumulén típusú elrendezésben, ahol a szénatomok C=C kettős kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz a molekulában (2. ábra). Ezen túlmenően felvetődött a  $C_{18}$  aromás jellegének kérdése is ami további stabilizációt adhat a gyűrűnek.

A szintetikus megközelítés kiindulópontja a  $C_{18}$  olyan molekulákból való előállítása volt, amelyekben a C≡C hármas kötések egy része védett, C=C kettős kötésként „maszkírozva” jelent meg. Az ilyen módon stabilizált molekulákból a védőcsoportok eltávolításával állhat elő a kívánt termék. Ennek megfelelően vizsgálták a  $C_{18}$  egy maszkírozott származékát (3. ábra 1), amely magas hőmérsékleten

1. ábra. Szén nanoszerkezetek, szén allotrópok a:  $C_{60}$ , b: nanocső formák, c: egy grafén lapka





3. ábra. A C<sub>18</sub> molekula előállításának első szintetikus megközelítése.

várhatóan C<sub>18</sub>-ra és antracénre bomlik el. Valóban, a megfelelő hőmérsékletre hevített C<sub>18</sub> prekursor (1) bomlástermékei között tömegspektrometriás módszerekkel detektálható volt a szabad C<sub>18</sub>. Melléktermékként antracént és részlegesen bomlott kiindulási anyagot (egy, illetve két antracén védőcsoportot tartalmazó prekuzort) találtak.

Ez az eljárás ugyan sikeresnek volt mondható, hiszen stabil prekuzorából kiindulva előállították és detektálták a C<sub>18</sub>-at, azonban a molekula szerkezetével kapcsolatos kérdéseket nyitva hagyta. Ezt követően további vizsgálatok történtek a C<sub>18</sub> szintetikus előállítására, azonban egyik sem volt konkluzív a szerkezetet illetően. A molekulászerkezet körüli bizonytalanságot tovább fokozták a korábrinál magasabb szintű számítások, amelyek egymásnak ellentmondó eredményeket adtak a poliacetilén illetve a kumulén szerkezet stabilitását illetően. A C<sub>18</sub> szerkezetével kapcsolatos ismereteinkben az áttöréshez

a mikroszkópiás módszerek fejlődése vezetett.

Az IBM svájci laboratóriumában kifejlesztett pásztázó tiszondás mikroszkópia (SPM: Scanning probe microscopy) révén valóra vált a felületek atomi léptékű leképzése és atomi léptékű átalakítása, manipulálása. A mikroszkóp lelke a W vagy Pt-Ir tű, amelyet az IBM kutatói fókuszált ionsugárral hegyeznek ki. A pásztázó tiszondás mikroszkópban a képalkotás során a tű követi a felület morfológiáját és a számítógép folyamatosan rögzíti a tű mozgását. A szonda két fizikai jelenség felhasználásával érzékeli a felület közelségét: a) a tű hegyén lévő atomok és a felület atomjai között fellépő erőhatások által (atomerő), b) a kettő között fellépő úgynevezett alagúteffektus és az ehhez kapcsolódó alagútáram szabályozása révén.

Kaiser és munkatársai a C<sub>18</sub> előállításához és leképezéséhez az ún. qPlus mikroscopos technológiát alkalmazták. A

Regensburgi Egyetemen kifejlesztett qPlus mikroszkópban az alagút áram és az atomerő párhuzamosan rögzíthető a képalkotás során. A qPlus készüléket feltaláló Franz Giessibl (<https://doi.org/10.1088/0957-4484/15/2/017>) a karórákban is megtalálható kvarckristály-oszcillátor egyik szárára egy fém tűt erősített, a másik szárát pedig egy kerámia lapra rögzítette (lásd 4. ábra). Az atomerő hatására az oszcillátor rezonancia frekvenciája eltolódik és a frekvencia-eltolódást rögzítik a képalkotás folyamán. Molekuláris kémiai vizsgálatokhoz általában CO molekulával funkcionalizált tühe-

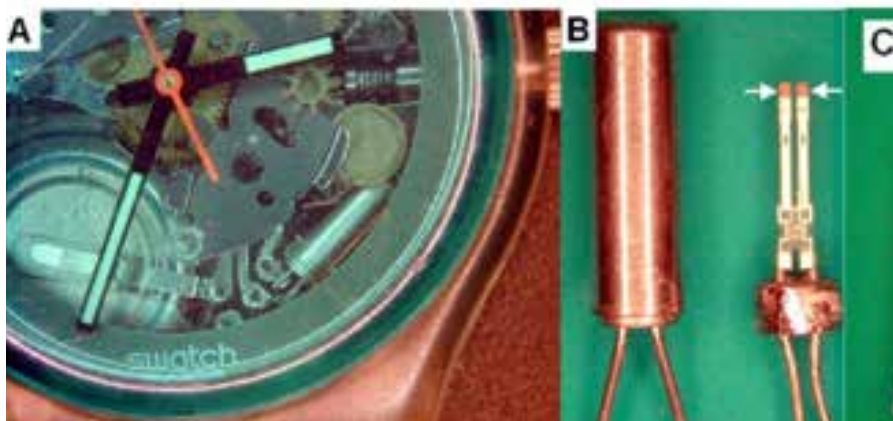
”  
A szerves kémiai szintézis fejlődésével felvetődött a tisztán szénatomokból álló molekulák (C<sub>n</sub>) előállítása ismert szerkezetű kiindulási anyagokból, funkciós csoport átalakításokon keresztül.

”  
gyet alkalmaznak. A tűhegyre fiziszorbeált, inert CO az atomi hegyességet biztosítja a mérésekhez. A tűhegyet képező oxigén atom a lehető legjobb laterális felbontást biztosítja. Továbbá a CO meggátolja, hogy a fém tű kölcsönhatásba lépjen a vizsgált molekulával és „magával ragadja” azt a felületről.

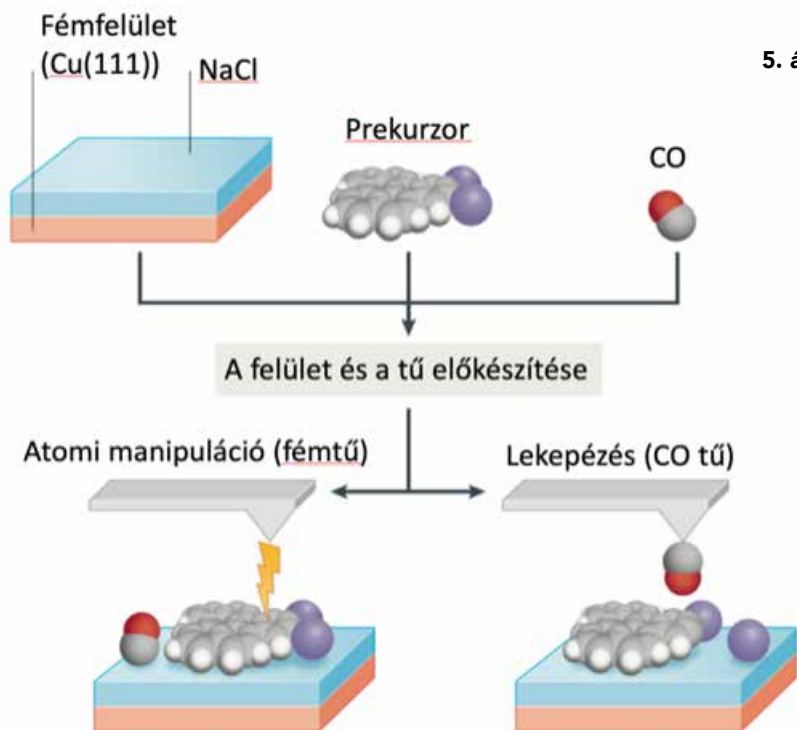
A Gross által vezetett rüschlikoni IBM csoportban kimutatták, hogy az alagút effektust felhasználva a szerves vegyületek térbeli szerkezete megváltoztatható. Gross csapata a felületre felvitt molekulák egyes részleteit leválasztotta a tű és a felület (minta) közötti feszültség megemelésével. Ezt a módszert már többször alkalmazták gyengén kötött hidrogén és halogén atomok leválasztására és reaktív molekulák előállítására

(<https://doi.org/10.1038/s41570-016-0005>).

Az 5. ábrán látható az atomi manipuláció



4. ábra. A qPlus szenzor: (a) Átlátszó kvarcóra (b) a referencia órajelet (ütemet) adó kvarckristály-oszcillátor (c) kerámia lapra szerelt qPlus szenzor.



5. ábra

manipuláció termékét újra CO molekulával funkcionizált tűhegygel karakterizálják. Szükség esetén a felületi átalakítás újra megismételhető, a kívánt végeredmék eléréséig.

Anderson és munkatársai vizsgálataikhoz a korábban már Diederich által javasolt stabil  $C_{24}O_6$  molekulát választották, ugyanis ebből a kiindulási anyagból egymást követő CO vesztesékekkel előállhat a  $C_{18}$ . A veszteségek előidézéséhez a tűt a  $C_{24}O_6$  prekurtzótól néhány nm távolságra pozicionálták és a réz mintára kapcsolt feszültséget pár másodpercre 3 V-ra emelték a felület leképezéséhez tipikusan használt 0.2 V értékről.

Kaiser atomi erő mikroszkópos felvételek alapján megállapította, hogy a NaCl felületen a  $C_{18}$  poliacetilén formában jelenik meg. A felvételeken a hármas kötések fényesebben jelennek meg a szén atomok közötti megnövekedett elektron sűrűség miatt, mint az egyszeres kötések. A  $D_{3h}$  szimmetriájú kumulén szerkezet esetében mindegyik szén-szén kötés azonos intenzitással jelenne meg a nagy felbontású képeken.

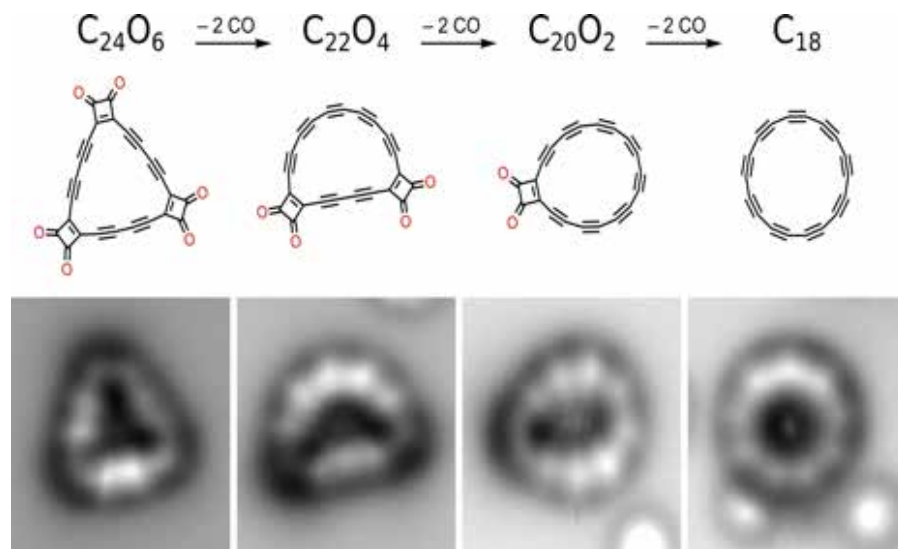
A 6. és 7. ábrán láthatjuk a prekurtzorok és a  $C_{18}$  molekula pásztázó atomerő mikroszkópos képeit. Mint már előbb megjegyez-

során tipikusan alkalmazott protokoll. A felületi szintézis stabil prekurtzorát két atomi réteg NaCl-dal bevont Cu (111) felületre párologtatják. Ugyanis a konyhasóval bevont felület megfelelően inert reaktív molekulák előállításához és vizsgálatához. Annak ellenére, hogy a NaCl nagy tiltott sávú szigetelő, az elektronok az alagút effektus révén áthatolnak az ultravékony NaCl rétegen. NaCl felülethez a legtöbb szerves vegyület rendkívül gyengén kötődik, ezért a molekuláris leképezést és átalakítást tipikusan 4 K hőmérsékleten végzik ultra-nagyvákuumú kamrában. Magasabb hőmérsékleteken a molekulák elmozdulhatnak a képkötés folyamán, esetleg már a párologtatás során a felületi hibahelyekhez, diszlokációkhoz és teraszélekhez diffundálnak.

A párologtatást követően a prekurtzorról nagyfelbontású képet készítenek. A fentebb említett CO molekulával funkcionizált tűhegy előállításához kis mennyiségű CO gázt engednek a kamrába. A CO gyengébben kötődik a felülethez, mint a tű hegyét képző alacsony koordinátságú fém atomhoz. Ezért a CO tű előállításához elegendő a tűvel a felületen adszorbeált CO molekulát néhány

angström távolságra megközelíteni. A felületi manipulációt megelőzően a CO molekulát visszahelyezik a felületre. Majd a tű és a minta közé kapcsolt feszültséget fokozatosan megnövelik. A molekuláris szerkezet megváltozásakor az alagútáram ugrásszerűen megváltozik. Az atomi

6. ábra. A  $C_{18}$  molekula előállítása stabil prekurtzorából fokozatos CO-vesztéseken keresztül. A folyamat során képződő molekulák mikroszkópián detektálhatók.

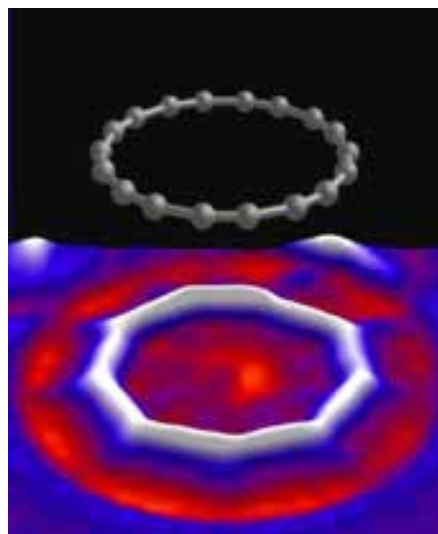




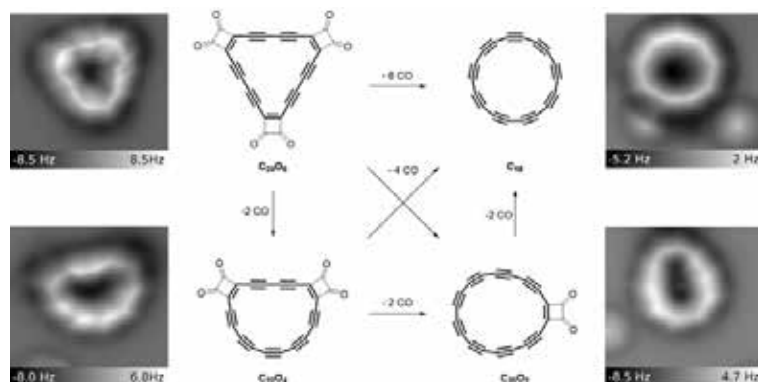
tük, a különböző fényességű képrészletek mutatják az elektronűrűség kontrasztjait így a molekula kémiai szerkezetét. Ezeknek a kontrasztoknak az alapján eldönthető, hogy a felületen adszorbeált  $C_{18}$  poliacetilén szerkezetű, de hasonló képek analízisével más szerzők kötéshosszakat is meg tudtak becsülni pl. a  $C_{60}$  fullerénben.

A 6. és 7. ábrákon látható AFM képek kontrasztjait megérthetjük, ha figyelembe vesszük, hogy az alkalmazott mikroszkóp tűszondájának viselkedését (pl. a vizsgált molekulák atomjaitól vett távolságát, vagy rezgési állapotát) kétféle fizikai hatás alakítja ki, a van der Waals kölcsönhatási erők, amelyek vonzzák a tűszondát az atomi felületekhez és sötét képrészleteket alakítanak ki, másrészt a vizsgált atomi elektroneloszlások és a tűszonda atom elektronjai között fellépő Pauli kizárási effektus, ami távolítja a tűszondát a felület-től és megnövelt fényerőben jelentkezik. Minél nagyobb a helyi elektronsűrűség, annál fényesebb az adott molekulaképrészlet. Gyakran használják a Pauli féle taszítási erő fogalmát, ami azonban fizikailag nem helyes, ugyanis ilyen erőt nem ismerünk.

Mint fentebb említettük, a NaCl felületen található  $C_{18}$  poliacetilén szerkezetű. Az azonban még nem teljesen tisztázott,



**8. ábra.** A  $C_{18}$  molekula modellje és stilizált atomerő mikroszkópos (AFM) képe



**7. ábra.** A  $C_{18}$  molekula képződésének lehetséges útvonalai CO-vesztéseken keresztül, stabil  $C_{24}O_6$  molekulából. Az egyes állapotok mikroszkópiásan detektálhatók.

hogy ez vajon a felülettel való kölcsönhatások eredménye és a szabad állapotú, gázfázisú  $C_{18}$  esetében nem a kumulén szerkezet dominál-e? Noha magas szintű, konfigurációs kölcsönhatásokat tartalmazó elméleti számítások (pl. CCSD) eredménye szerint a felületi  $C_{18}$  poliacetilén szerkezetű, összhangban az AFM kísérleti eredményekkel, az még nem tisztázott, hogy a két szerkezeti izomer nem alakulhat-e át un. automerizációs folyamatban.

DFT és CASSCF szintű számítások szerint a poliacetilén szerkezet a potenciálfelületen globális energia minimum, míg a kumulén szerkezet az egyes és hármas kötés inverziós folyamatában átmeneti állapotnak felel meg. Az inverziós átalakulást Kekulé-típusú rezgési forma közvetíti, aminek kb. 10 kcal/mol energiagátja van. Mágnesesen indukált áram számítások arra mutattak, hogy a poliacetilén szerkezet kevésbé aromás, mint a kumulén szerkezet. A kétféle szerkezet adszorpciós energiája a NaCl felületen azonos, ami arra utal, hogy a poliacetilén szerkezetet semmiféle stabilizációs energia nem favorizálja a kumulén formával szemben.

A  $C_{18}$  AFM nanoszintézise arra enged következtetni, hogy a  $C_{60}$  fullerént atommanipulációs módszerrel is lehetséges előállítani. Ez igen érdekes fejlemény lenne, mivel a fullerének szintézise eddig lényegében csak plazmakémiai módszerekkel sikerült.

A szerzők köszönetet mondanak Dr.

Przemyslaw Gawelnek, (Oxfordi Egyetem

Kémia Tanszék) ennek az ismertető munkának a megírásához nyújtott sokoldalú segítségéért.

**London Gábor, Majzik Zsolt,  
Nemes László**

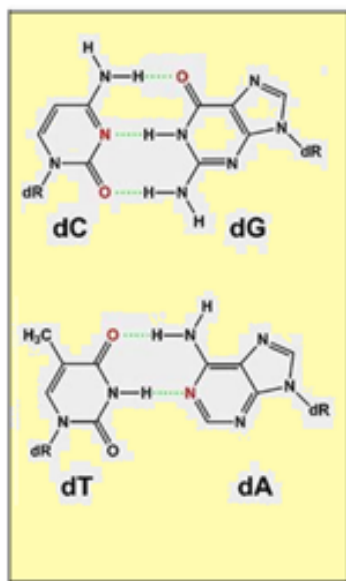
## ★ IRODALOM

- Pitzer, K S, Clementi E: Large molecules in carbon vapor. *J. Am. Chem. Soc.* 1959, 81, 4477–4485.
- Hoffmann, R: Extended Hückel theory-V: cumulenes, polyenes, polyacetylenes and  $C_n$ . *Tetrahedron* 1966, 22, 521–538.
- Yang, S, Taylor, K J, Craycraft, M J, Conceicao, J, Pettiette, C L, Cheshnovsky, O, Smalley, R E: UPS of 2-30-atom carbon clusters: chains and rings. *Chem. Phys. Lett.* 1988, 144, 431–436.
- Diederich, F, Rubin, Y, Knobler, C B, Whetten, R L, Schriver, K E, Houk, K N, Li, Y: Allcarbon molecules: evidence for the generation of cyclo[18]carbon from a stable organic precursor. *Science* 1989, 245, 1088–1090.
- Kaiser, K, Scriven, L M, Schulz, F, Gawel, P, Gross, L, Anderson, H L: An sp-hybridized molecular carbon allotrope, cyclo[18]carbon. *Science*, 2019, 365, 1299-1301.
- Gross, L, Mohn, F, Moll, N, Schuller, B, Criado, A, Guitian, E, Pena, D, Gourdon, A, Meyer, G: Bond-order discrimination by Atomic Force Microscopy. *Science* 2012, 337, 1326-1329.
- Baryshnikov, G, V, Valiev, R, R, Kuklin, A V, Sundholm, D, Agren, H: Cyclo[18]carbon: Insight into electronic structure, aromaticity and surface coupling. *J. Phys. Chem. Lett.* 2019, 10, 6701-6705.
- Pavliček, N, Gross, L: Generation, Manipulation and characterization of molecules by atomic force microscopy. *Nat. Rev. Chem.* 2017, 1, 0005
- Giessibl, F, J: The qPlus sensor, a powerful core for the atomic force microscope. *Review of Scientific Instruments*, 2019, 90, 011101

# Megduplázódott a DNS kódoló kapacitása

Az élő szervezetekben centrális szerepet játszó nukleinsavak, a dezoxiribonukleinsav (DNS) és a ribonukleinsav (RNS), öt alapvető nukleotidból épülnek fel. A nukleinsavak három összetevőből állnak: nitrogénalapú heterociklusos bázispárokból (hidrogénkötéssel összekapcsolt purin- és pirimidinbázisok), egy dezoxiribóz (DNS) vagy ribóz (RNS) cukorból és egy foszfátcsoportból. A két nukleinsavban található nitrogénalapú bázisok: adenin (A), guanin (G), citozin (C) és timin (T) a DNS-ben, míg timin helyet uracil (U) szerepel az RNS-ben. A DNS kettős hélix szerkezete két egyszálú nukleinsavból képződik a bázisok párokba történő összekapcsolódása útján.

**A** DNS-ben van kódolva a szervezet teljes örökítő információját (genom). Az RNS szerepe a DNS-ben kódolt genetikai információ lemásolása (transzkripció) és fehérjék építőegységeinek, az aminosavaknak a szállítása, a fehérjeszintézis helyére, a riboszómákhoz. A DNS két nukleinsav szála közül általában csak az egyikről történik RNS-átírás. Ezt negatív (vagy antiszensz) szálnak nevezük. Az *antisense* szálon három bázis alkot egy *tripletet*, mely meghatároz egy aminosavat. A tripletet, azaz az aminosav-kódoló



Bázispárok a DNS-ben  
dR=dezoxiribóz

szótár egy szavát kodonnak nevezzük. Egy adott fehérje előállításához szükséges információkat tartalmazó gén nagyszámú tripletet tartalmaz. A DNS-ben aminosavakat kódoló géneken (exon) kívül nagy százalékban nem-kódoló (intron) szakaszok is találhatóak. A DNS-sel szemben az RNS egyszálú, de a szál másodlagos szerkezetet tud létrehozni önmagára tekeredve és a szál különböző részeinek meghatározott bázisai képeznek hidrogénkötéses bázispárokat. A két nukleinsavban energetikai okok miatt csak meghatározott bázispárok valósulnak meg. A DNS-ben adenin (A) timinnel (T), és guanin (G) citozinnal (C) adhat bázispárt, míg RNS-ben adenin – uracil (U) párképződés van. Nem megfelelő bázispárok létrejötte DNS replikációs és transzkripció hibákhoz vezethet. A két természetben előforduló nukleinsavon (DNS és RNS) kívül léteznek más mesterséges nukleinsavak is.

Ez év februárjában egy NASA kutatási projekt kutatói, jelentős figyelmet kiváltó eredményét közölte a *Science* folyóirat: (*Science* **363**, 884–887 2019).

A kutatóknak sikerült két új szintetikus purin analóg bázis P, B és két új pirimidin analóg bázis Z, S DNS-be történt beillesztésével egy új mesterséges kettős hélix szerkezetű nukleinsavat előállítani. Az új szintetikus bázisok hasonlóan a DNS bázisaihoz, hidrogénkötésekkel maguk is párokba szerveződnek a hélixen (S:B,

”  
Most egy kutatócsoport úgy döntött, hogy utánozzák a természetet és hidrogénkötéses bázispárokat használnak.”

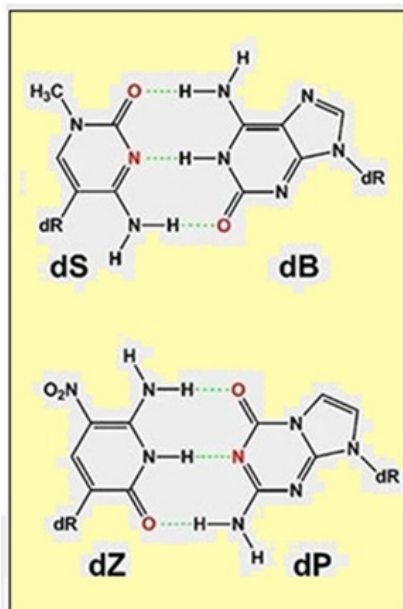
”

Z:P). A nyolc bázist tartalmazó nukleinsavat, a japán *hacsi* (nyolc) és *modzsi* (betű) szavak alapján, a kutatók hacsimodzsi DNS-nek nevezték el.

Az S:B és Z:P párok jelenléte elvben lehetővé teszi a szintetikus DNS spirál szerkezetének kialakítását és a kód másolhatóságát egy új DNS- vagy RNS-szála is. A kutatócsoport a másolhatóságot úgy igazolta, hogy egy minimálisan módosított bakteriális fehérjét használva, a hacsimodzsi DNS-ben rögzített információt átmásolták egy RNS szála.

Az elmúlt két évtizedben a kutatók számos nem természetes bázispárt szintetizáltak, de ezeket hidrofób kölcsönhatások kapcsolták egymáshoz. Hidrogénkötések nélkül azonban, a párok elcsúszhatnak egymás fölé és összeomolhat a kettős spirál. Most a nevezett kutatócsoport úgy döntött, hogy utánozzák a természetet és





A két új bázispár

Hoshika et al., *Science* 363, 884, 2019  
dR=deoxiribóz

hidrogénkötéses bázispárokat használnak. A 8 bázisú új kettős hélix szerkezetű nukleinsav megerősíti azt a napjainkban elfogadott véleményt, miszerint annak oka, hogy a genetikai kódokat hordozó DNS éppen az A, C, G, T bázisokból épül fel egyszerűen az, hogy ezek a bázisok álltak rendelkezésre a természetben az élet kialakulásakor.

A közlemény megjelenését élénk tudományos visszhang kísérte. Diskusszió indult el az új mesterséges nukleinsav alkalmazási lehetőségeiről. Az egyik ilyen lehetőség a hacsimodzsi DNS adattárolóként történő felhasználása, hiszen ez a nukleinsav a természetes nukleinsavak kétszeres adattárolási kapacitásával rendelkezik. A DNS-t adathordozóként használó eljárások még nagyobb lendületet kaphatnak, és bonyolultabb algoritmusokkal, kisebb helyen még nagyobb pontossággal tudnak majd információt tárolni. (A DNS adattárolás elvét lásd alább.)

Érdekes kérdés az is, vajon lehet-e a hacsimodzsi segítségével kódolni az élő szervezetekben előforduló **20** fehérjeépítő aminosavtól eltérő aminosavakból álló mesterséges fehérjéket? Az eredmények



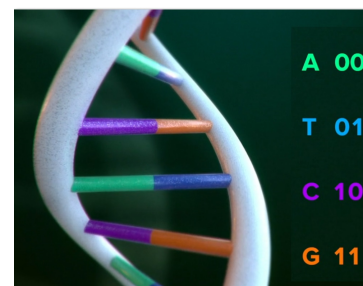
A hacsimodzsi DNS kettős spirál szerkezete  
Millie Geogiadis, Indiana University School of Medicine

felvetik azt a kérdést is, hogy lehetséges-e, a földi élőszervezetek DNS molekulái helyett, a genetikai információt más molekulákra alapozó élet az Univerzumban. A kutatóknak még sok tennivalója van annak a kérdésnek az eldöntésére, hogy szolgálhatnak-e az élet alapjául más genetikai rendszerek és található-e ilyen egzotikus élőszervezetek az Univerzumban? Léteznek-e olyan egzotikus élőszervezetek – akár ma még élehetetlennek tartott környezetben is – amelyeket még nem tudunk elképzelni?

S. Hoshika et al., “Hachimoji DNA and RNA: A genetic system with eight building blocks,” *Science*, 363: 884–87, 2019.

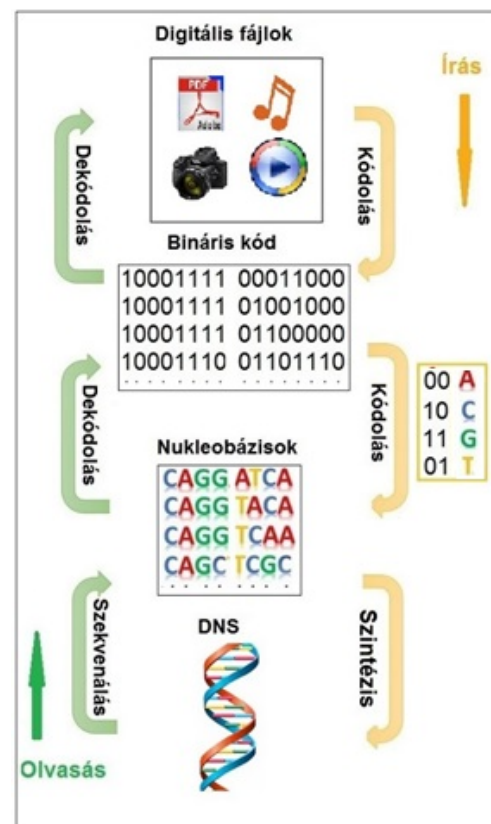
## A DNS ADATTÁROLÁS ELVE

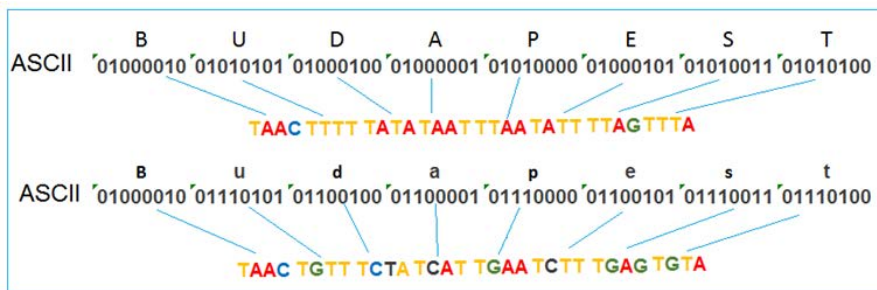
A DNS adattárolásra történő felhasználásával már évtizedek óta foglalkoznak a bioinformatikusok. A kettős spirál alakú molekulában a négy nukleobázis kódolja az élőlények felépüléséhez szükséges genetikai információt. Három szomszédos nukleobázis (kodon) határoz meg egy aminosavat. (A kodon számítógép nyelvre lefordítva 3 bites ábrázolás). A genetikai kódban a kodonok sorrendje határozza meg, hogy milyen sorrendben épüljenek



be az aminosavak a fehérjeszintézis során. Ezek után nem meglepő az az ötlet, hogy tároljunk digitális adatokat is DNS-en.

A DNS-adattárolás úgy működik, hogy először a 0-ás és 1-es bináris kódokkal a DNS építőelemeit alkotó A, C, G és T nukleobázisokat kódolják. A konvertált DNS-kódot ezután szintetikus DNS-szálak szintézisére használják. A szálat hűtve tárolva, szükség esetén dekódolható egy DNS-szekvenáló berendezés segítségével. A DNS-szekvenancia ezután számítógépes szoftver segítségével ismét bináris formátumra fordítható. A szintézishez rendelkez-





Kódolás nukleobázisokkal

zésre állnak a számítógépes nukleinsav-szintetizáló berendezések, az adatok olvasásához pedig a szekvenáló (olvasó) berendezések.

Az elmúlt évtizedekben több DNS kódolási eljárást alakítottak ki, ahogy a számítógépes digitális kódolás esetére is (ASCII, UCS2, UCS4, stb.). A kiterjesztett 8 bites ASCII kódok, összesen  $2^8=256$ -féle jelet különböztetnek meg, ami tovább bővítheti az adattárolás kapacitását.

Ámde még így sem lehet helye benne minden nemzet speciális betűjének, nem tartalmazzák a teljes magyar betűkészletet sem. Nem csak számokat és betűket kell kódolni, számos jel, kép, hang és printer karakterre van szükség a különböző típusú adatok digitális tárolásához. A később kifejlesztett UNIKOD új kódrendszer 16 bites lett, így ezzel már  $2^{16} = 65536$  jel kódolható. Ez alkalmas bármilyen nyelv karaktereinek, egyértelmű kódolására.

Alább egy egyszerű kódolási eljárás példája illusztrálja a DNS adattárolás elvét. Az ábra az adenint, timint, guanint és citozint rendre 00, 01, 11, 10 karaktereknek megfelelően a tárolandó anyag (betű, szám, hang, kép, stb.) 8 bites (1 byte) (ASCII) digitális kódjainak



A Catalog DNS "írógépe", szintetizátora

nukleobázis fordítását mutatja be.

Egy másik példa a „Budapest” főnév ASCII 8 bites digitális kódolásának lefordítását illusztrálja, az előbbi nukleobázis kódolás szerint.

A DNS szegmensét szintetizálni kell és hidegen tárolva később szekvenátorral visszaolvasható a nukleobázis szekvenancia és ezt követően bináris kódra lefordítva a szöveg számítógépen ismét megjeleníthető.

A DNS-nek számos előnye van a ma használatos adattárolókkal szemben. Nagyon kis helyen sokkal több információ tárolható (molekuláris tárolás) és megfelelően tárolva több tízezer évig is leolvashatóak lesznek a tárolt adatok. Korunk adattárolói közül ma már számos széles körben nem olvasható, (lyukszalag, lyukkártya, mágnesszalag, floppy). Napjaink adattárolóit (CD, DVD, pendrive) sem fogjuk tudni rövidesen használni, mert olvasóik gyorsan elavulnak. Mivel a DNS a földi biológia alapja, ezért arra mindig szükség lesz, hogy leolvasható legyen. A DNS szintetizáló (író) és szekvenáló (olvasó) berendezések már ma is igen fejlettek és tovább fognak fejlődni, a méretük is csökkeni fog, de hogy mit kell leolvasni, az nem fog változni.

Napjainkra már jelentős eredményeket értek el a fejlesztők, könyveket, zenét, képeket, filmeket képesek tárolni DNS szájakon rögzítve. A közelmúltban egy az USA-ban működő startup „Catalog” sikeresen tárolta a Wikipedia angol nyelvű szövegének mind a 16 gigabájtnyi szövegét egy laboratóriumi ampullában őrzött vékony DNS-szálon, ami demonstrálta a szintetikus DNS potenciálját a digitális

tárolásban. A Catalog olyan előregyártott szintetikus DNS-szájakkal dolgozott, amelyek rövidebbek, mint a human DNS, de ezekből sokkal többet használt, valamint egy olyan DNS-író gépet, amely jelenleg 4 megabit / mp sebességgel ír adatokat, de legalább ezerszer gyorsabban szeretne készíteni.

A digitális adatok tárolása szintetikus DNS-ben ma még nagyméretű bonyolult berendezéseket és szoftvereket igényel. A berendezések mérete a jövőben csökkeni fog és az adattárolási sebesség növelésén is számos helyen dolgoznak a világban.

A szekvenálási folyamat gyorsítása és olcsóbbá tétele, valamint a berendezés méretének csökkentése már ma is előrehaladott állapotban van. Az új fejlesztések kémiai alapok helyett nanotechnológiai jellegű mérés-technikai újításokra épülnek. A fejlesztések egyik ígéretes eredménye az Oxford Nanopore cég által kifejlesztett MINION szekvenáló berendezés, amely egy nagyobb pendrive méretű és kinézetű USB csatlakozós eszköz.

Néhány csepp mintát kell cseppenteni az eszköz megfelelő bemenetére, majd szekvenálja a DNS szájakat és megfelelő szoftver megjeleníti az eredményt a számítógépen. A berendezés teszteléséhez a Budapesti Műszaki Egyetem kutatói is hozzájárultak. Várhatóan nem is olyan távoli jövőben hasonló méretű eszközök elterjednek az oktatásban és magunk is megvásárolhatjuk és használhatjuk, például származásunk felderítésére.

Pálinkás Gábor



## OLVASNIVALÓK

<https://www.sciencemag.org/news/2017/03/dna-could-store-all-worlds-data-one-room>  
<https://catalogdna.com/>



# Korszakalkotó tudósok: Joseph Priestley és Lénárd Fülöp téveszméi

A tudomány története több korszakalkotó kísérletet jegyez, amelyek forradalmi változásokhoz vezettek a tudomány haladásában. A legérdekesebbek közülük azok, amelyeket a kísérlet végrehajtója hagyományosan értelmezett, és egy zseniális másképp gondolkodó kellett újszerű értelmezésükhöz. A kísérletező ilyenkor gyakran méltatlanul háttérbe szorult, a siker és dicsőség pedig az újraértelmezőnek jutott.

**E**nnek az írásnak a két főszereplője: Joseph Priestley brit lelkész, természetfilozófus, kémikus és Lénárd Fülöp fizikus, az első magyar Nobel-díjas. Ellenlábasuk pedig Antoine-Laurent Lavoisier és Albert Einstein.

Joseph Priestley (1. ábra) 1733-ban, az alkímia korszakában született, amikor az égés flogiszon elmélete uralkodó dogma volt. Az elmélet szerint az égő testből láthatatlan, tömegmentes részecskék, flogiszonok távoznak (J.J. Becher és G.E. Stahl elmélete).

Priestley családja református volt, az

**1. ábra: Joseph Priestley** ([https://hu.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Priestley](https://hu.wikipedia.org/wiki/Joseph_Priestley))



anglikán vallással ellentétes nézetekkel. Hitoktatóival ő is hamar teológiai vitákba keveredett liberális alkata miatt. Az 1860-as években már természetfilozófiát és történelmet oktatott Warrington akadémiáján, majd Leedsben presbiteriánus-kongregacionista lelkész lett. Önképző módon egyik legnagyobb kémiai kísérletezővé vált, de az elektromosság és optika is érdekelte. Fő érdeklődési területe a gázok voltak (2. ábra). Sokféle gázt fedezett fel, amelyeket különféle levegőknek nevezett: flogiszonos- ( $N_2$ ), nitrozus- ( $NO$ ), savas- ( $HCl$ ), alkálikus- (ammónia), flogiszonmentes nitrozus- ( $N_2O$ ), fluor-savas- ( $SiF_4$ ), vitriolos levegő ( $SO_2$ ) és vörös nitrozus gáz ( $NO_2$ ). A gázok felfedezéséért 1773-ban megkapta a Royal Society Copley Medal-ját.

Priestley sörfőzde mellett lakott és 1767-ben megfigyelte, hogy az erjedő alkohol fölött képződő gáz leszáll és kioltja a faforgács izzását. Kötött (fixed) levegőnek nevezte el a  $CO_2$ -t. Ő találta fel a szódavizet, nem Jedlik Ányos, aki a szikvíz ipari méretű előállítását valósította meg 1826-ban. Legfontosabb kísérletében Priestley 1774-ben napsugarakat fókuszálva vörös higanyoxidot hevített zárt térben, amikor olyan gáz – vélekedése szerint flogiszonmentes levegő – keletkezett, ami az egereket 5-6-szor tovább tartotta életben, mint a levegő. Párizsban Lavoisiernek elmesélte ezt a számára ért-



**2. ábra: Priestley kísérleti eszközei gázok vizsgálatához (1774).** „Experiments and Observations on Different Kinds of Air” című könyvének illusztrációja. <https://fineartamerica.com/featured/1-joseph-priestleys-chemical-apparatus-science-source.html>

hetetlen kísérleti eredményt. Lavoisier megismételte a kísérletet és oxigénnek nevezte el a keletkező gázt. Fokozatosan kidolgozta égéselméletét, cáfolta a flogiszonok létét és megalapozta a modern kémia tudományát. A Lavoisier-ről szóló, „a kémia Tűzkeresztsége” című írás a Kémiai Panorámában olvasható (4. szám, 4-6).

Az 1780-as években Priestley radikali-

Hőseink életét meghatározta, hogy munkásságuk világnézetükhöz illeszkedett.

zálódott, védelmezte az angol másképp gondolkodókat (Dissenters) és a francia forradalmárokat is. Kezdetben csak pamfletekben támadták, de mikor 1791-ben, Birminghamben felgyújtották a házát, menekülnie kellett. Ő sem lehetett próféta a saját hazájában. Francia állampolgárságot kapott, de 1793-ban tovább emigrált az Egyesült Államokba, ahol élvezte választott hazája és Thomas Jefferson elnök megbecsülését is. Pennsylvániában hunyt el 1804-ben.

Az oxigén felfedezésének centenáriumi kollokviuma vezetett az Amerikai Kémiai Társaság megalakulásához 1876-ban. Legrangosabb kitüntetésüket, a Priestley Medal-t, 1922 óta adják ki. Az alkímia korában gyökerezett, elvhű, protestáns Priestley élete végéig kitarzott a flogiszton fikciója mellett. Priestley 'racionális kereszténysége' ötvözte a tudományt és vallást. Ellentmondásos életművét jól jel-

### 3. ábra. Philipp Lenard (1905 körül).



lemzi méltatója, a természetfilozófus George Cover megállapítása: „Priestley a modern kémia atyja volt, aki soha nem ismerte el gyermekét.”

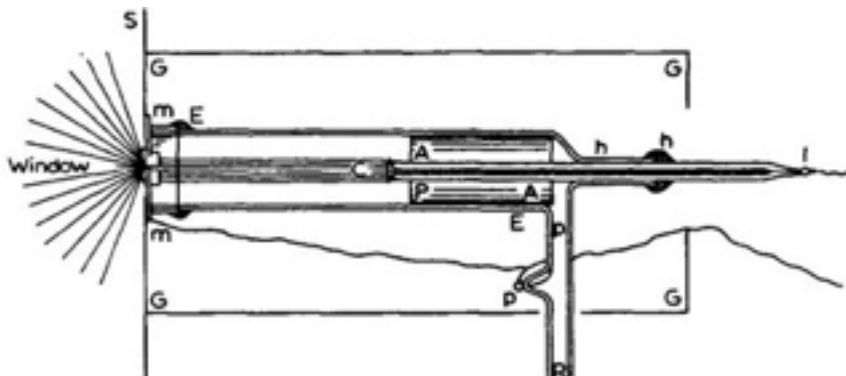
Az ókori görög természetfilozófusok (Arisztotelész, Empedoklész) és a középkori alkímisták négy ősi alapelemet, princípiumot különböztettek meg: föld, víz, tűz és levegő. Platon a légből felső, legtisztább rétegét éternek nevezte, ami az istenek lakhelye. Anaxagoras (+Kr.e. 428) az étert a tűzzel azonosította. Érdekes, hogy a magyar lég szó három fogalmat is tartalmaz: levegő, ég, légből. A középkorban az éter közegből a költészet szimbolikus fogalmává nemesült. Láthattuk, hogy a XVIII. századi kísérletező alkímisták a tűz és levegő viszonyát, kölcsönhatását vizsgálták. Jól sejtették, hogy a levegő nem egységes: Priestley szerint flogiszton tartalmaz, Lavoisier bizonyította, hogy oxigént. A flogiszton cáfolata után, az újkorban az éter 'visszaszívárgott' a légkörbe és a tudományba. Az újkori fizika éterelméletei olyan közeget, a teret kitöltő anyagot, mezőt feltételeznek, amely közvetíti az elektromágneses vagy gravitációs erő terjedését.

Lénárd Fülöp (3. ábra) 1862-ben született a magyar-német nyelvű Pozsonyban. Palló Gábor mélyrehatóan feltárta életrajzát, tudományos eredményeit és konfliktusainak lélektani hatását. Itt csak olyasmikre térünk ki, ami a jelen írás szempontjából fontosnak tűnik. A magyar nyelvű főreáliskolában patikus(!) kémia tanára és kísérletei mély benyomást tettek Lénárdra. Aztán megszállott kísérletező fizikus lett: fizikatanárával, Klatt Virgillel két cikket is írtak a foszforeszcenciáról. Ez a jelenség mai tudásunk szerint olyan fotolumineszcencia, amelyben a foszforeszkáló anyag az elnyelt fény fotonjait késleltetve sugározza ki. (Lásd még Pálinkás Gábor „Világító Molekulák” című cikkét: Kémiai Panoráma 21. szám, 10-14). Fizikatanárával, Klattal szikrainduktort is készített. Ezzel állított elő nagyfeszültségű váltóáramot és elektromágneses teret, még később, katódsugár kutatásai során is. Budapesten fizikát és kémiát tanult, Than Mór előadásait hallgatta.

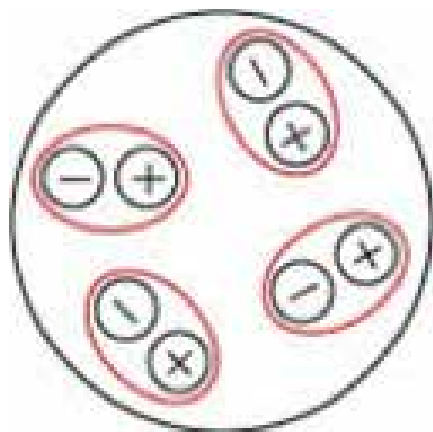
Eötvös Lorádnál demonstrátor volt 1887-ben. Utána nem kapott asszisztensi állást Budapesten, Heidelbergben azonban igen. Ez meghatározta egész pályáját és német kötődését. Magyar tudományos kapcsolatait ugyan megőrizte, de a később Magyarországról felajánlott fizikai katedrákat már nem fogadta el.

Lénárd korán elköteleződött a légből és elektromosság kutatása mellett. Az 1880-as években hidroeletromos vizsgálatokat kezdett disszertációjához. Szélsatornát készített, amelyben ő észlelte először helyesen a vízcseppek alakját. Meghatározta a töltés szeparációját meghatározó tényezőket a folyadékok porlasztása során. A vízcseppek elektromos töltésének aerodinamikai hatásra történő szétválását később Lénárd-effektusnak nevezték el.

1892-1894 között asszisztense volt Heinrich Hertznek, aki kimutatta az elektromos hullámokat, de mágneses térben nem tudta azokat eltéríteni. Lénárdnak a középiskolában elsajátított, jobb vákuumtechnikával sikerült eltéríteni a katódsugarakat és így bizonyítani negatív töltésüket. A vákuumcsövön lévő apró lyukra vékony alumíniumfóliát helyezett és ezen a Lénárd-ablakon, ahogy később elnevezték, kivezette a katódsugarakat a levegőre (4. ábra). Megállapította, hogy a katódsugarak elnyelése egyenesen arányos az elnyelő anyag sűrűségével. Feltételezte, hogy a fólia egyes atomjai között szabad térnek kell lennie, a katódsugár pedig ennél kisebb negatív töltésű részecskékből, elektromos kvantumokból áll. Dinamid elmélete szerint (1903) az atom belsejének is csak kis része átjárhatatlan. Ezek a részek neutrálisak, pozitív és negatív részecskék (utóbbiak későbbi nevén elektronok) kötött rendszerei, amelyeknek intenzív erőtere van. Dinamidoknak nevezte őket (5. ábra). Ez az atommodell és elmélet volt a Rutherford-féle atommodell alapja és ez vezette J.J. Thompsont 1897-ben a tömeg/töltés arány meghatározásához és az elektron felfedezéséhez. Ez az arány a modern tömegspektrometria alapjául szolgál.



4. ábra. Lénárd Fülöp katódsugárcsöve a Lénárd-ablakkal. ([http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1905/lenard-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1905/lenard-lecture.pdf))



5. ábra: Lénárd Fülöp dynamid atommodellje (1903). Az atomok alapvető építőeleme a dynamid, egy negatív és pozitív részecske kötött rendszere.

Lénárd átvette a német fizikusok szemléletét az elektromágneses sugárzás hullámtermészetéről és az éter teóriáról. Régóta ismert, hogy a hang vákuumban nem terjed. Terjedéséhez közeg kell: levegő vagy folyadék. Lénárd katódsugárcsöve vákuumában is észlelte a katódsugár terjedését, sőt, a sugár eltéríthetősége a vákuumnak volt köszönhető. Ha a csőben semmilyen ismert anyag nem maradt, a sugár terjedéséhez és eltérítéséhez más közeg kell: feltételezése szerint éter. Sőt, ha a Lénárd-fólián anyag nem hatolhat át és ki, az csak az éter lehet, gondolta. Tehát a katódsugár az éter hullámzása. Lénárd foszforeszkáló anyagot, földalkáli-foszfort helyezett a Lénárd-ablak elé és ez a kilépő sugár hatására világított, lumi-

neszkált. Később Wilhelm Conrad Röntgen a Lénárdtól kapott katódsugárcsővel hasonlóan fedezte fel a később róla elnevezett X-sugárzást. Lénárd és Röntgen prioritási vitája ebből fakadt. Ha elfogadjuk az elektromosság akkori angol értelmezését, a korpuszkuláris (elektron) jellegét, akkor az ablakon kétféle sugárzás jött ki: elektronok és nagyenergiájú elektromágneses sugárzás, amit Röntgen a cső teljes felületén mutatott ki. Mindkét sugárzás képes kiváltani foszforeszkálást és fényelektromosságot, de csak a röntgensugárzás hatol át a testen és nem lehet mágnessel eltéríteni. Lénárd mindkettőt éterhullámzásnak tekintette, amit szerinte Röntgen őt követően észlelt, 1895-ben.

Ma már ismeretes, hogy a fényelektromos jelenség egy küszöbszintnél nagyobb frekvenciájú elektromágneses (pl. ultraibolya) sugárzás hatására egy anyag felszínén lévő elektronok kilökődése. Lénárd előtt ezt a jelenséget alig tanulmányozták. 1902-ben közölte meglepő megfigyelését, hogy a keletkező (foto)elektronok energiája nem a fény erősségétől függ, ahogy a klasszikus hullámelmélet alapján várható lett volna, hanem csak a fény frekvenciájától. A kilépő elektronok számát pedig csak a fény erőssége befolyásolja.

Aztán egy fiatal szabadalmi hivatalnok a fényelektromos jelenséget az éter elvetésével magyarázta. Albert Einstein Max Planck nyomán feltételezte, hogy a fény piciny energiakvantumokat, fotonokat tartalmaz. A Lénárd által megfigyelt arányosság elsőfokú egyenlettel írható le:

$$hf = E_{\text{kilépési}} + E_{\text{mozgási}}$$

ahol az egyenes meredekségét az addig mellőzött Planck konstans,  $h$  adja, az  $f$  változó pedig a fény frekvenciája.  $E_{\text{kilépési}}$  a fémre jellemző állandó, a kilépési munka (a küszöbszint),  $E_{\text{mozgási}}$  pedig a fotoelektron mozgási energiája.

Közleménye 1905-ben jelent meg, éppen amikor Lénárd fizikai Nobel-díjat kapott. Lénárdot bosszantotta, hogy Einstein az étert elvetette és a fizikusokat lassan meggyőzte a hullám-részecske kettősségről. Kezdetben Lénárd és Einstein kölcsönösen nagyra becsülték egymást. Aztán Einstein a fényelektromos jelenség értelmezéséért kapott fizikai Nobel-díjat 1921-ben. Megkaphatta volna a Braun mozgás értelmezéséért vagy speciális relativitáselméletéért is, ( $E = mc^2$ ) is, de hogy az ő kísérletei újraértelmezéséért kapta, ez már sok volt Lénárdnak. Kapcsolatuk addigra nagyon megromlott. A német klasszikus kísérleti fizikusok, akik elvetették a relativitáselméletet és elméleti módszereit, Lénárdot választották vezéralakjukká. Támadásaik célpontja az addigra világszerte népszerű, sikeres Einstein volt és ehhez még fajelméleti és revansista nézeteik is társultak. A német természettudósok 1920-as vándorgyűlésén, Bad Neuheinenben Lenard maró gúnnyal ostorozta Einstein 'hiper-elméleti' fizikai módszereit.

A fizikatörténet az 1895-1898-as éveket tartja számon a kísérleti fizika aranyéveiként. Számos vezető ország akadémiaja Lénárdot és Röntgent együttesen tüntette ki. Aztán a Nobel bizottság is együtt terjesztette elő őket az első fizikai Nobel díjra 1901-ben, a Svéd Tudományos Akadémia mégis egyedül Röntgennek ítélte a díjat. Az ő nevének lett közismert fogalom a röntgenezés, Lénárd nevét pedig még hazánkban is kevesen ismerik. Henri Becquerel 1896-ban foszforeszkáló anyagok vizsgálatával fedezte fel a radioaktív sugárzást. 1903-ban kapott érte fizikai Nobel-díjat. Lénárd Fülöp a katódsugárral kapcsolatos munkásságáért és atommodelljéért kapott fizikai Nobel-díjat 1905-ben. Magyar állampolgárként kapta,

a német állampolgárságot ugyanis később vette fel (1907-ben). A Magyar Tudományos Akadémia egyébként 1897-ben választotta meg levelező, 1907-ben pedig rendes tagjává. Köszönőlevelét „hazafias üdvözlettel” zárta.

Lénárd, azaz 1907-től a német állampolgár Philipp Eduard Anton von Lenard, az 1920-as években dolgozta ki „német fizikáját”, ami az anyag és éter fizikájára oszlik. Az utóbbihoz tartozik az optika, elektromosság és mágnesesség. Világnézeté emelte az éterfizikát, amely legközelebb visz az Anyatermészethez (Mutter Natur). A világegyetemet az Óéter (Urether) tölti ki, éter kapcsolódik minden anyagi tárgyhoz. Műve négy kötetben jelent meg „Deutsche Physik” címmel és mozgalommá terjedt a harmincas években. A fizika történetéről írt könyvében már a német pragmatikus kísérleti fizikusok felsőbbrendűségét is hangoztatja, szembeállítva a spekulatív, dogmatikus elméleti fizikusokkal és mellőzve őket.

Albert Einsteinról aligha lehet itt újat írni. A National Geographic TV csatorna Einstein életéről szóló, Genius című sorozata figyelemfelkeltőjeként jelent meg az azonos című folyóiratban egy cikk: „Amikor a tudomány gonosszá (ugly) válik: Philipp Lenard és Albert Einstein története”. A közlemény és filmsorozat Lenard és Einstein ellentétét történelemformálónak állítja be. Lenard véleményével összhangban, Hitlerék meg voltak győződve a Deutsche Physik felsőbbrendűségéről és alábecsülték a magfizikát. Szerencsére, mert talán ezért is nem jutottak el az atombomba kifejlesztéséhez, a német magfizikusok kezdeti előnye ellenére.

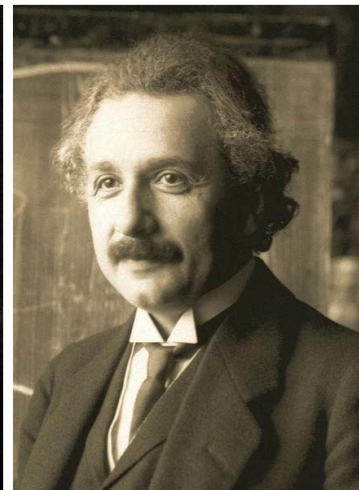
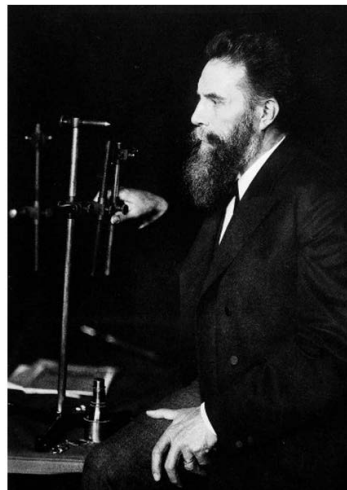
Lénárd nem tudta feldolgozni, hogy bár ragyogó kísérletei voltak, az éterhez ragaszkodó értelmezéseit elutasították, az X-sugárzás felfedezését Röntgennek, az elektronét Thomsonnak, a fényelektromosság értelmezését pedig Einsteinnek tulajdonították. Mindezek következtében Nobel-előadásában nehezményezte, hogy ő nem azok közé tartozik, akik a gyümölcsöt szüretelik, hanem azok közé, akik a

fát elültetik és gondozzák. A második világháború után feladta magát, de a szövetségesek futni hagyták. Feledésbe hanyatlottan hunyt el 1947-ben.

Érdemes megemlíteni, hogy az éterelmélet maga is hullámzott a XX. században. Különböző formákban mindmáig felbukkan. Einstein sem zárta ki később az éter létezését. A fizikai Nobel-díjas Robert B. Laughlin szerint (2005) „a vákuum a világűrben modern felfogásban relativisztikus éter. Csak nem hívjuk annak, mert ez tabu”.

Hőseink életét meghatározta, hogy munkásságuk világnézetükhöz illeszkedett. Lavoisier ugyan apolitikus volt, de balszerencséjére XVI. Lajos adótsíztviselője, ezért a francia forradalom alatt kivégezték. Mindazonáltal égéselmélete és az első modern kémiai kézikönyv (Traité Élémentaire de Chimie) előfutára volt a kémia forradalmának. Priestley nemcsak az égés elméletével, hanem gyakorlatával is szembesült, amikor házat felgyújtották, ezért menekülnie és emigrálnia kellett. Philipp Lenard az éter hullámain viharos politikai vizekre sodródott. Megfelelési készítése választott nemzete ideológiai elvárásainak és kutatási frusztrációi bizonnyára hozzájárultak a „Deutsche Physik” megalkotásához. Ha Einstein nem kap menedéket az Egyesült Államokban 1933-ban, Hitler Németországában alighanem rá is tragikus sors vár.

Joseph Priestley a késő középkorban gyökerezett kísérletező volt, de előkészítette Lavoisier számára a kémia forradalmát, hogy azután a kémia a XIX. század talán legeredményesebb természettudománya lehessen. Lénárd Fülöp pedig a kísérleti fizika aranyéveiben, a 19. század végén végezte kiemelkedő kísérleteit. Átlépett a mechanikai világtépből a rövid életű elektromágneses világtépbé, de a XX. századi, modern fizikai világtépbé



Lénárd kufarcai: Röntgen és Einstein

már nem tudott belépni. Priestley és Lenard világnézete és egységes kutatási koncepciója egyaránt egy múltófélben lévő korszakba illeszkedett, ami elméjüket gúzsba kötötte és téveszmékhez vezetett. Mindketten a láthatatlan lég összetevői közé képzeltek egy-egy fiktív szubsztanciát, a flogisztont és étert, amelyek létezését egy következő tudományos korszak úttörői, Lavoisier és Einstein cáfolták meg.

**Maksay Gábor**



## IRODALOM

[https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Priestley](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Priestley)

<https://www.beautifulchemistry.net/priestley>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Philipp\\_Lenard](https://en.wikipedia.org/wiki/Philipp_Lenard)

Palló Gábor, *Fizikai Szemle* 1997/4. 116. Rockenbauer Antal, <https://qubit.hu/2018/11/23/az-osztrak-magyar-nobeldijas-aki-lopassal-avadolta-einsteint-es-hitt-a-nemzetiszocializmusban>

Richard Gunderman, *National Geographic*, 2017. (<https://www.iflscience.com/physics/when-science-gets-ugly-story-philipp-lenard-and-albert-einstein>)



# Emlékhelyek és krumpli

Lead: Nemrég egy nemzetközi repülőtér építésébe kezdtek Chinchero-ban (Peru), az ország turista központjában, az Andok csúcsai között. A 2023-ra tervezett befejezés évente 6 millió látogatónak tenne könnyű megközelítést a közeli inka emlékhelyekhez, köztük a híres Machu Picchu királyi birtokhoz.

A terv nagy ellenkezést váltott ki archeológusok és történészek körében, akik szerint a nagymértékű építkezés és a megnövekvő turizmus tönkretenné éppen azokat az archeológiai és történelmi kincseket, amelyeket a turisták látni szeretnének.

Közel 200 perui és nemzetközi szakember írt alá egy levelet a perui elnöknek kérve, hogy függesse fel az építkezést és fontolja meg a repülőtér áthelyezését. A kérést több mint 2000 ember támogatta egy petíció aláírásával. Chinchero kitűnő kilátást biztosít Peru Szent Völgyére, az Inka hódítás egyik első színhelyére az 1300-as években, amikor birodalmukat fővárosuktól, Cuzco-tól kiterjesztették.

A Szent Völgy biztosította az inka uralkodók élelmészését kukorica és krumpli termesztésével, számos inka uralkodó itt építette fel otthonát. Chinchero környékén virágzik az inkák alatt létrejött teraszos földművelés.

Ezzel kapcsolatos egy másik probléma, ami a krumpli termesztését veszélyezteti. A burgonya (*Solanum tuberosum*) Peru és Chile hegyvidékén őshonos, ott az őslakosok már 5000 éve termesztik. A magaslati klíma (fagy és alacsony légnyomás) még a

A Machu Picchu képe napkeltekor



”  
A Mexikóban vadon  
termő fajták nagy  
mértékben ellenállnak  
a fertőzésnek.

”



**Teraszos földművelés az Andok hegyoldalain**



**Solanum tuberosum**

fagyasztva-szárítást is lehetővé teszi, amit mérsékelt égvön liofilizáló berendezések valósítanak meg.

Azonban az utóbbi években a krumpli termesztés nehézségekre ütközött. Gyakoribbak lettek a szárazságok és a fagyok, az eső késve érkezik és megrövidíti a termő időszakot. A melegebb időjárás hatására a krumpli kártevői elárasztották a magasabban fekvő területeket. Ezért a perui gazdák és a kutatók tesztelni kezdték a helyben termesztett fajtákat (több mint 4000), amelyeket a Nemzetközi Burgonya Centrum (CIP) nevű génbank őriz Limában. Elsőre 17 variánst próbáltak ki egy

kísérleti táblán, de ezek mind elpusztultak a szárazság és a kártevők miatt. "A honos fajták itt fejlődtek ki" mondja David Ellis, a génbank igazgatója, "de a klíma túl gyorsan változik ahhoz, hogy adaptálódni tudjanak".

Peruban és szerte a világon a búza és a rizs után a harmadik legfontosabb élelmiszer a krumpli, ami 1,3 milliárd ember ételmezését biztosítja. Európába a spanyolok hozták be az 1540-es években, de nem tudták vele mit kezdeni: botanikai különlegességnek, dísznövénynek tartották. A XVI-XVII. században spanyol és portugál kereskedők elterjesztették Ázsiában és Afrikában is.

Emberi táplálkozásra csak a napoleoni

háborúk okozta éhínség alatt kezdték használni. Ezután a gumók gyorsan elterjedtek szerte a világon. Népszerűségének oka az, hogy hideg éghajlaton és gyenge talajon is megterem, néhol évente többször is. A keményítő és C-vitamin tartalmú krumpli hónapokig tárolható, tápláló, sokféleképpen elkészíthető. Azonos méretű földterületen a krumpli négyszer több kalóriát biztosít a gabonáknál.

A krumpli gyakori kártevője a krumplibogár, de legnagyobb ellensége a gomba-jellegű kórokozó, *Phytophthora infestans*, ami hamar elpusztítja a növény föld feletti részét. A XIX. század közepén ez a kórokozó váltotta ki az éhínséget Írországból és a növénynevelők azóta is küzdenek azért, hogy megfékezzék. A *Phytophthora* minduntalan megjelenik és lerontja a növény ellenállóképességét.

A génebérszeti technika eddig még nem hozott áttörést a krumpli nevelésében, ezért a kutatók a vadon termő 107 krumplifajtától remélnék eredményt. Az élőhelyek összehangolása azonban veszélyezteteti a vadon termő fajtákat. Ezek megőrzése érdekében létrehoztak egy 50millió USD költséggel működő programot, amit egy alapítvány (Crop Trust) koordinál Bonnban. Számos kutatást indítottak a vad krumplifajták felkutatására Észak- Közép- és Dél-Amerika országaiban.

A Mexikóban vadon termő fajták a *Phytophthora infestans* jelenlétében fejlődtek ki és nagy mértékben ellenállnak a fertőzésnek. Dél-Braziliában a brazil mezőgazdasági kutatószervezet egyik botanikusa begyűjtött egy vad fajtát (*Solanum commersonii*), ami Braziliában honos. Ez a

## Az Andokban termesztett krumpli fajták



## Burgonyabogár (*Leptinotarsa decemlineata*)







táj messze esik az Andoktól, mégis a vad fajták elérték a Rio Grande do Sul állam területét, ahol a klíma mérsékelt és trópusi között változik. Ebben az átmeneti zónában a növények átélnek kemény teleket és forró nyarakat is. Így feltehető, hogy az itt termő vad krumplifajták adaptálódtak a szélsőséges időjáráshoz, ami egyre több helyen fordul elő a klímaváltozás miatt.

Ezek a "találatok" – a Crop Trust működésének eredményei – 2011. óta 39 vad fajta begyűjtését, konzerválását és szaporítását tették lehetővé (ebből 31 Peruból származik). A növényi fajták gyűjtése, azonban nehézségekbe ütközik egy nemzetközi egyezmény miatt (Convention on Biological Diversity), ami megtiltja a biodiverzitás tisztességtelen kizsákmányolását. Egy későbbi nemzetközi egyezmény (ami növényi magvakra vonatkozik) enyhítette a korlátozást, de a vad fajták begyűjtése változatlanul vonatottan halad főként a hozzáértés hiánya miatt. "Nincs elég gyakorlatunk a vad krumpli minták gyűjtésében és konzerválásában" vallja meg Cinthya Zorrilla, a genetikai állomány felügyelője a Limai Mezőgazdasági Fejlesztés Intézetében.

"De nem állunk meg," mondja. Négy olyan fajta után kutatnak, amelyek hiányoznak a krumplihajtásokat őrző génbankokból. Az ezekben tárolt fajták a világ összes nemesítőjének rendelkezésére állnak.

A vad fajták felhasználása a termelt krumpli javítására nem könnyű feladat, mivel azok sok nem kívánatos tulajdonságot is átadnak, így a sikeres nemesítés esélye kicsi. Mégis némelykor sikerül: 2017-ben a CIP (Lima, Peru) 4 új nemesített fajtát küldött Kenyába szabadföldi kísérletekre, ahol 20%-kal kevesebb az eső és 3°C-kal magasabb az átlaghőmérséklet. A nemesített fajták megőrizték termés hozamukat. Ez igazolta, hogy a vad fajtákkal végzett nemesítésnek van jövője.

**Simonyi Miklós**



## OLVASNIVALÓK

1. Lizzie Wade: *Science* 2019. február 8, 363, 568-569.
2. Erik Stokstad: *Science* 2019. február 8, 363, 574-577.



**A *Solanum contumazaense* apró tüskéi védelmet nyújtanak a kártevők ellen**



**A klímaváltozás veszélyezteti a perui krumplitermést**

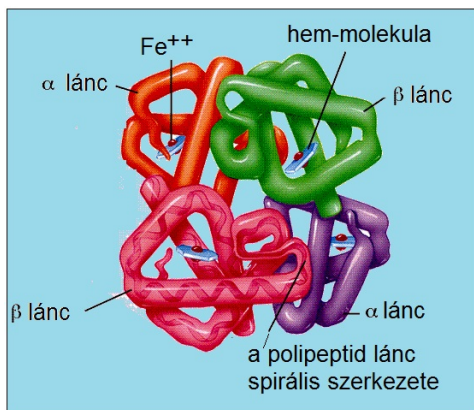


# Élettani jelentőségű hatóanyagok



## HEMOGLOBIN

A vér színét is meghatározó hemoglobin megközelítőleg 10000 atomot tartalmazó, a vörösvértestekben található fehérje, amely az artériás vérrrel szállít oxigént a tüdőből a szövetekhez, majd a vénás vérrrel szén-dioxidot juttat vissza a tüdőbe. A hemoglobin általában a nagyvérkép része és a vér oxigénszállító képességének jó jellemzője.



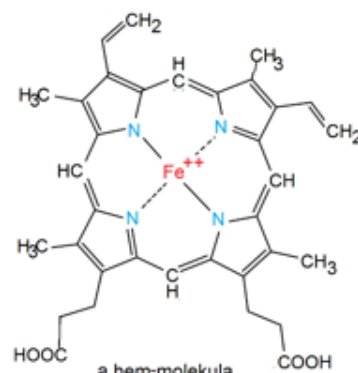
Hemoglobin molekula

## VÖRÖSVÉRTESTEK

Az alacsony hemoglobinszint vérszegénységre utal. Ilyenkor a szervezet nem jut elég oxigénhez, ami gyengeséget és más panaszokat is okozhat. A magas hemoglobin-szint a vörösvértestek túltermelődését jelzi a csontvelőben, szívbetegségekre, tüdőbetegségekre utalhat. Elégtelen folyadékbevitel miatti kiszáradás is okozhat átmenetileg magas értéket.

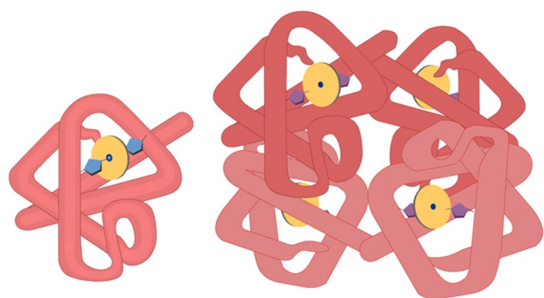
A legelterjedtebb humán hemoglobintípus hasonló szerkezetű és közel azonos méretű négy, két  $\alpha$ - és két  $\beta$ -fehérjealegységet tartalmazó hemoglobin A. Az  $\alpha$ -alegységek 141, a  $\beta$ -alegységek 146 aminosavból épülnek fel.

A tetramer molekula tömege körülbelül 68000 dalton. A négy globuláris polipeptid lánc mindegyike egy hem-molekulához kapcsolódik. A láncokat ionos kötések, hidrogénhidak és hidrofób kölcsönhatások kapcsolják össze. A hem-



molekulában egy heterociklusos porfirin gyűrű négy nitrogénatomjához kötött kétegyértékű  $\text{Fe}^{++}$  ion helyezkedik el. A vas ion a polipeptid láncban lévő hisztidin imidazol gyűrűjének nitrogénatomjával is kapcsolatot létesít. Az oktaédes szimmetriájú komplexek képzésére hajlamos vas hatodik kötőhelye köti meg az oxigént.

Szervezetünkben a hemoglobinnál nagyságrendekkel kisebb koncentrációban még egy hemoprotein van, a mioglobin, amely képes molekuláris oxigént megkötni. A két molekula hasonló szerkezetű. A mioglobin is polipeptid láncból és a hozzá kovalensen kapcsolódó hem-molekulából áll. Fontos különbség azonban a kettő között, hogy – a hemoglobinnal ellentét-



Mioglobin

Hemoglobin

ben – a mioglobin csak egyetlen polipeptid láncból áll. A mioglobin a hemoglobinnál gyengébb oxigén-kötő fehérje, amely a szív- és a vázizmokban található. Amikor a szív- vagy a vázizmok megsérülnek, mioglobin kerül a vérbe. A sérülést követően néhány órán belül kimutatható az emelkedett mioglobin szint. A mioglobin másodlagos oxigénhordozóként működik az izomszövetben. Az izomsejteknek működésük közben nagy mennyiségű oxigénre van szükségük. Az izomsejtek ezeket a fehérjéket használják az oxigén diffúziójának felgyorsítására és az intenzív légzés idején az oxigénfelvétel fokozására. A két hemoprotein funkciója is eltérő. A hemoglobin a vérben szállítja az oxigént, míg a mioglobin szállítja vagy tárolja azt az izmokban. A mioglobin egy monomer oxigénmolekulát köt meg, míg a hemoglobin négy oxigénmolekulából álló, az úgynevezett tetramert köthet meg. A hemoglobin mind az oxigént, mind a szén-dioxidot megköti és le is tudja adni, ellentétben a mioglobinnal.

## Biokémia II. Biokémiai szabályozás

Szarka András (2014)

Typotex Kiadó

<https://biologydictionary.net/heme/>  
<https://biodifferences.com/difference-between-hemoglobin-and-myoglobin.html>

## SZTREPTOMICIN

A sztreptomycin széles spektrumú baktériumölő aminoglikozid típusú antibiotikum. A Gram-pozitív és a Gram-negatív baktériumok ellen egyaránt aktív. Sztreptomycin volt az első hatékony antibiotikum a tuber-

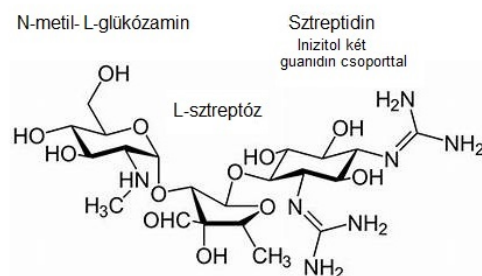
kulózis kórokozója ellen. Később egyéb fertőzések (például pestis) gyógyítására is bevált. Az 1944-ben felfedezett antibiotikum, a tuberkulózis klinikailag is hatásos antibiotikus gyógyszere. A sugárgombák közé tartozó *Streptomyces griseus* nevű baktérium bioszintézisének természetes termékeként fedezték fel.

*A sugárgombák főleg gabonaféléken élősködő mikroszkopikus gombák; az emberi szervezetbe jutva, hegesedő, genyenes járatokat és tályogokat okoznak.*

*Az antibiotikumok olyan mikroorganizmusok anyagszere termékei, melyek gátolják más mikroorganizmusok (baktériumok) növekedését, fejlődését. Vírusok ellen nem hatékonyak.*

A *Streptomyces* baktériumok családját S.A.Waksman (1888 – 1973) főiskolai hallgatóként kezdte el tanulmányozni. Figyelme később kutatócsoportjában fordult a *Streptomyces griseus* baktérium felé. A sztreptomocint Waksman egyik végzős hallgatója, Albert Schatz izolálta a *Streptomyces griseus*-ból 1944-ben. Ezt követően igazolták, hogy az hatékony a tuberkulózis ellen. Waksman a „sztreptomocin, az első tuberkulózis elleni hatékony antibiotikum felfedezéséért” 1952-ben megkapta a fiziológiai és orvosi Nobel-díjat.

*A tuberkulózis (gümókór, tbc, fehér pestis) az egyik legrégebben ismert fertőző betegség, mely napjainkban is a legtöbb halálos áldozatot követelő baktérium okozta megbetegedés. Egy olyan fertőző betegség, melyet egy *Mycobacterium tuberculosis* elnevezésű baktérium okoz leggyakrabban a tüdőt megtámadva. De megtámadhatja a központi idegrendszer a gyhártyagyulladást okozva, továbbá a nyirokrendszert és a vérkeringést is. A tuberkulózis világméretű probléma, az emberiség csaknem egyharmada fertőződik meg*



A sztreptomocin kémiai szerkezete

*élete folyamán. Cseppfertőzés útján terjed, bárki megkaphatja, aki védőoltás vagy gyógyulás útján nem szerzett kellő védelemet, vagy például betegség miatt elveszítette azt. Magyarország korábban különösen veszélyeztetett volt. A XX. század elején „morbus hungaricus”-nak is nevezett kór ma már nagyon ritka betegségek közé tartozik Magyarországon. Rövidesen teljesen eltűnhet az országból. A sztreptomocin 1952-ig a betegség kezelésére alkalmas egyedüli antibiotikum volt. Hazánkban korábban a para-amino-szalicilsav (PAS) volt hozzáférhető kemoterápiás szer. A betegség visszaszorulásában nagy szerepet játszottak a múlt században meghozott egészségügyi intézkedések, például az oltások. Hazánkban 1954 óta minden újszülöttet beoltanak tbc ellen (BCG oltás).*

## A SZTREPTOMICIN KÉMIAI SZERKEZETE

A sztreptomocin kémiaiailag aminoglikozid antibiotikum. Három komponensből áll, amelyek glikozidos kötéssel (éterkötésekkel) kapcsolódnak egymáshoz:

- ▶ sztreptidin (inozit két guanidin csoporttal),
- ▶ sztreptóz (metil-pentóz) és N-metil-L-glükózamin),

A sztreptomocin más aminoglikozid antibiotikumokhoz (például gentamicin, neomicin, kanamicin, tobramicin) hasonlóan úgy fejt ki hatását, hogy gátolja a baktériumsejtek riboszómáinak – az aminosavak összekapcsolásával fehérjéket szintetizáló molekuláris gépeknek – a működését.

A tbc-probléma napjainkban sem megoldott és kihívást jelent a kutatók számára. A betegség kezelése területén folyó kutatások jelentősége a gümőkór terjedésének megfelelő kontroll alatt tartása. A sztreptomycin felfedezését követő több, mint fél évszázadban új vegyületekről is igazolták, hogy hatékonyak a tuberkulózis kezelésére és ezekből gyógyszerek is készültek. Ilyenek az Isoniazid, Rifampicin, Delamanid és a Bedaquilin molekulák is. Magyar kutatók jelenlegi munkájában fontos szerepet kap új típusú antituberkulotikumok keresése és ezek gazdasejtbe történő specifikus célbajuttatása peptidalapú hordozók alkalmazásával.

**Szász György, Gyógyszerészeti kémia  
Medicina 1990**

**BŐSZE SZILVIA Természet Világa, 144.  
évfolyam, 7. szám, 2013  
A fehér pestis**

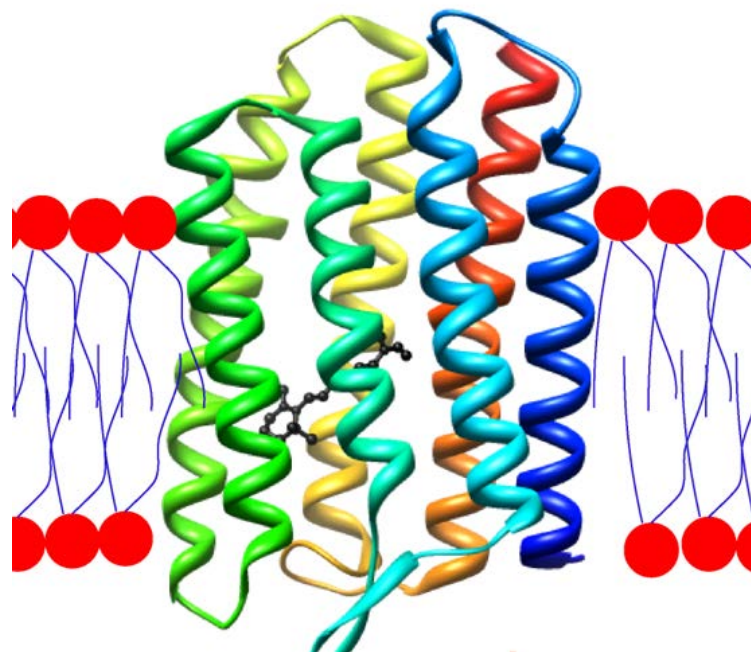
## A VITAMIN

Az A-vitamin zsírban oldódó retinoidok, (retinol, retinal, alfa-karotin, béta-karotin, gamma-karotin, béta-kriptoxantin) csoportjának összefoglaló neve.

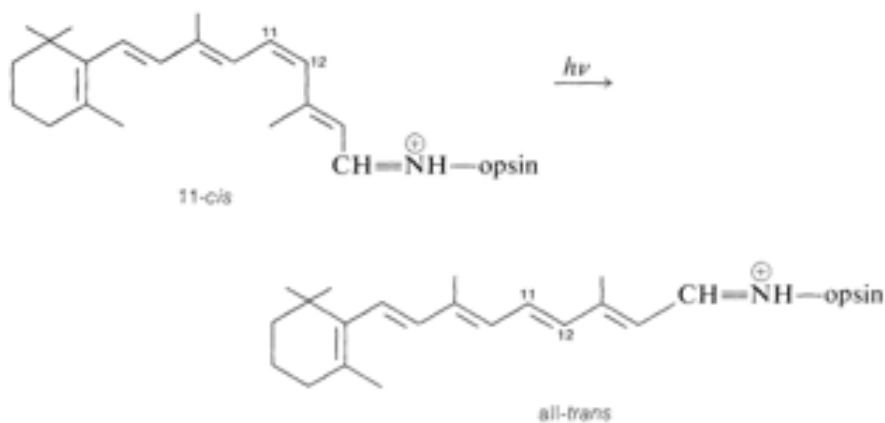
A retinol egy primer alkohol, amely a csontnövekedéshez, a retina működéséhez, az embrionális fejlődéshez, a reprodukciós folyamatokhoz, valamint a hám normális szerkezetének fenntartásához nélkülözhetetlen vitamin. Mind az alkohol (retinol), mind az aldehid (retinál), mind pedig a sav (retinolsav vagy tretinoin) változatai fontos szerepet játszanak az életlen folyamatokban.

Az A-vitamin aldehidje – a 11-cisz retinál – fontos a látás szempontjából, mivel a retina receptorokban fényt érzékelő fehérje, a rodopszin, alapvető alkotóeleme.

A fény érzékelését a rodopszin egyik része, a 7 egységből álló, membránba ágyazott opszin és a hozzá kapcsolódó 11-cisz-retinál (kék színnel a háttérben jelzett molekula) indítja el: fény hatására transz-retinál képződik, ami megváltoztatja az opszin konformációját és láncreakció-szerű biológiai folyamatokat indít el.



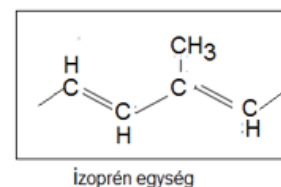
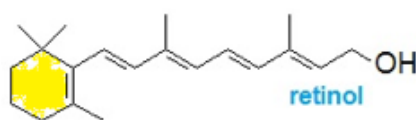
A fény által kiváltott izomerizáció.

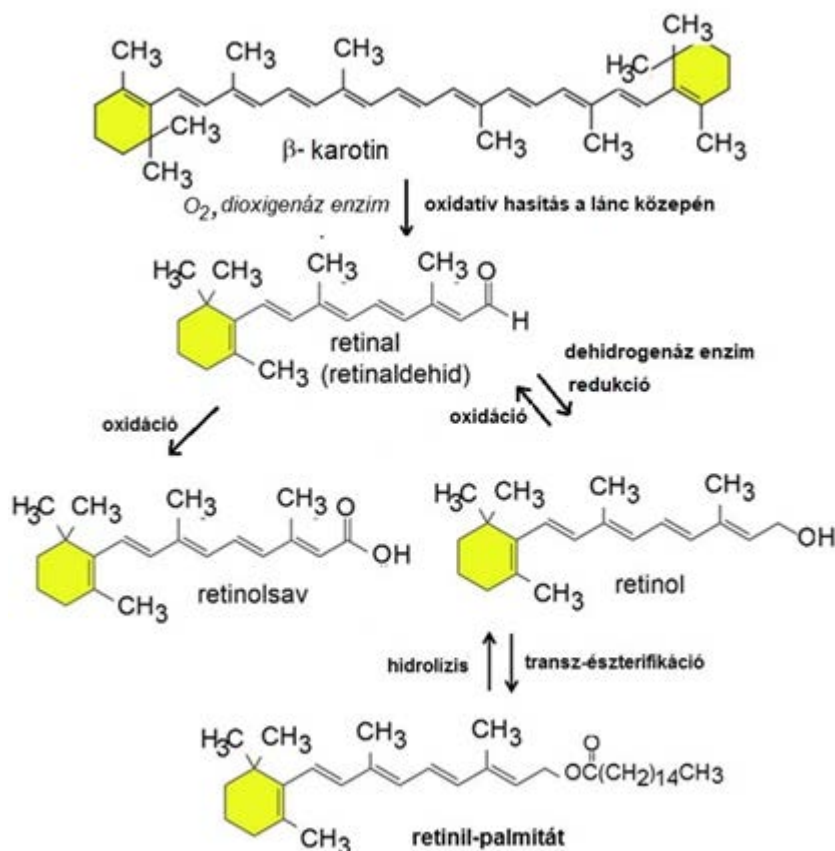


A retinál ezen kívül elősegíti a kötőhártya membránjainak és szaruhártyájának működését. Az A-vitamin másik aktív komponense a retinolsav, amely aktiválja a hormonok hatását közvetítő retinolsav-receptorokat, szteroidhormon és pajzsmirigyhormonok receptorait.

Kémiai szempontból a retinol egy izoprenoid. Az izoprenoidok izoprén egységekből felépülő vegyületek. Ilyenek az E- és K-vitamin és a koleszterin is.

Amint az ábrán látható, a retinol egy olyan szénhidrogén molekula, amelynek egyik végén egyetlen hidroxilcsoport van. Ezt a hidroxilcsoportot oxidálva aldehid csoportot (retinál), vagy karboxil csoportot (retinolsav) kapunk. A retinal és a retinolsav a retinol biológiailag aktív formái. Ezen különféle oxidációs állapotokon túl a retinol számos különféle izomer formájában előfordulhat. Az ábrán bemutatott transz-retinoltól képződő transz-





A retinoidok bioszintézise a bélben és a májban

retinál (az összes kettős kötés transz-konfigurációjú) egy izomeráz enzim hatására alakul 11-cisz-retinállá, amely – mint fentebb láttuk – a látáshoz szükséges. Egy másik cisz izomer a 13-cisz-retinolsav (vagy izoretinoin), amelyet pattanások elleni gyógyszerként használnak.

## A RETINOIDOK BIOSZINTÉZISE $\beta$ -KAROTINBÓL

Állatokban (beleértve az embereket is) a retinoidok a táplálékokból nyert karotinoidokból a bélben és a májban szintetizálódnak oxidációs és redukációs kémiai reakciók sorozata folyamán, amelyeket oxigenáz és redukáz enzimek katalizálnak. A bioszintézis első lépésében a  $\beta$ -karotint egy dioxigenáz enzim hasítja a központi kettős kötésnél, majd molekuláris oxigén reagál a  $\beta$ -karotin 2 központi szénatomjával és két molekula retinál képződik. A továbbiakban redukív enzi-

mek hatására (például dehidrogenáz enzim) retinol keletkezik, vagy oxidatív enzim hatására retinolsav.

*A dioxigenázok olyan enzimek, amelyek vizes környezetben két hidroxilcsoportot építenek be a szubsztrátokba.*

*A dehidrogenáz olyan enzim, amely a szubsztrátról oxidációval hidridiont, (H<sup>-</sup>) hasítja le. Az oxoreduktáz enzimek csoportjába tartoznak. A reakcióban részt vesz az enzim mellett egy koenzim is (elektronakceptor tulajdonságú molekula), amely a hidridiont megköti.*

A retinoidoknak sokféle geometriai izomerje létezik, a polién-láncban található öt kettős kötés közül négy transz- vagy cisz-konfigurációjának eredményeként. A cisz-izomerek kevésbé stabilak és könnyen átalakulnak az összes transz-konfigurációvá.

*George Wald elnyerte az 1967-es élet-tani vagy orvostudományi Nobel-díjat a retina pigmentekkel végzett munkájáért, amelynek eredményeként megértették az A-vitamin látásban betöltött szerepét.*

Az A-vitamin állati szövetekben fordul elő és az ilyen táplálékforrásokból könnyen felszívódik a vékonybélben. A máj az A-vitamin leggazdagabb táplálékforrása. Növényekben nem fordul elő, de sok sötétzöld vagy sötétsárga (sárgarépa) növény tartalmaz karotinoidokat, például béta-karotint, amelyek a bélben és más szövetekben retinollá alakulhatnak. A táplálékkal bevitt retinol gyakorlatilag teljesen felszívódik. A  $\beta$ -karotin megközelítőleg egyhatoda, az egyéb karotinoknak csupán az egytizede alakul át retinollá. A gyomorból és a bélből azonnal felszívódik. Legfőbb A-vitamin források a belsőségek, a tojássárgája, a tengeri halak, a tej és tejtermékek. A vitamint a máj tárolja palmitát-észter (retinol-palmitát) formájában.

Az A-vitamin hiánya korai szakaszában farkasvakságot okoz: szürkületben, vagy gyenge világítás esetén látászavar következik be. Ha a hiány fennmarad, akkor a szemek végül romlanak, és állandó vakság is bekövetkezhet. Az A-vitamin hiánya növeli a fertőzések súlyosságát és szem-szárazságot is okozhat.

Mivel az A-vitamin zsírban oldódik, a test felesleges mennyiségeket tárol, elsősorban a májban, ezek a szintek felhalmozódhatnak. A túlzott mennyiségű A-vitamin bevétel fokozott nyomást, szédülést, émelygést, fejfájást, bőrirritációt, ízületek és csontok fájdalmát, kómát és akár halált is okozhat.

### Vitamin A

National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements  
[https://ods.od.nih.gov/factsheets/Isoprenoids:Retinoids](https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminA-HealthProfessional/Isoprenoids:Retinoids)  
 The LipidWeb  
<https://lipidhome.co.uk/lipids/simple/retinoids/index.htm>

Szerkesztőség

# Süngomba

A süngomba (*Hericium erinaceus*) Ázsiában, Észak-Amerikában és Európában őshonos ehető gomba. Az egyik leghíresebb bazidiomos gomba az ázsiai hagyományokban. Már régóta használják a hagyományos kínai orvoslásban az emésztőrendszeri betegségek, gyomorfekély kezelésére. Széles körben kapható egészségügyi táplálék kiegészítőként, különösen Kelet-Ázsiában és Európában liofilizált szilárd anyag, por és tableta formájában.

**M**agyarországon a süngomba védett, nem szabad gyűjteni. Jellemzői: hosszú tüskéi és a szakállszerű megjelenése. Nincs különálló kalapja és az idő múlásával húsos test fél-gömb alakúvá válik, és sárgás-barna színűre változik. Elsősorban elhalt fákon él. 2018-ban az év gombája lett (Magyar Mikológiai Társaság).

Több néven is ismerik, általában mindenhol a szokatlan alakjáról keresztelték el (pld. oroszlánsörény gombának, Lion's mane mushroom) is nevezik. Gyógygomba, bár előszeretettel használják étkezési célra is, mert nagyon jó ízű. A süngombára vonatkozó népgyógyászat által javasolt felhasználási területek igen szerteágazóak. Noha a gomba egészségügyi előnyei ismertek voltak, a hatóanyagaira és azok hatására vonatkozó tudományos kutatások csak az 1990-es években kezdtek megjelenni az irodalomban, főleg kínai kutatók részéről. Számos közlemény jelent

meg hatóanyagainak gyógyhatásairól, gyulladásgátló, antioxidáns és immunstimuláló tulajdonságairól. A gombából gombabor és a gombaecet is készül. Ázsiában mesterségesen is termesztik.

A gomba igen gazdag bioaktív szerves vegyületekben. A gombák összetétele természetesen függ a termesztés helyétől és attól is, hogy vadon nő-e vagy termesztik. A gyümölcstestben és micéliáiban számos aromás vegyületet, az erinacineket, az izoindolinon származék erinacineket és hericerin vegyületeket, szteroidokat, alkaloidokat, poliszacharidokat (beta-glükán, glükán-protein komplexek) és laktonokat azonosítottak.

Az erinacinek közé tartozó erinacin A, egy diterpén vázas molekula és a gombafo-nálból (micélium) izolálják. Számos, a gombában található erinacin molekuláról kimutatták, hogy neuroprotektív hatásúak.

*A glikoproteinek olyan fehérjék, melyekhez kovalens kötással szénhidrátok kapcsolódnak. Prokarióták, eukarióták, sőt vírusok is rendelkeznek rájuk jellemző glikoproteinekkal.*

*A laktonok gyűrűs (belső) észterek. Jellemző csoportjuk az észterekével azonos: -O-CO-, amely a laktonok esetén a gyűrű része. Hidroxil karbonsavakból (például tejsav) képződnek. A karboxil-csoport a lánc egyik végén, a hidroxilcsoport általában a lánc másik végéhez közel van. A két hidroxil-csoportból kilép egy vízmolekula, a maradék szén és oxigén összekapcsolódva zárja a gyűrűt.*

*$\beta$ -glükán: a gabonafélék és a gyógygombák kémiai összetevője. A gyógygombák  $\beta$ -glükánja  $\beta$ -1,3 –  $\beta$ -1,6*



Süngomba

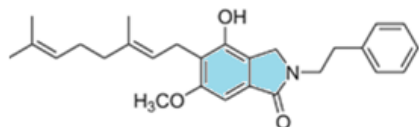
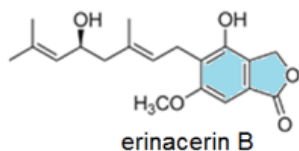
*típusú, azaz a gyógygombáknál az alap-lánc helyenként rövid  $\beta$ -1,6 elágazásokat tartalmaz. A pecsétviaszgomba, a shiitake gomba termőtestje és a gomba micéliuma is tartalmazza a  $\beta$ -1,3 –  $\beta$ -1,6 típusú  $\beta$ -glükánt. (Kémiai panoráma No21, Pecsétviaszgomba)*

A gomba tartalmaz kis koncentrációban ergosterolt (a szterolok szteroid alkoholo-k) és inaktív B12-vitamint is. Az ergosterol UV fény hatására D2-vitaminná alakul.

## A GOMBA HATÓANYAGAINAK GYÓGYHATÁSA

A gomba erinacin, hericerin és poliszacharid molekulái bioaktívak. In vitro kísérletekben kimutatták, hogy egy-részt az erinacinek és poliszacharidok antimikrobiális hatásúak, mind az antibiotikum-rezisztens, mind a nem rezisztens fogékony) patogén baktériumok ellen, másrészt a gyümölcstestéből és micéliumból izolált hericerin és az erinacin vegyületek elősegítik az érző és szimpatikus idegsejtek növekedését és differenciálódását stimuláló fehérjék NGF (ideg növekedési faktor, nerve growth factor NGF) szintézisét.

A hericenonok és az erinacinok kis molekulatömegű vegyületek, amelyek könnyen átjutnak a véragy gáton. Ezért potenciális gyógyszerei lehetnek a degeneratív idegrendszeri rendellenességeknek, például Alzheimer-kórnak. Az erinacin-A molekula szájon át történő adagolása állatkísérletben jelentősen növelte az idegsejtek működését elősegítő fehérjék szintézisét a patkányok



agytörzsének stressz és pánik fiziológiás válaszáért felelős részében (a locus coeruleusban) és a hippokampuszban.

A gomba micéliából izolált HEG-5 megnevezésű glikoprotein in vitro kísérletekben gátolta a humán gyomor-tumorsejtek növekedését apoptózis (programozott sejthalál) előidézésével. A vizsgálat valószínűsíti, hogy a glikoprotein potenciális jelöltnek tekinthető gyomorrák kezelésére.

## A GOMBA ŐRLEMÉNYEINEK ÉS KIVONATAINAK GYÓGYHATÁSA

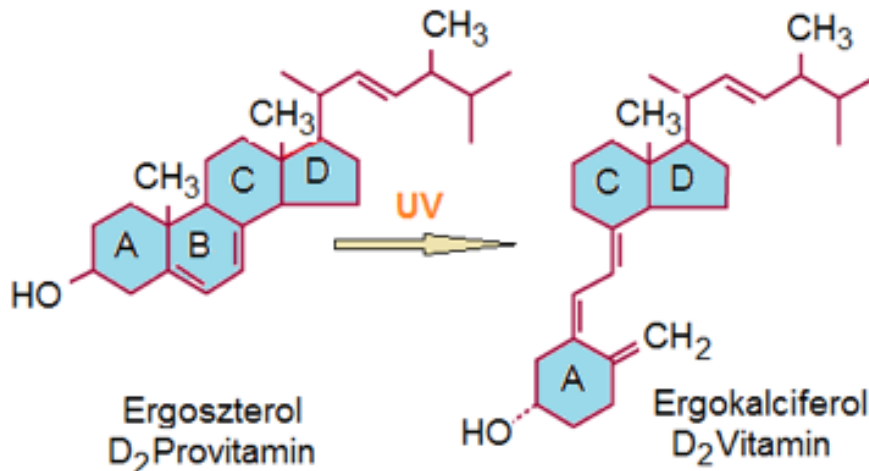
A gomba őrleményeit és kivonatait étrendkiegészítőként forgalmazók, termékeiket orális fogyasztásra elsősorban a kognitív károsodások, az Alzheimer-kór és demencia, depresszió, szorongás, Parkinson-kór, sclerosis multiplex betegségek esetében, a memória javítása céljából javasolják, de ajánlják gyomorhurut, gyomorfekély, *Helicobacter pylori*, cukorbetegség, rák, hiperlipidémia (magas vérzsír szint) gyógyítására vagy tüneteinek csökkentésére is.

Az szakirodalomban számos tanulmány foglalkozik a gomba gyógyhatásának vizsgálatával a felsorolt betegségek esetében. Az elvégzett vizsgálatok elsősorban in vitro (kémcsőben, Petri csészében elvégzett) kísérletek és állatmodelleken elvégzett vizsgálatok. A humán klinikai vizsgálatok száma igen kevés.

Az amerikai Természetes Gyógymódok Átfogó Adatbázisa (Natural Medicines Comprehensive Database) a gomba rövidtávú fogyasztását nem tartja károsnak, hivatkozva klinikai kísérletre, mely során a betegeknek 16 héten keresztül napi 3-szor 1 g gombaőrleményt adagoltak, mellékhatások nélkül. Hosszabb idejű fogyasztásának hatására vonatkozóan nincsenek adatok.

Az adatbázis szakértői a felsorolt betegségek gyógyhatására vonatkozó humán klinikai adatokat jelenleg nem tartják elégségesnek és meggyőzőnek az említett hatások igazolására, bár felsorolnak in vitro vizsgálatokban és állatkísérletekben észlelt figyelemre méltó hatásokat is:

Az Alzheimer-kórt érintő, egérmodellek-



kel végzett vizsgálatokban a szárított gomba őrlemény orális adagolása csökkentette a térbeli rövid távú és a vizuális felismerési memória károsodását.

A neuroprotektív hatás kimutatásához megemlítendő egy kettős-vak, placebo-kontrollált humán klinikai vizsgálat is, amelyet enyhe kognitív károsodásban szenvedő 50-80 éves japán férfiakon és nőknél végeztek. Két hetes előzetes vizsgálat után 30 beteget véletlenszerűen két 15 fős csoportba osztottak, amelyek egyikében a betegek száraz gombakivonatot, a másikban pedig placebót kaptak. A „gomba csoport” alanyai naponta háromszor 1 gramm száraz gombakivonatot kaptak 16 héten át. Az adagolás során a betegek kognitív képességei javultak és a vizsgálat végén a „gomba csoport” betegeinek képességei szignifikánsan megnövekedtek a placebo-csoportéhoz képest. Azonban a 16 hetes adagolás megszüntetése utáni a 4. héten, a kognitív funkcióik minősége ismét lecsökkent. A vizsgálat ideje alatt laboratóriumi vizsgálatok nem mutattak ki káros mellékhatást. A kísérlet eredményei arra utalnak, hogy a gomba, fogyasztása alatt, javította az enyhe kognitív károsodást.

A gomba kivonatai in vitro és állatkísérletekben citotoxikusnak bizonyultak máj, vastagbél és gyomorrák esetében is. Néhány előzetes vizsgálatban a gombakivonat csökkentette a kemoterápiás kezelések mellékhatásait is. Hatása a diabetszre, a vércukorszint csökkentése és a vér inzulin és HDL koleszterin tartalmának növelése volt. In vitro vizsgálatokban a

gomba vizes kivonatai moderált antioxidáns hatást eredményeztek.

Állatkísérletekben kimutatták a gomba májvédő és a sebgyógyulás gyorsítására vonatkozó hatását is.

*A Természetes Gyógymódok Átfogó Adatbázisa, a rendelkezésre álló természetes gyógymódok egyik legátfogóbb és legmegbízhatóbb, kritikus forrása. Az adatokat és értékelésüket komoly szakértői csoport frissíti folyamatosan. A természetes gyógymódok az összes gyógynövényes és nem gyógynövényes étrend-kiegészítőre is vonatkoznak. Noha néhány étrend-kiegészítő nem állítható elő természetes forrásokból, ezeket is tartalmazza, mivel általában természetes termékek kategóriába sorolják őket. Az adatbázis elfogulatlan, bizonyítékokon alapuló értékeléseket és ajánlásokat nyújt a kiegészítő, alternatív kezelésekről.*

**Kőszegi Lídia**



### IRODALOM

- <http://www.gombanet.hu/ev-gombaja-2018>  
 Mendel Friedman, J. Agric. Food Chem. 63, 32, 7108 2015  
 Hyung Jun Noh, et al. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chem. 30, Issue 6, page 934 2015  
 Bing-Ji Ma et al., Mycology 1(2):92-98 2010  
 Xinyi Zan, et al., International Journal of Biological Macromolecules, 76, 242, May 2015  
 Koichiro Mori, et al. Phytoter. Res. 23, 367-372 (2009)  
<https://naturalmedicines.therapeuticresearch.com/>

# A vanília



**Vanilla planifolia**



**Vanilla tahitiensis**



**Szárított vanília rudak**

Az Orchidaceae családba tartozó Vanilla nemzetség néhány faja, a *Vanilla planifolia* és a *Vanilla tahitiensis* bab termése a népszerű vanília íz forrása [1].

**A**z indaszerű, fákra felkuszó Vanília fajok eredeti hazája Mexikó: az aztékok már Columbus előtti időkben ismerték és kakaó ízesítésére használták. Európába Hernan Cortez spanyol hódító hozta be a csokoládéval együtt az 1520-as években.

A Vanília növények természetésének kulcsa a beporzás, amit nem rovarok végeznek. A spontán beporzásnál hatékonyabb módszert 1841-ben a francia Réunion szigeten élő rabszolga, Edmund Albius fedezte fel 12 éves korában: egy ujjal és egy fapálcával nyomta össze a növény bibéjét és porzóját. A növény termése 10-22 cm hosszúságú vanília-bab rudak. Zölden, félérett állapotban szüretelik, majd szárítják és további 8 hónapon át érlelik. A jó minőségű toktermésen gyakran fehér vanília kristályok is megjelennek. A vanília termés kivonata többszáz kémiai komponenst tartalmaz, de az íz és illat elsősorban egy vegyülettől, a vanillintól származik.

A termést először forró vízben áztatják, hogy leállítsák az élő növényben zajló folyamatokat. Ezután szárítás és izzasztás következik: a nap sugaraival szárítják, majd éjszakára kendőbe csu-

varják és légmentesen záró dobozba helyezik. Ezalatt a vanília rudak megbarnulnak és az enzimek létrehozzák a glukovanillint. Végül a rudakat megszártítják és tovább érlelik hónapokon keresztül, hogy az ízük teljesen kialakuljon. Az érlelési idő csökkentésére irányuló módszerek nem hoztak eredményt és a termelők ragaszkodnak a jó minőséghez. Ezért drága fűszer a vanília.

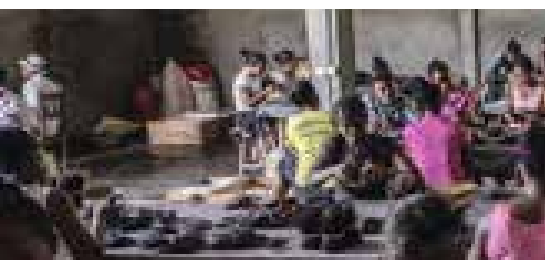
A 19. század közepéig Mexikó volt a vanília egyetlen forrása. A kellemes ízű fűszer csak a királyi udvarok számára volt elérhető. Thomas Jefferson – az amerikai függetlenségi nyilatkozat szerzője, majd 1801-től az Egyesült Államok 3. elnöke – 1785-től 1789-ig Franciaországban volt követ és itt ismer-



**A vanília zöld termése**



# A VILÁG MÁSODIK LEGDRÁGÁBB FŰSZERE

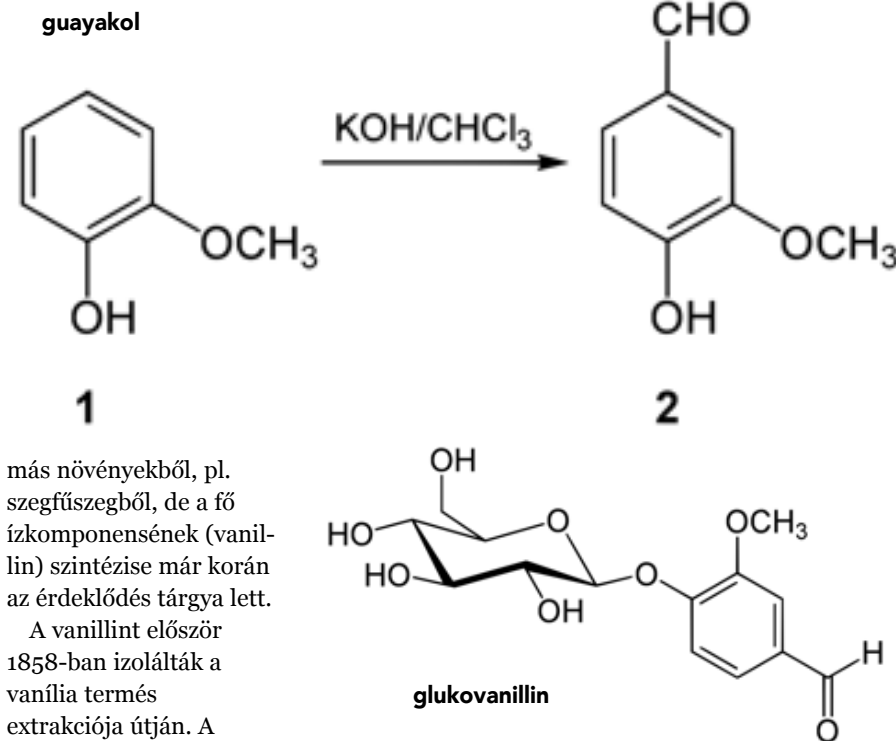


kedett meg a vaníliával. Annyira ízletesnek találta, hogy magával vitte Amerikába. A 19. század elején francia vállalkozók elvitték a vanília növényt az Indiai- és Csendes-óceáni szigetekre (Réunion, Mauritius, Comore-szigetek, Seychelles, Madagaszkar és Tahiti), remélve, hogy ezeken a helyeken is megterem. Madagaszkar északi területén a Sava régió különösen alkalmasnak bizonyult a vanília termesztésére kedvező természeti fekvése, a párás magaslatok miatt.

Madagaszkar egyike a világ legszegényebb országainak [2].

A munkaiányes termesztést családok végzik, akik éjszaka ültetvényeiket a tolvajokkal szemben machetákkal őrzik. Ez gyakran brutális kimenetelű: az ENSZ emberjogi Bizottságának jelentése szerint az önbíráskodás 2016 és 2018 között 150 emberéletet követelt [2]. Ma a világ vaníliaszükségletének közel 80%-át Madagaszkaron termesztik, és exportálják (Bourbon vanília).

A vanília népszerűsége és ritkasága miatt próbálkozások történtek a helyettesítésére. Eleinte vaníliát extraháltak



más növényekből, pl. szegfűszegből, de a fő ízkomponensének (vanillin) szintézise már korán az érdeklődés tárgya lett.

A vanillint először 1858-ban izolálták a vanília termék extrakciója útján. A vanillin szerkezetét 1874

óta ismerik és Karl Reiner német vegyész két évvel később a szintézisét is megoldotta guayakolból kiindulva [3]:

A vanillin a zöld vaníliában b-D-glükózid formában van jelen (glukovanillin).

A zöld vanília íztelen, a glukovanillinból a vanillin az érlelés alatti enzimműködés következtében szabadul fel. A megszokott édességek (vaníliafagylalt, vaníliaszósz) gyárilag vanillin oldatból készülnek, de a házi édességek

készítésére a természetes vanília maradt meg az aroma forrása.

Csak arra nem szoktunk gondolni, hogy a vanília milyen nehézségek árán kerül a konyhánkba.

Simonyi Miklós



## OLVASNIVALÓK

1. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Vanília>
2. Economist, 2019. július 5.
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Vanillin>

# Kiderült, hogy Popeye spenóttal doppingolt

Ki ne emlékezne gyerekkorából Popeye-re a tengerészre, aki mindig ivott a spenót-konzervből, amikor erőre volt szüksége? Az izmai minden korty után erősebbé váltak.

A spenótról alkotott vélemény az elmúlt száz évben hullámzott. Hallható volt róla jó is, rossz is. A leveleihez fűződő „szupererő” a spenót kimagaslóan magas vastartalmának hiedelme miatt terjedt a múlt század elején. 1870-ben Erich von Wolf német kémikus bár megközelítően helyesen mérte meg a spenót vastartalmát, azt tévesen 35mg/100g - nak írta át jegyzeteiből. Ezután indult el Popeye karrierje is: az 1910-es évek végén előbb képregény, majd rajzfilm formájában kezdte népszerűsíteni a spenót fogyasztását. Nagy erejét a spenótból nyerő tengerész egyre híresebb lett és a spenót fogyasztása hamarosan harmadával megnőtt az Egyesült Államokban. Később aztán a hiba kiderült és a vastartalom ma ismert értéke mintegy tízszer kevesebb 0,8-2,7 mg/100g friss levél.

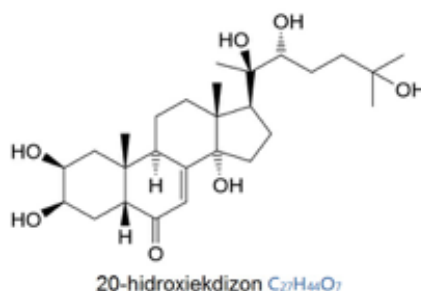
Ez azonban nem jelenti azt, hogy a Popeye által támogatott spenót rossz vasforrás. Összehasonlítva a közönséges zöldségek vastartalmával kiderül, hogy a nyers spenót meglehetősen jó mennyiségű vasat tartalmaz, ha nem is annyit, mint a húsok, magvak és a tojássárgája. (100 g friss levélben a spenót 2.7 mg, spárga 2.1 mg, fokhagyma 1.7 mg, kelkáposzta 1.5, kelbimbó 1.4 mg, brokkoli 0.7 mg, káposzta 0.5 mg vasat tartalmaz az USDA adatai szerint.) A spenót különben is nagyon egészséges, vitaminokban, antioxidánsokban, különösen K-, A-, B-, E- és C-vitaminokban, mangánban, folsavban, és magnéziumban is gazdag és 100g spenót energiatartalma csak 60-90 joule. A probléma azonban az, hogy a növényi alapú élelmiszerekből szár-

mazó vas, beleértve a spenótot is, nem abszorbeálódik olyan jól, mint a húsból és baromfiból származó vas.

A rossz hír az volt, hogy a spenót jelentős mennyiségű oxalátokat is tartalmaz, amelyeknek negatív hatásai lehetnek. Teljes oxaláttartalma 1145mg/100g friss levél (a répa 44 mg, kelbimbó 16 mg, brokkoli 13 mg, burgonya 31mg oxalátot tartalmaz 100g-ban). Vesekőhajlam fennállása esetén sok nyers spenót fogyasztása növelheti a vesekő kialakulásának valószínűségét.

A Freie Universität Berlin kutatói ebben az évben kettős-vak placebo kontrollált kísérletben kimutatták, hogy a spenót egyik kémiai összetevője javítja a fizikai teljesítményt. A Doppingellenes Világügynökség (WADA) megbízásából készített tanulmányukban igazolták, hogy a spenótból kivont 20-hidroxiiekdizon (20E) molekula jelentősen fokozza az izomsejtek működését. A 20-hidroxiiekdiszteron jelenlétét a spenótban először a Szegedi Tudományegyetem kutatói mutatták ki 1982-ben (M. Báthori et al. 1982).

A kísérlethez a kutatók kereskedelmi forgalomban kapható 20-hidroxiiekdizon



tartalmú kiegészítőket használtak fel a sportteljesítményt növelő hatás vizsgálatához. A termék egy kapszulája a címke szerint spenótkivonatból származó 100 mg ekdiszteront és 100 mg leucint tartalmazott. A sportolókat négy csoportra osztották: (A) napi két kapszula és edzés, (B) napi 8 kapszula és edzés, (C) napi 8 kapszula edzés nélkül, (D) placebo és edzés.

A német kutatók 46 férfi sportoló tízhetes vizsgálatával igazolták, hogy az edzés mellett 20-hidroxiiekdizon-nal kezelt sportolóknak (B csoport) 10 hét után 2kg-al megnövekedett az izomtömege és ezzel együtt teljesítményük is, a placebót kapott sportolókhöz képest (Arch. Toxicol.2019, DOI: 10.1007 / s00204-019-02490-x). Bebizonyosodott az is, hogy a hatás az adagolt dózis függvénye és szükséges az adagolás mellett a napi intenzív edzés is.

A 20-hidroxiiekdizon még hatékonyabban javította az atlétikai teljesítményt, mint néhány tiltott anabolikus szteroid. Ennek eredményeként a kutatók javasolták a vegyület hozzáadását a nemzetközi doppingellenes ügynökség, a WADA tiltott doppinganyagok listájához.



**Szteroidok:** Kémiailag a szteroidok tetraciklusos triterpenoidok így a fitoszterolok és fitoszteroidok is. Tetraciklusos triterpén a koleszterin, a tesztoszteron és a ginzzenoidok aglikonjai is (Kémiai Panoráma No18.)

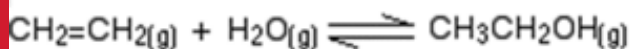
**anabolikus:** A szteroid hormonok anabolikus hatása számos szövet, különösen a csontok és az izmok növekedésének serkentése. Egyéb anabolikus funkciók az izomtömeg, a csontsűrűség, a hemoglobin-koncentráció, a vörösvértestek tömegének növelése, és az immunrendszer erősítése.

**androgén:** Az androgén hatás a gerincesek férfi jellemzői kialakulásának és fenntartásának serkentése a szteroid hormon által. Az emberben a tesztoszteron a felelős hormon. A legtöbb szintetizált szteroid hormont a tesztoszteron androgén aktivitásának elnyomására használják, miközben növelik annak anabolikus hatásait.

Az ekdiszteroidok (ekdizon, ekdiszteron, turkeszteron) izeltlábúak szteroid hormonjai, amelyek a vedlésért, fejlődésért és a szaporodásért felelősek. Az ekdiszteroidokat a rovarok étrendi koleszterinből szintetizálják. Régóta ismert, hogy ezek a vegyületek előfordulnak az emlősökben, így az emberekben is. Elhanyagolható toxicitásuk mellett sok anyagcsere-folyammal állnak kapcsolatban és átfogó, „az egész testet erősítő” adaptogén aktivitást okoznak. (Adaptogén = alkalmazkodási és túlélési képesség.)

## ETANOL SZÉNDIOXIDBÓL ÉS LIGNINBŐL

Az etanolt jelenleg etilén hidratálása vagy erjesztés útján állítják elő. Széles körben használják oldószerként, alapanyagként és újabban üzemanyagként is.

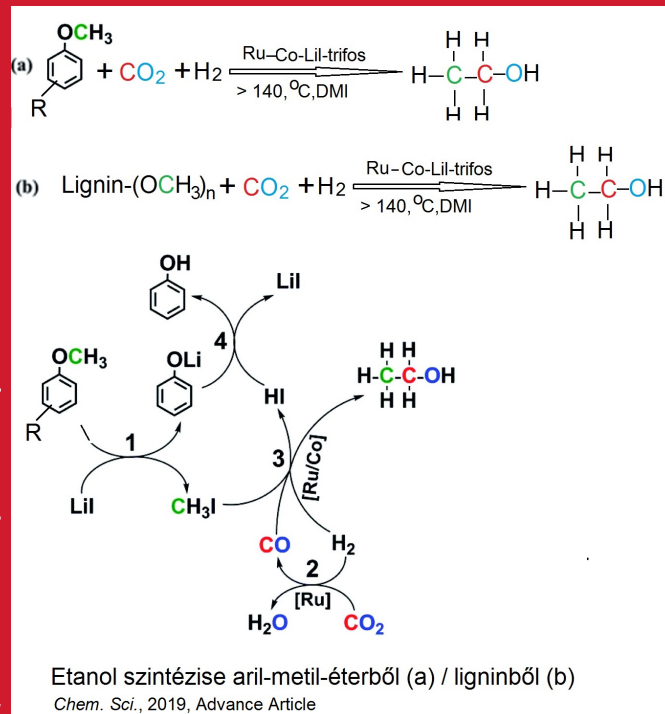


Kínai kutatók kidolgozták az etanol szintézisét megújuló nyersanyagok, lignin és szén-dioxid felhasználásával. A szintézis, amelyet ruténium-kobalt kettős katalizátorral (1,1,1-trisz (difenil-foszfín-metil)-etán (trifosz) ligandummal) hajtottak végre, három kaszkád reakciót foglal magába:

a metoxibenzol (anizol), mint lignin modellvegyület, vagy (b) lignin éteres kötésének bontása Lil segítségével, metiljodid képződése céljából (1), fordított víz-gáz reakció a szénmonoxid előállításához (2) és az ezt követő etanol szintézis redukív karbonilezéssel (3), (etanol előállítása C-C kötés képzésével 1,3-dimetil-2-imidazolidinon (DMI) oldószerben).

A szintézist és a felhasznált katalizátort sikeresen tesztelték számos különféle forrásból származó lignin modellvegyületekkel: aril-metil-éterekkel.

A lignin nagy molekulatömegű, aromás egységekben gazdag térhálós polimer. A fák szárazanyag-tartalmának mintegy harmadát-negyedét teszi ki. Ipari hulladék, de a vegyiparban ritkán használják fel, nagy részét alacsony minőségű tüzelőanyagként égetik el. A keletkező mennyiség ellenére az ipar nem aknázza ki a lignin azon képességét, hogy



értékes vegyületeket állítson elő, mivel a depolimerizálásakor általában olyan termékek keverékei képződnek, amelyeket nehéz elválasztani és tisztítani. A bemutatott etanol szintézis új lehetőséget nyit meg a biomassza és a széndioxid felhasználásához.

**Forrás:** Jingjing Zhang, et al  
Chem. Sci., 2019, Advance Article  
DOI: 10.1039/c9sc03386f  
Chemistry World, 29, 2019

A növényekben előforduló fitoszteroidok feladata a rovarok elleni védekezés. Az ekdiszteroidok családjába tartozó, 20-hidroxiiekdizon (20E) is egy növényi szteroid.

Tartalmazzák például a Maral gyökér (*Leuzea carthamoides*), a brazil ginzeng, a Kínában honos *Cyanotis Arachnoidea* növény és a spenót kémiai összetevői is.

A spenót viszonylag gyenge ekdiszteroid forrás. A friss tömre jutó ekdiszteroid tartalom (elsősorban 20E) a betakarítás időpontjától függően 0,005–0,08%, átlagosan 0,04%. A spenóttal ellentétben a *Cyanotis arachnoidea* növény, a 20E leggazdagabb forrásai közé tartozik; a betakarítás idejétől és területétől függően gyökérben a 20E szint elérheti a 4-5%-ot is (erre később még visszatérünk).

A nem-hormonális anabolikus hatású ekdiszteroidok teljesítménynövelő hatása eddig is ismert volt a testépítők és a sportolók körében is. A kereskedelmi forgalomban is számos ekdiszteroid, így a 20-hidroxiiekdizon is kapható étrend-kiegészítőként. Bár szó volt róla az utóbbi időben, de eddig még nem kerültek fel a sportolók tiltólistájára, mivel hatásuk egyértelmű humán klinikai igazolása csak a közelmúltban történt meg.

Állatkísérletek alapján korábban is valószínűsítették, hogy negatív hormonális hatások nélkül serkenti a fehérjeszintézist



és az izomtömeg növekedést. Az ekdiszteroidok előfordulására és tulajdonságaira vonatkozó ismeretekhez magyar kutatók is hozzájárultak. A Szegedi Tudományegyetem kutatói mutatták ki először 1982-ben a 20-hidroxiiekdiszteron jelenlétét a spenótban, majd annak in vivo hatását patkány izomrostokon 2008-ban. Bár korábban is voltak kísérletek az ekdiszteroidok sportteljesítményre vonatkozó hatására, kettős-vak placebo kontrollált

klinikai vizsgálatról csak az említett, idén megjelent közlemény számolt be.

Fogyasszunk mi is spenótot, mint Popeye, izomerősítőként? Mivel a sportolónak (elsősorban testépítőknél) az interneten forgalmazók általában azt tanácsolják, hogy naponta akár több gramm 20E-t is fogyasszanak, tekintve a spenót átlagos 0,04% 20E tartalmát, naponta több kg nyers spenótot kellene, elfogyasszunk, hogy 800 mg ekdiszteron a szervezetünkbe jusson. Meg kell jegyezni, hogy egyrészt a javasolt dózist hosszútávú biztonság szempontjából soha nem vizsgálták és mint látni fogjuk a 20E molekula hatékonyságát humán kísérletben ebben az évben igazoló német kutatók messze nem használtak a kísérletekben 200-800 mg (2-8 kapszula) napi 20E dózist, bár úgy vélték.

2016-ban a fitoszteroidok nemzetközileg

elismert szegedi kutatóinak érdekes és fontos közleménye jelent meg: (Hunyadi et al., *Nature, Scientific Reports* 2016 december 8., DOI:10.1038/srep37322).

Megvizsgálták öt étrend-kiegészítő készítmény ekdiszteroid tartalmát, amelyeket német forgalmazók állítása szerint spenót-kivonatot tartalmaztak. A termékek *Cyanotis* és spenót kivonatokkal történő összehasonlító HPLC és NMR elemzése bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy ezek a jóval nagyobb ekdiszteroid tartalmú *Cyanotis* kivonatokból készültek, és nem spenótból, amint azt a forgalmazók állították.

Emellett kiderült az is, hogy az öt vizsgált termék kapszuláiban a 20E mennyisége 0,2-2,4mg, míg az összes ekdiszteroid tartalom 0,3-4,8 mg között ingadozott. A 20E mellett a magyar kutatók még 7 másik ekdiszteroid származékot is kimutattak. A szerzők hangsúlyozták, hogy bár ezek az adagok jóval kisebbek a biztonságosnak megítélt határértéknél, valójában a *Cyanotis* fajokra vonatkozóan nem rendelkezünk európai ismeretekkel és fogyasztásuk biztonságos határértékeivel sem.

De a történet folytatódik tovább. Német kutatók, akik ez év júniusában közölték a 20E fizikai teljesítményt javító hatásának vizsgálata során nyert eredményeiket valószínűleg még nem ismerték a magyar kutatók előbbi közleményét. Ezt később megismerve, megvizsgálták 12 internetes forgalomban kapható étrend-kiegészítő hatóanyag-tartalmát, köztük azokat is, amelyeket a kettős-vak placebo kontrollált kísérleteikhez használtak. A vizsgálatuk konklúziója az alábbi:

„A vizsgált étrend-kiegészítő termékek 67%-a sokkal kevesebb ekdiszteront tartalmaz, mint amit a címkén feltüntettek. Csak három termék közelítette meg a címkén megadott szintet. Ezzel szemben hat készítményben a tényleges mennyiség a címkén feltüntetett értéknek kevesebb, mint 20%. Három termék esetében a számítás lehetetlen volt, mivel a címkézés csak a spenót mennyiségére vonatkozott, és az ekdiszteron-tartalomra nem volt információ”.

Érdekes megjegyezni, hogy a kísérletük-





ben felhasznált, a címke szerint 100mg 20-E tartalmú kapszulákban csak 4,2mg 20-hidroxiiekdizont tudtak kimutatni. Bár erre nem térnek vissza megjelenés alatt álló közleményükben, (Gabriella Ambrosio D et al. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 177, 5 January 2020, 112877), könnyű kiszámolni, hogy a hatékonynak talált napi 8 kapszula adagban csak 34mg 20E volt.

Nagyon fontos a fenti két közlemény, mivel felhívják a figyelmet arra, hogy az étrend-kiegészítők és gyógyhatású készítmények pontos összetételét, hatóanyagtarthatását és lehetséges mellékhatásait is igazoltatni kellene forgalomba hozataluk előtt.

Végül is, akkor mégsem szükséges több kiló spenót a teljesítmény növeléséhez? Nem bizony! Mivel a spenót 20E tartalma 0,04%, tehát 34 mg-ot 85 g friss spenót tartalmaz.



## OLVASNIVALÓK

- E. Isenmann et al., *Archives of Toxicology*, 93, Issue 7, 1807, 2019:DOI: 10.1007 / s00204-019-02490-x
- Báthori M, et al., *Phytochemistry*, 21, 236, 1982.
- Toth N, et al., *Phytomedicine* 15(9):691, 2008
- Marsha-Ann Watson, *C&EN Acs*, 97 Issue40, Oct.12 2019  
<https://sportorvos.hu/ekdiszteroidok/>
- Robert J. Grebenok, et al., *Lipids*, 26, 666, 1991
- Weiwen Chai, Michael Liebman, *J. Agric. Food Chem.*, 53, 8, 3027, 2005
- Hunyadi et al., *Nature, Scientific Reports* 2016 december 8., DOI:10.1038/ srep37322
- Gabriella Ambrosio D et al. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* , 177, 5 January 2020, 112877

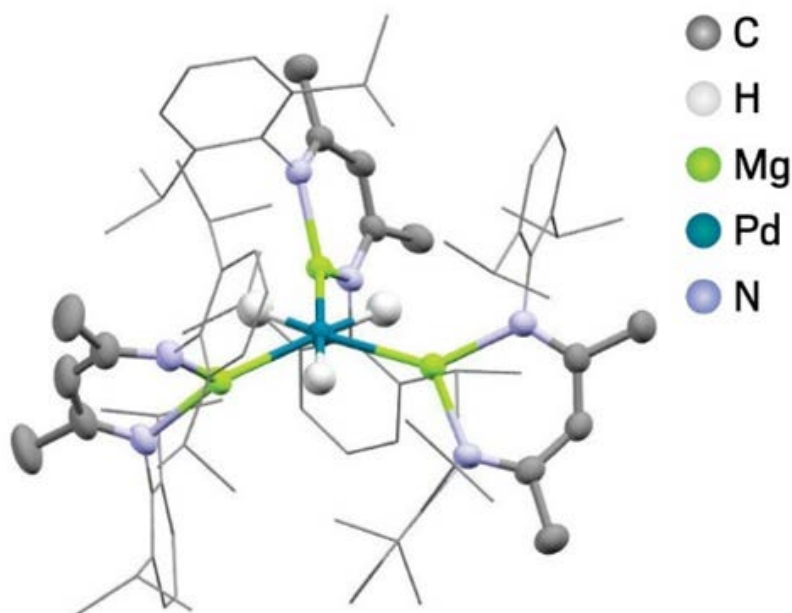
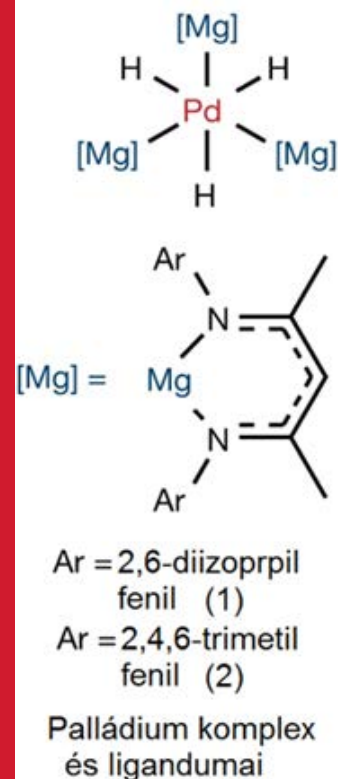
## RITKÁN LÁTOTT HEXAGONÁLIS SÍKSZERKEZETŰ ÁTMENETIFÉM KOMPLEX

Az átmeneti fémkomplexek geometriája általában oktaéderez, trigonális bipiramidális vagy négyszögletes sík szerkezetű. A londoni Imperial College-ban dolgozó Mark R. Crimmin és munkatársai szintetizáltak és kristályosítottak egy központi palládium atomból, három hidridből és három magnézium-diizopropil-fenil-ligandumból álló hexagonális síkszerkezetű komplexet (*Nature* 2019, DOI: 10.1038 / s41586-019-1616-2).

A kutatók eddig is tudták, hogy a hatszögletű síkszerkezetű vegyületek kialakulhatnak kondenzált fémfázisokban és a koordinációs polimerek pórusaiban is, de egy ilyen geometriájú átmenetifémkomplexet eddig nem tudtak kristályosítani. Az eredmény valószínűsíti, hogy az átmeneti fémek és más, nem konvencionális főcsoportbeli fémek kombinálása váratlan tulajdonságokkal rendelkező vegyületeket eredményezhet.

Garçon M, Bakewell C, Sackman G. A, et al. *Nature* 574, 390–393 (2019). doi:10.1038/s41586-019-1616-2

Leigh Krietsch Boerner, *C&EN* | 97, Issue 40, Oct. 12, 2019



## Kémiai Panoráma

---

Felelős kiadó és főszerkesztő: Pálinkás Gábor  
Kiadja a Természettudományi Kutatóközpont  
Kapcsolat: 1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.  
e-mail: [panorama@kemiaipanorama.hu](mailto:panorama@kemiaipanorama.hu)  
Tördelés-képszerkesztés: Dancsák András  
Szakmai tanácsadó: Gózon Ákos, Simonyi Miklós  
Honlap: [www.kemiaipanorama.hu](http://www.kemiaipanorama.hu)

